

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
МОСКОВСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Сборник лабораторно-практических занятий
по курсу
АКУСТИКА В ИНТРОСКОПИИ

Москва
2015

Оглавление

Лабораторная работа № 1	3
«Изучение основных параметров ультразвукового контроля. Изучение основных характеристик акустических волн»	3
Лабораторная работа № 2	11
«Разработка технологической карты для проведения ультразвукового контроля. Контроль сварных соединений»	11
Лабораторная работа № 3	25
«Изучение принципов работы дефектоскопов с фазированными антенными решетками. Обнаружение дефектов в образцах сварных соединений с применением системы контроля Narfang X-32»	25
Лабораторная работа № 4	37
«Определение скоростей распространения поверхностной волны Рэлея и волн Лэмба»	37
Лабораторная работа № 5	45
«Исследование эхо-импульсного метода ультразвуковой дефектоскопии»	45

Лабораторная работа № 1

«Изучение основных параметров ультразвукового контроля. Изучение основных характеристик акустических волн»

Цель работы

Овладение навыками работы с ультразвуковым импульсным дефектоскопом типа М380 MasterScan.

Изучение основных параметров ультразвукового контроля.

Ознакомление со стандартными образцами для ультразвукового контроля типа СО-1, СО-2, СО-3.

Ознакомление с методикой измерения скорости распространения различных типов акустических волн в твердом теле.

Домашнее задание

1. Ознакомиться с ГОСТ 14782-86 «Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые».

2. Ознакомиться с руководством по эксплуатации ультразвукового дефектоскопа М380 MasterScan.

3. Используя данные в табл. 1 значения скорости распространения продольных C_L , поперечных C_T и поверхностных C_S волн для алюминия, стали, латуни и оргстекла, рассчитать углы преломления α_L и α_T в алюминии, стали и латуни для преобразователя с призмой из оргстекла (угол наклона призмы $\beta = 40^\circ$). Рассчитать углы падения $\beta_{кр}$ ультразвуковых колебаний в оргстекле, при которых в перечисленных металлах возникают поверхностные волны. Результаты записать в табл. 1.

4. Рассчитать углы ввода для стали, алюминия и латуни при работе с преобразователями П121-4-45, П121-4-60, П121-4-70.

Таблица 1

Материал	Скорость волн, м/с			α_L	α_T	$\beta_{кр}$
	C_L	C_T	C_S			
Оргстекло	2640	1120	1050			
Алюминий	6260	3080	2800			
Сталь	5900	3260	2790			
Латунь	4430	2120	1950			

Предмет исследования

В данной работе исследуются возможности ультразвукового дефектоскопа типа М380 MasterScan, изучается методика проверки и настройки основных параметров для проведения контроля. Производится подготовка оборудования к работе.

В качестве образцов для проверки основных параметров используются стандартные образцы СО-1 (рис. 1), СО-2 (рис. 2), СО-3 (рис. 3), в качестве объектов контроля рассматриваются образцы из различных материалов: из стали, латуни, алюминия (рис. 4).

