

**ИЦ «Физприбор»**

**МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ**  
**Стандартные образцы скорости звука,**  
**времени прохождения ультразвуковых сигналов**  
**эквивалентной ультразвуковой толщины**  
**Определение основных метрологических характеристик**

Разработал: к. ф.-м. н., ст. н.с.  
Бархатов В.А.

г.Екатеринбург  
2007г.

## Оглавление

1.	Введение .....	2
2.	Нормируемые метрологические характеристики .....	2
3.	Способы измерения характеристик стандартных образцов .....	3
3.1.	Измерение геометрических размеров .....	3
3.2.	Определение шероховатости поверхности.....	3
3.3.	Измерение времени прохождения ультразвуковых сигналов в СО.....	3
3.4.	Определение эквивалентной ультразвуковой толщины СО.....	8
4.	Выполнение измерений аттестуемых параметров СО .....	9
4.1.	Операции измерения аттестуемых параметров СО.....	9
4.2.	Требования к средствам измерений .....	9
4.3.	Требование к квалификации поверителя.....	10
4.4.	Требования к организации работ.....	10
4.5.	Требования безопасности.....	11
4.6.	Условия проведения измерений .....	11
4.7.	Способы обеспечения стабильного акустического контакта .....	12
4.8.	Проведение измерений .....	12
4.8.1.	Внешний осмотр.....	12
4.8.2.	Определение геометрических размеров СО .....	13
4.8.3.	Определение шероховатости поверхностей СО .....	13
4.8.4.	Определение времени прохождения ультразвуковых сигналов в СО ....	13
4.8.5.	Определение скорости звука.....	14
4.8.6.	Определение эквивалентной ультразвуковой толщины .....	14
4.9.	Оформление результатов аттестации СО .....	14
5.	Паспорт .....	15

### 1. Введение

Данная методика выполнения измерений распространяется на стандартные образцы скорости звука, времени прохождения ультразвуковых сигналов, эквивалентной ультразвуковой толщины и устанавливает порядок их первичной и периодической аттестации.

Стандартные образцы предназначены для калибровки и поверки прецизионных измерителей времени пробега ультразвуковых волн и измерителей скорости ультразвука а также для калибровки и поверки аппаратуры ультразвукового неразрушающего контроля.

### 2. Нормируемые метрологические характеристики

Стандартные образцы аттестуются по следующим метрологическим характеристикам.

1. Размер образца в направлении прозвучивания.
2. Шероховатость поверхности ввода ультразвуковых волн.
3. Время прохождения ультразвуковых продольных волн в образце (эхо-метод).
4. Скорость ультразвуковых продольных волн в направлении прозвучивания.
5. Эквивалентная ультразвуковая толщина

### **3. Способы измерения характеристик стандартных образцов**

В следующих параграфах обсуждаются особенности измерений аттестованных параметров СО.

#### **3.1. Измерение геометрических размеров**

Измерение геометрических размеров СО производится стандартными средствами измерения линейных размеров. Допускается применять следующие типы средств измерений:

1. Микрометры ГОСТ50190-92, ГОСТ 6507-90.
2. Толщиномеры индикаторные ГОСТ 11358-89.
3. Штангенциркули и штангенрейсмасы ГОСТ 164-90.

Определение размера СО производится в 8 и более различных точках, расположенных равномерно на поверхности ввода ультразвуковых волн. Значение размера СО и погрешность определяются после статистической обработки результатов измерений.

#### **3.2. Определение шероховатости поверхности**

Шероховатость поверхности СО оказывает влияние на его основной аттестуемый параметр – время прохождения ультразвуковых волн. В связи с этим необходимо проводить измерение параметров шероховатости поверхности. Наиболее адекватной характеристикой шероховатости, влияющей на погрешность измерения времени, является параметр Rz (ГОСТ 25142-82, ГОСТ 2789-73). Определение Rz может проводиться следующими средствами измерений:

1. Приборами для контроля шероховатости механическим способом (профиломеры), например Hommel TESTER T6000.
2. Методом сравнения по наборам образцов шероховатости для отдельных видов металлообработки согласно требованиям ISO4287 или DIN4768.
3. Приборами для измерения параметров шероховатости посредством поляризованного оптического излучения.
4. Ультразвуковыми датчиками для определения шероховатости поверхности.

Существует оптимальное соотношение шероховатости СО и погрешности размера в направлении прозвучивания. Шероховатость поверхности Rz должна быть меньше погрешности размера СО. Например, шероховатость СО Rz15 и погрешность размера в направлении прозвучивания  $\pm 0,02$ мм. В этом случае шероховатость поверхности не оказывает существенного влияния на общую погрешность времени прохождения ультразвуковых волн.

#### **3.3. Измерение времени прохождения ультразвуковых сигналов в СО**

Наибольшие трудности вызывает измерение времени прохождения ультразвуковых сигналов. Для определения этого параметра требуется специализированное оборудование и методики выполнения измерений. Рассмотрим их подробнее.

Измерения проводятся с помощью ультразвуковых импульсных дефектоскопов с цифровой обработкой сигналов. Используются прямые совмещенные преобразователи. Схема прозвучивания СО и вид эхосигналов представлены на рисунке 3.3.1.