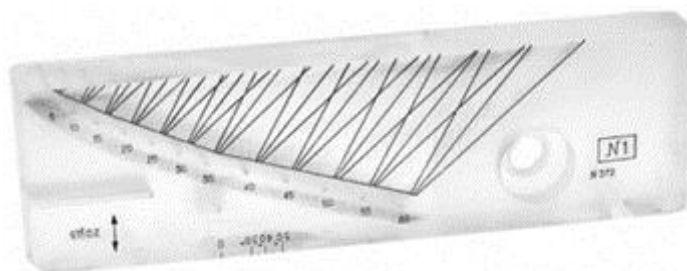


Рисунок 1 Стандартный образец СО-1

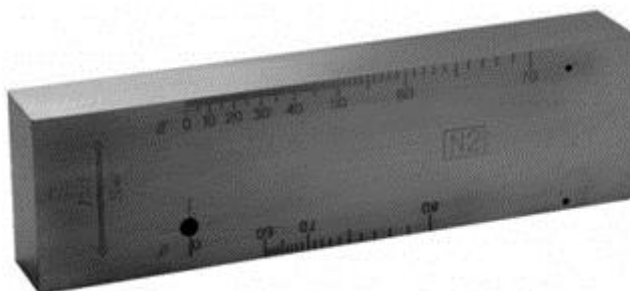


Рисунок 2 Стандартный образец СО-2



Рисунок 3 Стандартный образец СО-3

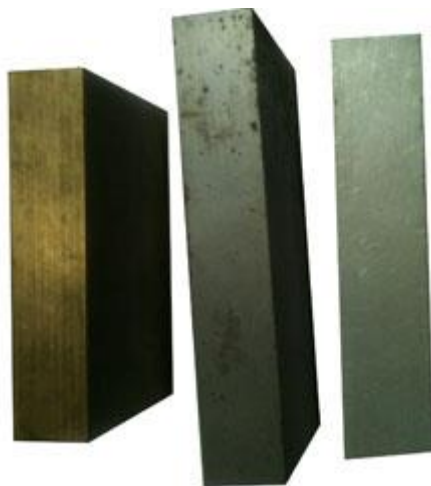


Рисунок 4 Образцы для контроля

Описание лабораторной установки

Лабораторная установка для проведения контроля состоит из ультразвукового дефектоскопа M380 MasterScan (рис. 5), пьезоэлектрических преобразователей (ПЭП) частотой 4 МГц прямых и наклонных с углом ввода 45° , 60° и 70° , кабеля для подключения преобразователей к дефектоскопу.



Рисунок 5 Ультразвуковой дефектоскоп M380 MasterScan

Теоретические положения

Различают государственные стандартные образцы (ГСО или СО) и стандартные образцы предприятий (СОП).

- СО предусмотрены стандартами, в которых указан материал, из которого они изготовлены, и конструкция. СО предназначены для проверки и настройки аппаратуры при контроле широкого ассортимента продукции. СО предназначены для проверки параметров преобразователя и дефектоскопа. Комплект КОУ-2 (СО-1, СО-2, СО-3, СО-4) применяют при контроле изделий с плоской поверхностью ПЭП шириной до 20 мм на частоту 1,25 МГц и выше.

- СОПы рекомендованы ведомственными нормативно-техническими документами или руководящими документами предприятий. Предназначены для настройки аппаратуры при контроле определенного вида продукции.

Внешний вид наиболее распространенных стандартных образцов СО-1, СО-2 и СО-3 приведен на рис. 1-3, назначение и положения преобразователя, при которых происходит проверка основных параметров, показаны на рис. 6-8. В таблице 2 приведены параметры стандартных образцов и их назначения.

Таблица 2

Назначение стандартных образцов

<i>СО</i>	<i>Материал</i>	<i>Назначение</i>	<i>Положение ПЭП</i>
СО-1	Оргстекло Cl=2670±133 м/с при температуре 20±5 ⁰ С на частоте 2,5±0,2 МГц	условная чувствительность (в мм)	1, 2 (рис. 5)
		проверка лучевой разрешающей способности	3, 4 (рис. 5)
		проверка погрешности глубиномера	5 (рис.5)
		определение угла призмы	6 (рис. 5)
СО-2 (СО-2А)	малоуглеродистая сталь с мелкозернистой структурой (из материала ОК) Cl=5900±50 м/с St=3260 м/с	условная чувствительность (в дБ)	1, 2 (рис. 6)
		проверка мертвой зоны	3, 4, 5 (рис. 6)
		проверка угла ввода	2, 6 (рис. 6)
		ширины диаграммы направленности	2, 6 (рис. 6)
		проверка погрешности глубиномера	7 (рис. 6)
СО-3	малоуглеродистая сталь с мелкозернистой структурой Cl=5900±50 м/с St=3260 м/с	определение точки выхода	(рис. 7)
		определение стрелы ПЭП	(рис. 7)
		отстройка от времени пробега УЗ в призме ПЭП	(рис. 7)