При прозвучивании стандартного образца прямым ультразвуковым преобразователем формируется серия донных эхосигналов. Ультразвуковой зондирующий импульс распространяется вдоль образца (вертикально) и последовательно отражается от нижней и верхней границ СО. Главной аттестуемой характеристикой СО является время

прохождения ультразвуковых сигналов  $T_{co}$ , которое определяется как разность времени задержки первого и второго донных эхосигналов

$$T_{co} = t_2 - t_1.$$

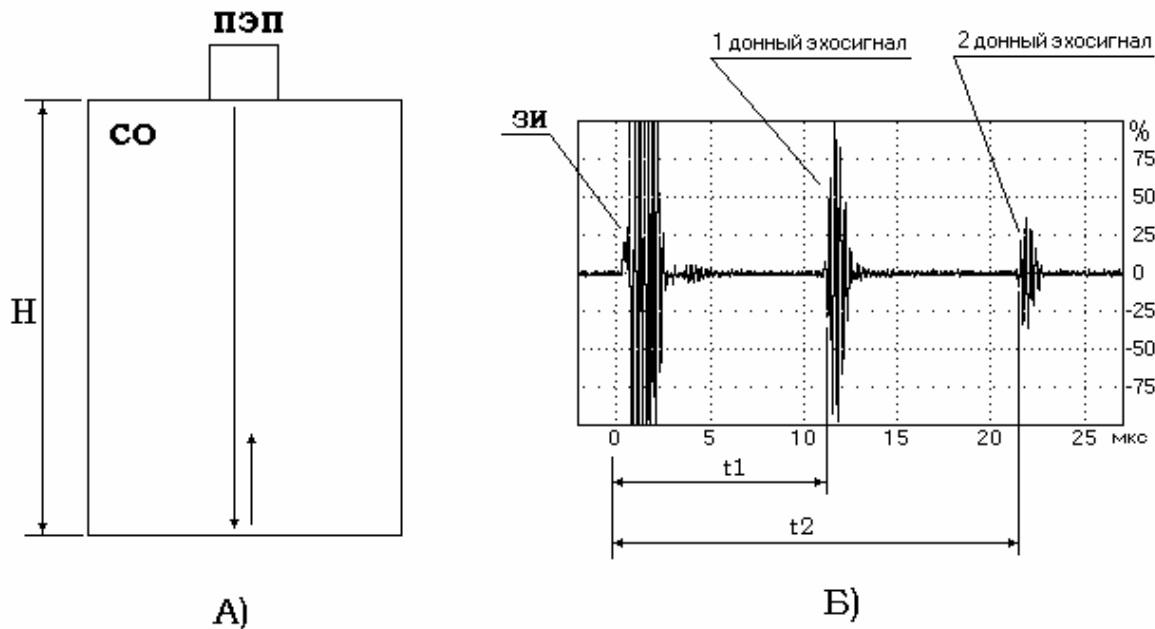


Рис. 3.3.1. Прозвучивание стандартного образца.

- А) Схема прозвучивания. СО- стандартный образец, ПЭП- пьезоэлектрический преобразователь. Н- размер образца в направлении прозвучивания.  
 Б). Вид эхосигналов ультразвукового преобразователя. ЗИ- зондирующий импульс.

Время  $T_{co}$  соответствует длине пробега волн по образцу от верхней его грани до нижней и обратно, т.е. общая длина пробега волн составляет  $2 \cdot H$  (см. Рис. 3.3.1.). Поскольку время пробега волн  $T_{co}$  и длина пробега  $2 \cdot H$  известны, то образец может быть аттестован по скорости продольных ультразвуковых волн  $C_l$ . Определение скорости проводится по элементарной формуле

$$C_l = 2 \cdot H / T_{co}.$$

При аттестации времени пробега  $T_{co}$  с высокой точностью начинают сказываться интерференционные искажения эхосигналов. Принцип формирования искажений демонстрирует Рис.3.3.2. Рассмотрим процесс излучения, отражения и приема ультразвуковых волн.

Ультразвуковой зондирующий импульс возбуждается на поверхности прилегания преобразователя с СО. На рисунке 3.3.2. поверхность обозначена  $S_{пэп}$ . Каждый элемент поверхности, например Т, излучает ультразвуковые колебания с круговой диаграммой направленности. Общее поле излучения в пространстве формируется путем сложения волн от всех элементарных излучателей (интерференция волн).

Волны распространяются по образцу, достигают противоположной поверхности и отражаются от нее в области  $S_d$ . Согласно пинципа Гюйгенса каждый элемент

отражающей поверхности является вторичным излучателем ультразвуковых волн. На рисунке 3.3.2. отражающий элемент обозначен буквой О. Общее поле отраженных волн аналогично образуется за счет суммирования полей вторичных излучателей (интерференция).

Теперь волны достигают поверхности преобразователя, формируется донный эхосигнал. Он представляет собой сумму сигналов от элементов поверхности пьезоэлемента, точки R. Таким образом эхосигнал в СО образуется посредством суммирования сигналов от всех излучающих Т, отражающих О и принимающих R элементов поверхностей. На рисунке 3.3.2. хорошо видно, что путь ультразвуковых волн от элементарного излучателя до отражателя и обратно к приемнику изменяется в зависимости от их геометрического расположения. Поэтому донный эхосигнал есть сумма сигналов элементов излучения с различными задержками. Математическое описание явления интерференции волн производится с помощью интеграла Френеля.

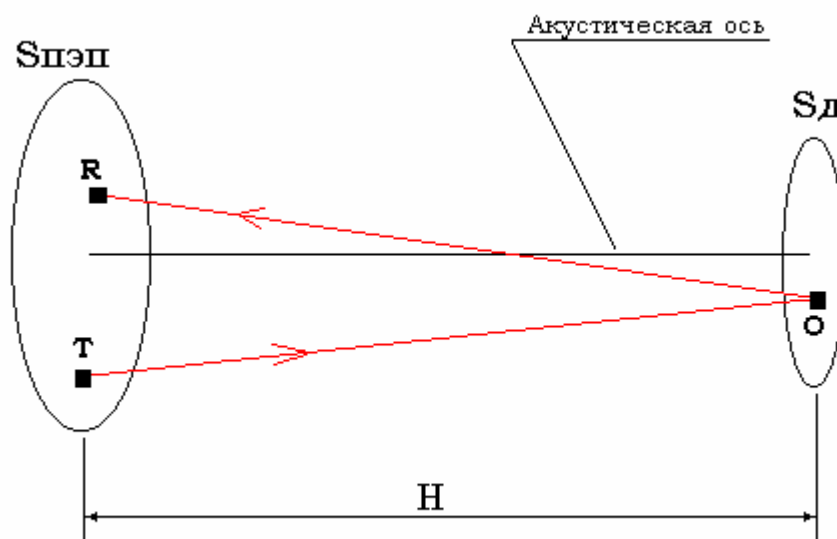


Рис. 3.3.2. Интерференция волн в стандартном образце.

Искажения эхосигналов, связанные с интерференцией волн, создают погрешность в определении времени  $T_{CO}$ . Дело осложняется тем, что интерференционную погрешность задержки эхосигнала невозможно определить в эксперименте. Можно только принять меры к уменьшению погрешности, а именно предъявить требования к параметрам преобразователя (см. П4.2.). Кроме того существует тест, показывающий наличие интерференционных набегов волн. Сущность теста состоит в следующем. Измеряют время задержки первого  $t_1$ , второго  $t_2$  и еще третьего  $t_3$  донных эхосигналов. Если интерференция волн не создает погрешности, то должны совпадать разности времен

$$\Delta t_{12} = t_2 - t_1, \quad \Delta t_{23} = t_3 - t_2.$$

Практически необходимо проверить насколько сильно отличаются величины  $\Delta t_{12}$  и  $\Delta t_{23}$  по отношению к погрешности измерений времени. Выразим данную проверку в виде неравенства

$$|\Delta t_{12} - \Delta t_{23}| < 4 * \Delta t,$$

где:  $\Delta t$  – погрешность измерения времени ультразвукового дефектоскопа.

Следует подчеркнуть, что воспроизводимость главной характеристики СО, времени прохождения ультразвуковых волн ( $T_{CO}$ ), обеспечивается только при соблюдении требований к преобразователям и при выполнении теста на отсутствие интерференционных искажений.

Для определения времени задержки эхосигналов используется способ измерения по переходу эхосигнала через ноль. Принцип измерений поясняет рисунок 3.3.3. В данном случае анализируются только высокочастотные сигналы.

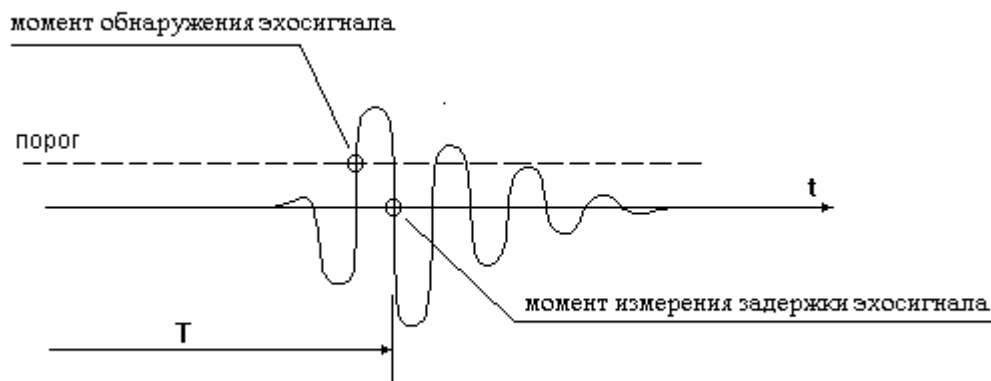


Рис. 3.3.3. Измерение задержки высокочастотного эхосигнала методом перехода через ноль.

Измерение производится в два этапа. Вначале происходит обнаружение сигнала в момент превышения его над порогом селектора. Затем осуществляется поиск момента времени, в который сигнал переходит нулевое значение (измерение задержки).

На рисунке 3.3.3. изображен процесс измерения в случае положительного порога обнаружения. Для отрицательного порога измерение задержки происходит аналогично. Сигнал обнаруживается при его уменьшении (ниже порога), а измерение задержки производится в ближайшей точке перехода сигнала через ноль (снизу-вверх).

Данный способ измерения задержки обладает высокой стабильностью, т.к. положение точки перехода сигнала через ноль не зависит от амплитуды сигнала.

Рассмотрим погрешности измерений. Частота дискретизации ультразвуковых сигналов в приборе выбирается достаточно большой, например 80 МГц. Если проводить измерение задержки по этим данным, то минимальная интервал погрешности будет равен длительности одного периода дискретизации, т.е. 12,5нс. Для повышения точности используется цифровая обработка сигнала с помощью сплайн-функций (сплайн интерполяция сигналов). Сущность обработки состоит вычислении величины сигнала в середине между точками дискретизации (Рис. 3.3.4.). Сплайн-функция аппроксимирует сигнал по четырем ближайшим точкам отсчета. После обработки интервал погрешности становится 6,25 нс, частота дискретизации 160МГц.

В цифровых устройствах погрешность измерений интервала времени выражается следующим образом –  $[+0, -T_d]$ , где  $T_d$  – период дискретизации. При введении поправки на  $\frac{1}{2}$  периода дискретизации получим интервал погрешности симметричный относительно измеренного значения  $[+T_d/2, -T_d/2]$ . Таким образом достигается наилучшая погрешность измерений, которая составляет  $[\pm 3,12 \text{ нс}]$ .