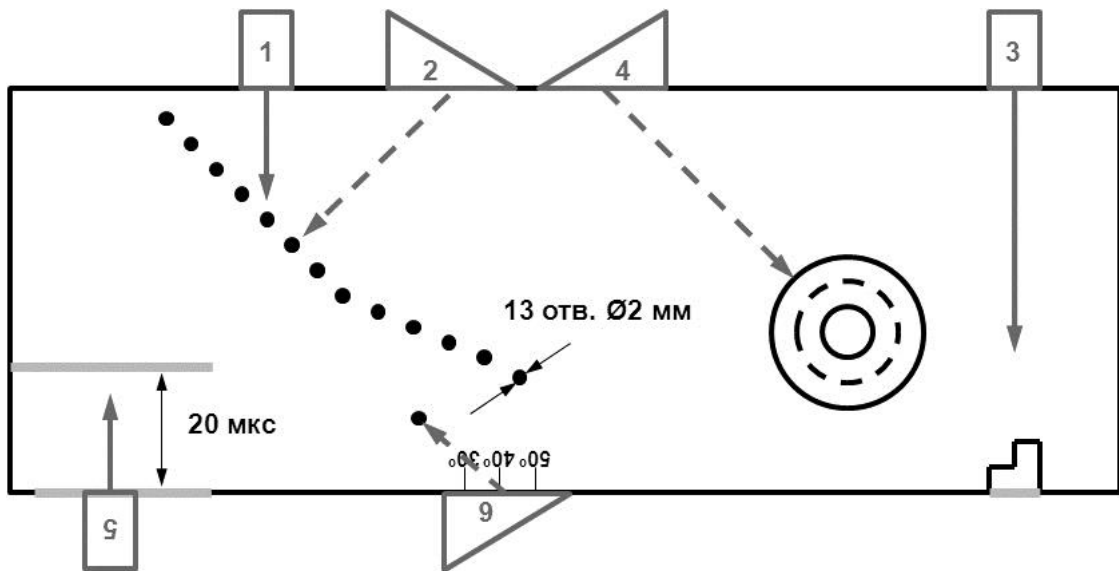


Рисунок 6 Положение преобразователя на СО-1

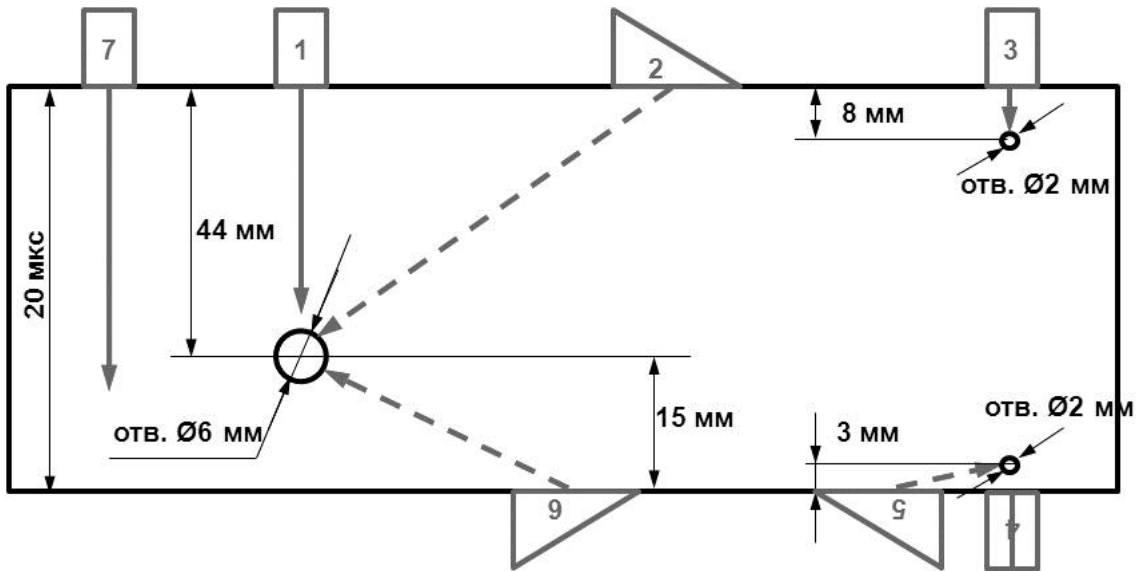


Рисунок 7 Положение преобразователя на СО-2

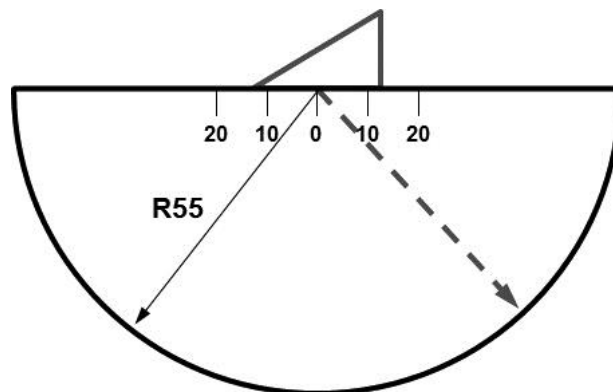


Рисунок 8 Положение преобразователя на СО-3

Угол ввода - угол между нормалью к поверхности, на которой установлен преобразователь, и линией, соединяющей центр цилиндрического отражателя (обычно Ø6 мм в СО-2) с точкой выхода преобразователя при установке преобразователя в положение, при котором амплитуда эхо-сигнала от отражателя наибольшая.

Чувствительность является важнейшим параметром, определяющим достоверность и воспроизводимость результатов контроля.

Условная чувствительность - чувствительность к искусственным несплошностям в стандартных образцах. Определяется:

- глубиной залегания наиболее удаленного выявляемого отверстия диаметра 2 мм в СО-1 при определенной настройке дефектоскопа в мм;
- числом дБ, показывающим, на сколько нужно изменить чувствительность от настройки по отверстию диаметром 6 мм в СО-2, чтобы получить заданную предельную чувствительность.

Понятие «условная чувствительность» нужно для того, чтобы запомнить и воспроизвести чувствительность дефектоскопа при замене преобразователя на другой того же типа или каких-нибудь других изменениях в аппаратуре.

Мертвая зона (или минимальная глубина прозвучивания) - минимальное расстояние от поверхности ввода до несплошности, надежно выявляемого при контроле.

Рабочее задание

1. Подключить прямой совмещенный преобразователь к дефектоскопу. В соответствии с руководством по эксплуатации установить его параметры в настройках дефектоскопа.