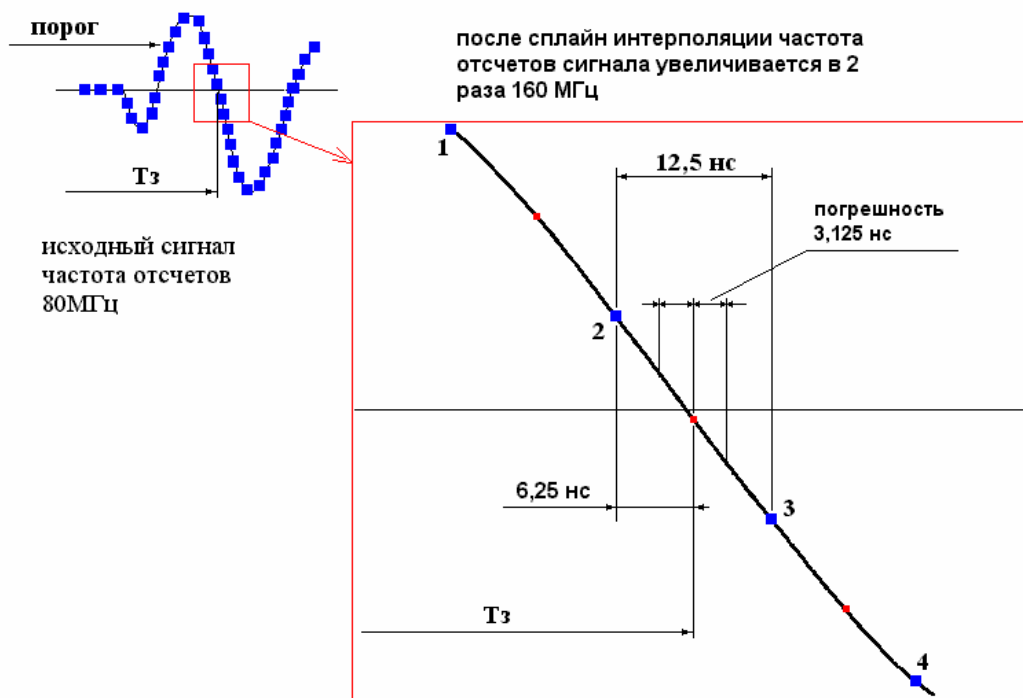


Рис. 3.3.4. Повышение точности измерения задержки с помощью сплайн интерполяции.

Исследуемые ультразвуковые сигналы всегда имеют некоторую шумовую составляющую. Измерение задержки в каждом такте работы аппаратуры имеет разброс, связанный с шумом. Для правильного измерения задержки необходимо проводить статистическую обработку измерений. С этой целью запоминается 16 измерений и по этим данным проводится вычисление математического ожидания задержки, дисперсии данных и погрешности. В качестве модели для расчета погрешности выбирается модель с прямоугольной функцией распределения вероятностей.

Выше приведенная методика измерения задержки эхосигналов учитывает не все погрешности. Существует еще разброс размера СО в пределах поверхности ввода ультразвуковых волн и погрешность, связанная с качеством акустического контакта ультразвукового преобразователя с поверхностью ввода. Последняя погрешность зависит от шероховатости поверхности СО и от толщины слоя контактной жидкости между преобразователем и поверхностью СО.

Определение этих погрешностей производится посредством многократных измерений времени прохождения ультразвуковых волн в различных точках поверхности ввода СО. Рекомендуется проводить не менее 8 измерений. Далее проводится статистическая обработка результатов измерений. Определяется математическое ожидание времени, дисперсия и погрешность в доверительном интервале 0,95.

Общая погрешность аттестованного значения времени пробега волн представляет собой сумму инструментальной погрешности и погрешности, связанной с геометрическими размерами СО.

### 3.4. Определение эквивалентной ультразвуковой толщины СО

Понятие эквивалентной ультразвуковой толщины образца возникло для нужд поверки ультразвуковых толщиномеров и дефектоскопов, из необходимости определения основной абсолютной погрешности глубиномера дефектоскопа или определение основной абсолютной погрешности шкалы ультразвукового толщиномера.

Отметим, что в ультразвуковых дефектоскопах и толщиномерах реализован косвенный метод измерений координат дефекта или толщины изделия. Исходно ультразвуковой прибор измеряет время задержки эхосигнала относительно зондирующего импульса  $T$ . В дальнейшем производится расчет глубины залегания дефекта или толщины  $H$  по формуле

$$H = (C/2) * (T - T_h),$$

где:  $C$  [м/с] – скорость волн в материале изделия,  $T_h$  [с] – время пробега волн в преобразователе.

Величины  $C$  и  $T_h$  являются параметрами настройки прибора. Следует подчеркнуть, что в некотором настроенном состоянии для расчета величины  $H$  прибор использует фиксированное значение скорости звука.

Изготовление комплектов СО для определения погрешности  $H$  требует очень высокой воспроизводимости скорости звука для всех СО, входящих в комплект. Практика показывает, что в реальных материалах, таких как малоуглеродистые стали, легированные стали, сплавы алюминия, титана, вариации скорости звука в пределах одной марки материала достигают 1-3% и более. Изготовление комплекта СО из одной заготовки позволяет уменьшить разброс скорости звука до 0,2-0,5%, но этого часто недостаточно для поверки ультразвуковых толщиномеров.

Из формулы, приведенной выше, видно, что образец задает время  $T$ , которое может быть измерено с высокой точностью (см. ПЗ.3.). Для образца необходимо сопоставить его время  $T_{со}$  с некоторой толщиной  $H_{экв}$ , которую должен измерятьверяемый ультразвуковой прибор. Величину  $H_{экв}$  называют эквивалентной ультразвуковой толщиной СО.

Комплекту СО присваивают единое значение скорости звука  $C_{ср}$ . Обычно находят среднее арифметическое значение скорости

$$C_{ср} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i$$

Здесь  $n$  – количество образцов в комплекте,  $C_i$  – скорость звука в данном СО.

Эквивалентная ультразвуковая толщина СО вычисляется по формуле

$$H_{экв} = C_{ср} * T_{со} / 2,$$

где:  $T_{со}$  – время прохождения волн в данном образце.

Абсолютная погрешность эквивалентной толщины вычисляется следующим образом

$$\Delta H_{экв} = C_{ср} * \Delta T / 2,$$

где:  $\Delta T$  – абсолютная погрешность времени прохождения ультразвуковых волн в образце.



В процессе поверки прибора производится настройка глубиномера по СО с минимальной и максимальной толщиной. Причем используются значения эквивалентной ультразвуковой толщины СО. Затем выполняют измерения толщины всех образцов данного комплекта. Основную абсолютную погрешность определяют как разность между показаниями прибора и значением эквивалентной ультразвуковой толщины образца.

Отметим, что понятие эквивалентной ультразвуковой толщины относится только к комплекту, состоящему из 3-х образцов и более.

#### 4. Выполнение измерений аттестуемых параметров СО

##### 4.1. Операции измерения аттестуемых параметров СО

При проведении аттестации СО должны выполняться операции, указанные в таблице 4.1.1. Операции проводятся организациями Агентства по техническому регулированию РФ или аккредитованными метрологическими службами. В случае отрицательного результата при проведении одной из операций аттестацию прекращают и стандартный образец признают не пригодным для использования.

Таблица 4.1.1.

Номера пунктов МВИ	Наименование операций	Обязательность операций при первичной аттестации	Обязательность операций при периодической аттестации
8.4.1.	Внешний осмотр	да	да
8.4.2.	Определение геометрических размеров СО в направлениях прозвучивания	да	нет
8.4.3.	Определение шероховатости поверхностей ввода (Rz)	да	да
8.4.4.	Определение времени прохождения ультразвуковых волн в СО	да	да
8.4.5.	Определение скорости звука	да	да
8.4.6.	Определение эквивалентной ультразвуковой толщины	да	да

##### 4.2. Требования к средствам измерений

При проведении аттестации СО должны быть использованы следующие средства измерений.

1. Приборы и инструменты для измерения линейных размеров.
  - 1.1. Диапазон измерений 0,6 – 300 мм.
  - 1.2. Инструментальная погрешность в диапазоне 0,6-20мм не более  $\pm 0,01$ мм.
  - 1.3. Инструментальная погрешность в диапазоне 20-300мм не более  $\pm 0,05$ мм.
2. Приборы для измерения шероховатости поверхности (Rz).
  - 2.1. Минимальный диапазон измерений 5 – 50 мкм.
  - 2.2. Инструментальная погрешность в диапазоне измерений не более  $\pm 25\%$ .
3. Ультразвуковой дефектоскоп с цифровой обработкой сигналов (рекомендуется УД9812).
  - 3.1. Диапазон частот ультразвуковых сигналов 0,6 – 12 МГц.
  - 3.2. Амплитуда зондирующего импульса не менее 200В.

- 3.3. Максимальная чувствительность приемного тракта не более 200 мкВ.
  - 3.4. Диапазон установки чувствительности приемного тракта не менее 80 дБ.
  - 3.5. Погрешность установки чувствительности приемного тракта не более  $\pm 1$  дБ.
  - 3.6. Частота дискретизации ультразвуковых сигналов не ниже 80 МГц.
  - 3.7. Относительная погрешность частоты дискретизации  $2 \cdot 10^{-5}$ .
  - 3.8. Ультразвуковой дефектоскоп должен обеспечивать наблюдение и измерение параметров высокочастотных ультразвуковых сигналов.
  - 3.8. Программное обеспечение дефектоскопа должно проводить интерполяцию сигналов с конечной частотой дискретизации не ниже 160 МГц.
  - 3.9. Программное обеспечение дефектоскопа должно обеспечивать измерение задержки ультразвуковых сигналов методом перехода через ноль.
  - 3.10. Программное обеспечение дефектоскопа должно проводить статистическую обработку измерений времени задержки ультразвуковых сигналов с вычислением математического ожидания и погрешности.
4. Комплект прямых ультразвуковых преобразователей.
- 4.1. Диапазон частот излучаемых ультразвуковых сигналов 0,6-12 МГц.
  - 4.2. Отношение центральной частоты спектра ультразвукового сигнала к ширине спектра на уровне -6 дБ (добротность) не более 4.
  - 4.3. Отношение размера пьезоэлемента к длине волны излучения в максимуме спектральной плотности  $D/\lambda$  должно быть в пределах от 2,5 до 10.
  - 4.4. Размер мертвой зоны преобразователя не более 1/3 размера СО в направлении прозвучивания.
  - 4.5. Допускается применение совмещенных и раздельно-совмещенных прямых ультразвуковых преобразователей.

Примечание: все средства измерений, используемые для аттестации СО, должны быть поверены организациями аккредитованными в Агентстве по техническому регулированию РФ.

#### **4.3. Требование к квалификации поверителя**

К проведению измерений и обработке результатов измерений допускаются лица, имеющие среднее техническое образование, успешно окончившие курсы ЦИСМ по поверке и калибровке средств неразрушающего контроля и имеющие удостоверение на право поверки средств ультразвукового контроля.