2. Проверить по СО-2 мертвую зону преобразователя.

3. Определить время задержки в протекторе прямого преобразователя по СО-2. Установить полученное значение в прибор.

4. Определить по СО-1 условную чувствительность в мм, проверить лучевую разрешающую способность преобразователя.

5. В предложенных образцах по донному сигналу определить скорости распространения продольных волн.

6. Определить скорость распространения продольной волны в образцах без использования стандартных образцов (без настройки глубиномера-времени задержки в протекторе по СО-2). Сравнить полученные значения.

7. Подключить наклонный преобразователь с углом ввода 45° .

8. Проверить мертвую зону по СО-2.

9. Определить по СО-3 точку выхода, стрелу и время задержки в призме. Для определения точки выхода наклонный преобразователь установить над центральной риской, небольшими перемещениями найти положение, соответствующее максимальному эхо-сигналу. Точка выхода расположена

точно над центральной риской образца. Измерить стрелу. Установить полученные значения в прибор.

10. Проверить угол ввода по СО-2.

11. По сигналу от двугранного угла определить скорость поперечных волн в предложенных образцах.

12. Повторить пп.7-11, заменив преобразователь с углом ввода 45° на преобразователи с углами ввода 60° и 70° .

13. Измерить углы преломления поперечных волн в образцах и сопоставить с рассчитанными по формуле синусов.

14. Определить скорость распространения поперечных волн в предложенных образцах без использования СО-3 (без предварительной настройки глубиномера – времени задержки в призме).

Методические рекомендации

1. При падении продольной волны из одного твердого тела на поверхность другого возникает система волн (рис. 9): две отраженные и две преломленные, из которых одна волна поперечная, а другая продольная. Углы падения β , отражения γ_L , γ_T и преломления α_L и α_T связаны между собой законом синусов:

$$\frac{\sin \beta}{C_L} = \frac{\sin \gamma_L}{C_L} = \frac{\sin \gamma_T}{C_T} = \frac{\sin \alpha_L}{C'_L} = \frac{\sin \alpha_T}{C'_T}$$

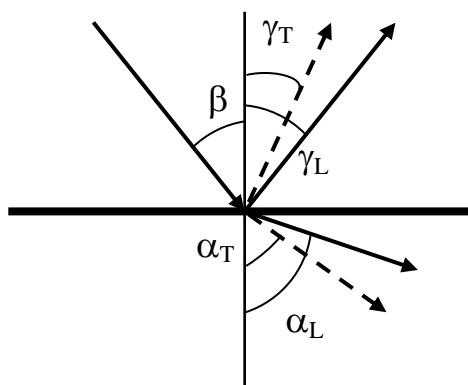


Рисунок 9 Волны, возникающие при отражении и преломлении продольной волны на границе раздела двух твердых тел

где C_L и C_T - скорости продольной и поперечной волн в среде, из которой волна падает на границу раздела; C'_L и C'_T - скорости продольной и поперечной волн в среде, в которую волна входит.

При $\beta' = \arcsin\left(\frac{C_L}{C'_L}\right)$ (первый критический угол) продольная волна в образце претерпевает полное внутреннее отражение, и остается лишь

поперечная волна. При $\beta'' = \arcsin\left(\frac{C_L}{C'_T}\right)$ (второй критический угол)

поперечная волна претерпевает полное внутреннее отражение. Когда углы падения превышают первое или второе критическое значения, соответствующие продольная и поперечная волны в нижней среде не исчезают, а локализуются в поверхностном слое в виде так называемой неоднородной волны. Неоднородная волна быстро затухает при распространении вдоль границы раздела двух сред.

2. При некотором угле падения (большем второго критического) создаются условия, когда неоднородная продольная и поперечная волны обеспечивают условия возникновения поверхностной волны Рэлея. Угол падения, при котором возбуждается поверхностная волна, определяется

формулой $\sin \beta = \frac{C_L}{C'_S}$, где C_S - скорость поверхностной волны в нижней среде;

C_L - скорость продольной волны в призме.

3. Прежде чем начать измерения поперечных волн, необходимо выделить импульс, отраженный от ребра двугранного угла среди других импульсов на экране. Этот импульс будет менять свою амплитуду, если нажимать на угол пальцем, смоченным в масле. Необходимо перемещать преобразователь по поверхности образца, добиваясь максимальной амплитуды этого импульса.

Контрольные вопросы

1. Из каких основных узлов состоит ультразвуковой дефектоскоп и каково их назначение?
2. В чем сущность пьезоэлектрического эффекта?
3. Что называется акустической волной?
4. Какие типы волн вам известны?
5. Как измерить скорость распространения акустических волн разных типов?
6. Какие углы падения УЗК называются критическими?
7. Как возбудить акустические волны разных типов?
8. Что такое мертвая зона?
9. Какие стандартные образцы помимо СО-1, СО-2 и СО-3, применяются при контроле и настройке?

Лабораторная работа № 2

«Разработка технологической карты для проведения ультразвукового контроля. Контроль сварных соединений»

Цель работы

Овладеть навыками разработки технологической карты для проведения ультразвукового контроля в соответствии с действующей нормативно-технической документацией. Выполнить расчет параметров контроля, выбрать соответствующие средства (дефектоскоп, преобразователь, стандартные образцы, стандартные образцы предприятия) контроля. Разработать форму отчета по результатам контроля. Выполнить контроль образца сварного соединения.

Домашнее задание

1. Домашнее задание направлено на изучение нормативно-технической документации, выбранной в соответствии с заданным объектом контроля (ГОСТ 14782-86, а также на выбор РД 34.17.302-97, ВСН 012-88, СТО Газпром 2-2.4-083-2006, РД 08.00-60.30.00-КТН-046-1-05, РД РОСЭК-001-96 либо другую НТД, указанную преподавателем).