#### **4.4. Требования к организации работ**

Для проведения аттестации СО, а также для хранения аппаратуры, преобразователей, вспомогательных приспособлений, материалов и отчетной документации на предприятии должно быть организовано рабочее место метролога.

Рабочее место метролога должно быть оснащено:

- средствами измерений согласно П.4.2.,
- рабочим столом для проведения измерений,
- канцелярским столом для оформления документации,
- разводкой сети переменного тока 50 Гц напряжением 220В,
- подводкой горячей и холодной воды,
- лабораторными и канцелярскими шкафами,
- стеллажами и шкафами для хранения аппаратуры, образцов, запасных частей,
- емкостями для хранения контактной жидкости.

- средствами защиты от ярких источников света, при работе в дневное время или при сильном искусственном освещении.

Сотрудники, выполняющие измерения, должны обеспечиваться спецодеждой и обтирочными материалами.

#### **4.5. Требования безопасности**

Электробезопасность при работе обеспечивается выполнением требований ПОТ Р М-016-2001, РД 153-34.0-03.150-00 Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок, утвержденных Приказом Минэнерго России от 27.12.00 №163, Постановлением Минтруда России от 05.01.01 №3 с изменениями и дополнениями, а также ГОСТ 12.2.007-3-75.

Мероприятия по пожарной безопасности осуществляются в соответствии с требованиями типовых Правил пожарной безопасности для промышленных предприятий, утвержденных ГУПО МВД СССР в 1975 г. и ГОСТ 12.1.004-91.

К работе с ультразвуковыми системами допускаются лица, прошедшие инструктаж по правилам техники безопасности, о чем должна быть занесена запись в журнал, имеющие удостоверение по проверке знаний ПОТ Р М-016-2001, РД 153-34.0-03.150-00 Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок.

Для предотвращения воздействия на оператора ультразвуковых колебаний при проверке, калибровке, градуировке ультразвуковых систем следует руководствоваться «Правилами безопасности и производственной санитарии для операторов ультразвуковой дефектоскопии», разработанными Московским научно-исследовательским институтом им. М.Ф. Владимирского, утвержденными Минздравом СССР 29 декабря 1980 г. Параметры ультразвука, воздействующие на оператора, должны соответствовать ГОСТ 12.1.006-76.

При работе с ультразвуковыми дефектоскопами необходимо выполнять требования безопасности и производственной санитарии предусмотренные ГОСТ 12.2.007.075.

При питании от сети переменного тока ультразвуковые электронное оборудование должно иметь заземление голым медным проводом сечением не менее 2,5 мм<sup>2</sup>.

Сотрудники должны проходить медицинские осмотры не реже одного раза в год в установленном порядке.

К работам по измерению параметров СО допускаются лица в возрасте не моложе 18 лет, прошедшие инструктаж по технике безопасности с регистрацией в журнале по установленной форме. Инструктаж должен производиться в сроки, определяемые приказом по предприятию.

#### **4.6. Условия проведения измерений**

При проведении метрологической аттестации СО должны соблюдаться следующие условия:

1. Температура окружающего воздуха -  $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ .
2. Относительная влажность -  $65 \pm 15\%$ .
3. Атмосферное давление -  $100 \pm 4$  кПа.
4. Внешние электрические и магнитные поля должны отсутствовать или находиться в пределах, не влияющих на работу аппаратуры.

#### 4.7. Способы обеспечения стабильного акустического контакта

При контактном способе прозвучивания амплитуда эхосигнала достаточно сильно зависит от толщины контактной смазки между преобразователем и поверхностью образца. Кроме того, наличие неоднородностей и неравномерность толщины контактного слоя создает дифракционную погрешность в измерениях времени задержки эхосигнала. Для уменьшения погрешностей в ультразвуковых измерениях необходимо обеспечить стабильный акустический контакт преобразователя с образцом. Этого можно добиться двумя способами: либо обеспечить одинаковое усилие прижима преобразователя к образцу, либо создать стабильную величину зазора между ними.

В первом случае необходимо сделать какое-либо механическое приспособление, создающее тарированное усилие прижима на преобразователь.

Во втором случае можно использовать приспособление, показанное на Рис.4.7.1.

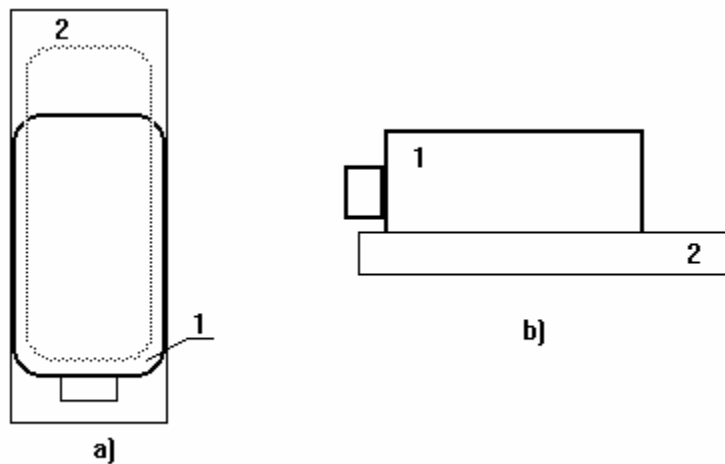


Рис. 4.7.1. Способ создания стабильного зазора между преобразователем и поверхностью образца. а- вид сверху, б - вид сбоку, 1- преобразователь, 2 - прокладка.

Здесь для создания стабильного зазора используется прокладка из лавсана толщиной 0,05 - 0,1 мм. В прокладке вырезается окно, показанное пунктирной линией на Рис.1.а, которое открывает область излучения ультразвуковых колебаний преобразователя. При проведении измерений пространство окна заполняется контактной жидкостью. Нестабильность прозрачности контактного слоя в этом случае не превышает  $\pm 0,5$  дБ.

#### 4.8. Проведение измерений

При проведении измерений выполняются ниже следующие операции.

##### 4.8.1. Внешний осмотр

При проведении внешнего осмотра должно быть установлено:

- наличие регистрационного номера на образце,
- отсутствие механических повреждений, окислов и коррозии и на рабочих поверхностях образца.

#### 4.8.2. Определение геометрических размеров СО

Определение размера СО в направлении прозвучивания производится с помощью средств измерений линейных размеров.

Измерения проводят не менее чем в 8 точках на поверхности ввода ультразвуковых волн. Далее рассчитывается средний размер СО  $H$  и погрешность  $\Delta H$  по формулам

$$H = \frac{\sum_{i=1}^n H_i}{n}; \quad Sh = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (H_i - H)^2}{n(n-1)}}; \quad \Delta H = \sqrt{(t_{n-1,p} * Sh)^2 + \Delta_H^2}$$

Здесь:  $n$  – количество измерений размера,  $H_i$  – значения измерений,  $H$  – средний размер,  $Sh$  – дисперсия,  $\Delta H$  – погрешность размера,  $t_{n-1,p}$  - коэффициент Стьюдента в зависимости от количества измерений и доверительного интервала вероятности  $p=0,95$ ,  $\Delta_H$  – инструментальная погрешность средства измерения линейных размеров.

Определение размера СО проводят для каждого направления прозвучивания.

#### 4.8.3. Определение шероховатости поверхностей СО

Шероховатость поверхностей ввода ультразвуковых колебаний определяется выбранным средством измерения шероховатости. Определяется параметр шероховатости  $Rz$ . При этом используются типовая методика выполнения измерений для данного СИ.

Если шероховатость поверхности  $Rz$  больше погрешности определения размера СО  $\Delta H$ , образец признается не годным к использованию. Аттестацию СО прекращают.

#### 4.8.4. Определение времени прохождения ультразвуковых сигналов в СО

Определение времени прохождения ультразвуковых сигналов в СО проводится с использованием ультразвукового дефектоскопа с цифровой обработкой сигналов и специализированного программного обеспечения. Выполняются следующие операции.

1. Поверхность ввода СО смазать контактной жидкостью. Установить ультразвуковой преобразователь на поверхности ввода. Для обеспечения качественного акустического контакта преобразователя и СО выполнить рекомендации П.4.7.
2. Настроить параметры ультразвукового дефектоскопа для наблюдения высокочастотных донных эхосигналов. Настройка производится в соответствии с руководством по эксплуатации используемой аппаратуры.
3. Провести измерение задержки первого, второго и третьего донных эхосигналов –  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ . Задержка определяется методом перехода сигнала через ноль. Для повышения точности измерений используется сплайн-интерполяция ультразвуковых сигналов.
4. Провести проверку отсутствия интерференционных искажений в эхосигналах. Для этого необходимо определить разности времен задержки  $\Delta t_{12} = t_2 - t_1$ ,  $\Delta t_{23} = t_3 - t_2$ . Далее проверить выполнение неравенства  $|\Delta t_{12} - \Delta t_{23}| < 4 * \Delta t$ . Здесь  $\Delta t$  – погрешность измерения времени ультразвукового дефектоскопа. Если неравенство не выполняется аттестацию СО прекращают и образец признают не годным к использованию.
5. Провести расчет времени прохождения ультразвуковых сигналов  $T_{соi}$  и погрешности измерения  $\Delta T_{со}$  используя ранее измеренные величины.  $T_{соi} = t_2 - t_1$ ,  $\Delta T = 2 * \Delta t$ .
6. Провести определение времени прохождения ультразвуковых сигналов  $T_{соi}$  не менее чем в 8-ми точках на поверхности ввода СО в данном направлении прозвучивания. Каждый раз выполнить пункты 1 – 5 данного параграфа.

7. Статистическая обработка результатов измерений. Рассчитать среднее значение  $T_{co}$  и погрешность  $\Delta T_{co}$  по формулам

$$T_{co} = \frac{\sum_{i=1}^n T_{co_i}}{n}; \quad ST = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_{co_i} - T_{co})^2}{n(n-1)}}; \quad \Delta T_{co} = \sqrt{(t_{n-1,p} * ST)^2 + \Delta T^2}$$

Здесь:  $n$  – количество измерений,  $T_{co_i}$  – значения измерений,  $T_{co}$  – аттестованное значение времени,  $ST$  – дисперсия,  $\Delta T_{co}$  – погрешность измерения времени,  $t_{n-1,p}$  – коэффициент Стьюдента в зависимости от количества измерений и доверительного интервала  $p=0,95$ ,  $\Delta T$  – инструментальная погрешность.

#### 4.8.5. Определение скорости звука

Скорость продольных волн в СО в данном направлении прозвучивания определяется на основе измерений размера СО  $H$  и времени прохождения ультразвуковых волн  $T_{co}$ . Расчет скорости ультразвуковых волн  $Cl$  и погрешности скорости  $\Delta Cl$  производится по формулам

$$Cl = 2 * H / T_{co}, \quad \Delta Cl = Cl(2 * \Delta H / H + \Delta T_{co} / T_{co}).$$

Скорость продольных волн  $Cl$  определяется для каждого направления прозвучивания.