2. Разработанная технологическая карта должна содержать следующие разделы:

- описание исходных данных (параметры объекта контроля, НТД и т.п.);

- подготовка к контролю;
- настройка и проверка аппаратуры;
- процедура проведения контроля;
- измерение характеристик.

3. Форма отчета должна содержать следующую информацию:

- сведения об объекте контроля;
- используемая нормативно-техническая документация на контроль;
- средства контроля;
- параметры контроля;
- оценка качества объекта контроля;
- сведения о специалисте, проводившем контроль;
- результаты контроля.

Предмет исследования

В данной работе исследуется методика проведения ультразвукового контроля плоских и/или цилиндрических образцов стыковых и угловых сварных швов. Объектами контроля, например, могут быть соединения магистральных и технологических трубопроводов.

Описание лабораторной установки

Лабораторная установка для проведения контроля состоит из ультразвукового дефектоскопа M380 MasterScan (рис. 10), пьезоэлектрических преобразователей частотой 4 МГц прямых и наклонных с углом ввода 45° , 60° и 70° , кабель для подключения ПЭП к дефектоскопу. При необходимости используются преобразователи с другими углами ввода и частотами.



Рисунок 10 Ультразвуковой дефектоскоп M380 MasterScan

Рабочее задание

1. Получить исследуемый образец с дефектами.
2. Ультразвуковой контроль образца проводится поэтапно в соответствии с разработанной технологической картой:
 - провести подготовку к контролю;
 - выполнить настройку и проверку параметров метода и аппаратуры в соответствии с разработанной технологической картой;
 - выполнить контроль по процедуре, описанной в технологической карте;
 - снять и записать основные характеристики выявленных дефектов;
 - оформить отчет по подготовленной форме.

Методические рекомендации

1. Нормативно-техническую документацию получают на бригаду у преподавателя. Нормативный документ следует внимательно изучить. Вместе с нормативно-технической документацией бригада получает образец для ультразвукового контроля.
2. Требуется указать основные сведения о контролируемом объекте, такие как наименование, обозначение, характеристики и параметры, материал, данные о сварном соединении, а так же нормативно-техническую документацию на контроль, требования к качеству контроля. Учесть наличие мешающих факторов и устранения их влияние на результаты контроля.

3. Необходимо определить объем контроля, произвести расчет параметров контроля (метод контроля, схема контроля, зона контроля, зона зачистки и степень подготовки поверхности объекта контроля, частота преобразователя, угол ввода). При расчете необходимо руководствоваться нормативно-технической документацией на контроль.

4. На основании расчетов произвести выбор аппаратуры и параметров контроля. Описать процедуру настройки выбранных параметров.

5. Описать последовательность действий при проведении контроля, контроль околошовной зоны и зоны сварного соединения, схемы перемещения преобразователя по поверхности контроля.

6. Подготовить протокол для фиксации основных характеристик выявленных дефектов, с учетом требования нормативно-технической документацией на контроль. При подготовке формы отчета по контролю необходимо руководствоваться нормативно-технической документацией, по которой проводился контроль.

Выбор основных параметров и средств контроля

1. Выбор угла ввода луча ПЭП должен удовлетворять при контроле прямым лучом прозвучивание как минимум нижней половины ($\frac{1}{4}$ части) сварного соединения при двусторонней сварке и как минимум нижней $\frac{1}{4}$ части шва при односторонней сварке. При контроле прямым и отраженным лучом должно обеспечиваться прозвучивание всего сечения сварного соединения. Если в НТД не указан тип ПЭП, следует руководствоваться табл. 3.

Таблица 3

Рекомендуемые параметры ПЭП

Номинальная толщина сваренных элементов, мм	Частота, МГц	Угол ввода, град, при контроле лучом	
		прямым	отраженным
от 2 до 8 вкл.	4,0-10	70-75	70-75
св. 8 до 12 вкл.	2,5-5,0	65-70	65-70
св. 12 до 20 вкл.	2,5-5,0	65-70	60-70
св. 20 до 40 вкл.	1,8-4,0	60-65	45-65
св. 40 до 70 вкл.	1,25-2,5	50-65	40-50
св. 70 до 125 вкл.	1,25-2,0	45-65	Контроль не проводится

2. Настройку чувствительности проводят с целью обеспечения надежного выявления минимально фиксируемого дефекта во всем диапазоне глубин. Если в НТД не указаны максимально допустимые значения характеристик несплошности, следует руководствоваться табл. 4.