#### 4.8.6. Определение эквивалентной ультразвуковой толщины

Эквивалентная ультразвуковая толщина СО определяется на основе измерений времени пробега ультразвуковых волн и скорости звука. Вначале находят среднее арифметическое значение скорости звука по комплекту образцов

$$C_{CP} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i$$

Здесь  $n$  – количество образцов в комплекте,  $C_i$  – скорость звука в данном СО.

Эквивалентная ультразвуковая толщина СО вычисляется по формуле

$$H_{\text{экв}} = C_{CP} * T_{co} / 2,$$

где:  $C_{CP}$  – среднее значение скорости ультразвуковых волн по комплекту образцов,  $T_{co}$  – время прохождения волн в данном образце.

Абсолютная погрешность эквивалентной толщины вычисляется следующим образом

$$\Delta H_{\text{экв}} = C_{CP} * \Delta T / 2,$$

где:  $\Delta T$  – абсолютная погрешность времени прохождения ультразвуковых волн в образце.

#### 4.9. Оформление результатов аттестации СО

По результатам измерений составляется паспорт комплекта СО, форма которого приведена в приложении 1. Допускается аттестация отдельного СО или комплекта из 2-х СО. В этом случае не определяется эквивалентная ультразвуковая толщина.

В случае отрицательных результатов стандартный образец признается негодным к использованию.

## 5. Паспорт

### Комплект стандартных образцов времени прохождения ультразвуковых сигналов, скорости звука, эквивалентной ультразвуковой толщины

#### 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

**1.1. Наименование СО:** Комплект стандартных образцов времени прохождения ультразвуковых сигналов, скорости звука, эквивалентной ультразвуковой толщины

**1.2. Назначение СО:** комплект стандартных образцов предназначен для калибровки и поверки прецизионных измерителей времени пробега ультразвуковых волн и измерителей скорости ультразвука а также для калибровки и поверки аппаратуры ультразвукового неразрушающего контроля.

**1.4. Маркировка:** номер образца нанесен на его боковой поверхности методом гравирования.

**1.5. Аттестуемые метрологические характеристики:** комплект стандартных образцов аттестуется по следующим метрологическим характеристикам.

1. Время прохождения ультразвуковых продольных волн в СО (эхо-метод).
2. Размер образца в направлении прозвучивания.
3. Скорость ультразвуковых продольных волн в направлении прозвучивания.
4. Эквивалентная ультразвуковая толщина.

**1.6. Определение метрологических характеристик стандартных образцов проводилось следующими средствами измерений:**

1. Приборы и инструменты для измерения линейных размеров СО \_\_\_\_\_.
2. Оборудование для измерения шероховатости поверхности \_\_\_\_\_.
3. Ультразвуковая электронная аппаратура (тип, номер) \_\_\_\_\_.
4. Ультразвуковые преобразователи (типы) \_\_\_\_\_.
5. Специализированное программное обеспечение \_\_\_\_\_.

**1.7. Определение метрологических характеристик стандартных образцов проводилось по методике выполнения измерений \_\_\_\_\_ (ссылка на настоящее МВИ)**

**1.9. Изготовитель:** \_\_\_\_\_ (наименование организации, адрес)

#### 2. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СО

**2.1. Стандартный образец № \_\_\_\_.** Внешний вид стандартного образца №1 представлен на рисунке 1. Вид эхосигналов, по которым производится аттестация времени прохождения ультразвуковых продольных волн, показан на рисунке 2.

2.1.1. Материал образца \_\_\_\_\_.

2.1.2. Шероховатость поверхностей ввода ультразвуковых волн не более  $Rz$  \_\_\_\_.

Фотография СО

Рис.1. Образец №\_\_\_\_. Внешний вид.

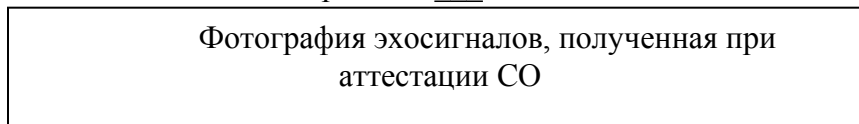


Рис.2. Вид эхосигналов в образце №\_\_\_\_ при прозвучивании его в направлении \_\_\_\_.

### 3. МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

**3.1. Метрологические характеристики образцов выполняются при нормальных условиях:**

3.1.1. Температура окружающего воздуха -  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ .

3.1.2. Относительная влажность воздуха -  $65 \pm 15\%$ .

3.1.3. Атмосферное давление -  $100 \pm 4$  кПа.

4.1.4. Напряжение питания сети –  $220 \pm 10\text{В}$ , частота –  $50 \pm 5\text{Гц}$ .

4.1.5. Внешние электрические и магнитные поля должны отсутствовать, либо находиться в пределах, не влияющих на работу аппаратуры.

**3.2.** \_\_\_\_\_.

Дополнительная информация, необходимая для уточнения условий и способов измерений аттестованных характеристик СО.

**3.3. Геометрические размеры СО** (указываются только размеры СО в направлениях прозвучивания, другие размеры необходимо приводить в разделе «Технические характеристики»)

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**3.4. Время прохождения ультразвуковых волн в направлениях прозвучивания.**

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**3.5. Скорость продольных волн в направлениях прозвучивания.**

\_\_\_\_\_

**3.6. Среднее значение скорости звука по комплекту СО**

\_\_\_\_\_

**3.7. Эквивалентная ультразвуковая толщина.**

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**3.8. Срок годности экземпляра СО: 10 лет.**

Паспорт составил: \_\_\_\_\_ Подпись: \_\_\_\_\_  
№ Удостоверения: \_\_\_\_\_ (м.п.)