**Максимально допустимые значения характеристик несплошностей,
выявляемых согласно РТМ-1с-93**

Номинальная толщина сварного соединения, мм	Эквивалентная площадь одиночных несплошностей, мм ²	Число фиксируемых одиночных несплошностей на любых 100 мм длины сварного соединения	Протяженность несплошностей	
			Суммарная в корне шва	Одиночных в сечении шва
от 2 до 3	0,6	6	20% внутреннего периметра сварного соединения	Условная протяженность компактной (точечной) несплошности
от 3 до 4	0,9	6		
от 4 до 5	1,2	7		
от 5 до 6	1,2	7		
от 6 до 9	1,8	7		
от 9 до 10	2,5	7		
от 10 до 12	2,5	8		
от 12 до 18	3,5	8		
от 18 до 26	5,0	8		
от 26 до 40	7,0	9		
от 40 до 60	10,0	10		
от 60 до 80	15,0	11		
от 80 до 120	20,0	11		

Для определения размера плоского контрольного отражателя типа «зарубка» необходимо воспользоваться графиком, приведенным в ГОСТ 14782-86 или других документах. Площадь зарубки определяется по формуле:

$$S_{зар} = \frac{S_{экр}}{N}, \text{ где}$$

- $S_{экр}$ – площадь плоскодонного отражателя;
- $S_{зар}$ – площадь зарубки;
- N – коэффициент, определяемый из графика на рис. 11.

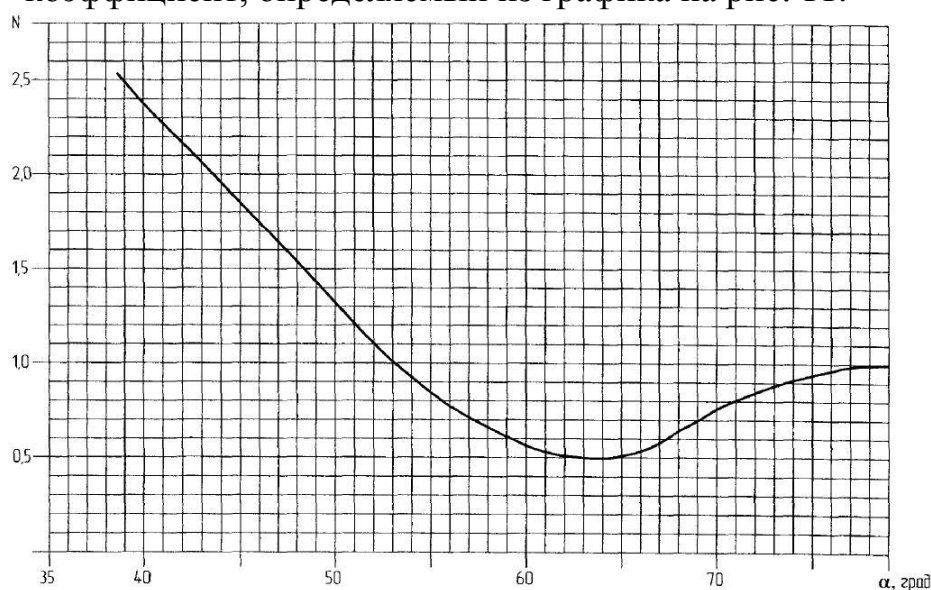


Рисунок 11 График зависимости коэффициента N в зависимости от угла ввода

Выбор схемы прозвучивания

1. Стыковые сварные соединения в зависимости от доступности контролируют наклонными ПЭП:

- прямым и однократно отраженным лучом с четырех сторон (рис. 12а);
- прямым и однократно отраженным лучом с двух сторон при недоступности для контроля одной поверхности (рис. 12б);
- прямым и однократно отраженным лучом с одной стороны, если остальные стороны недоступны для контроля (рис. 12в).

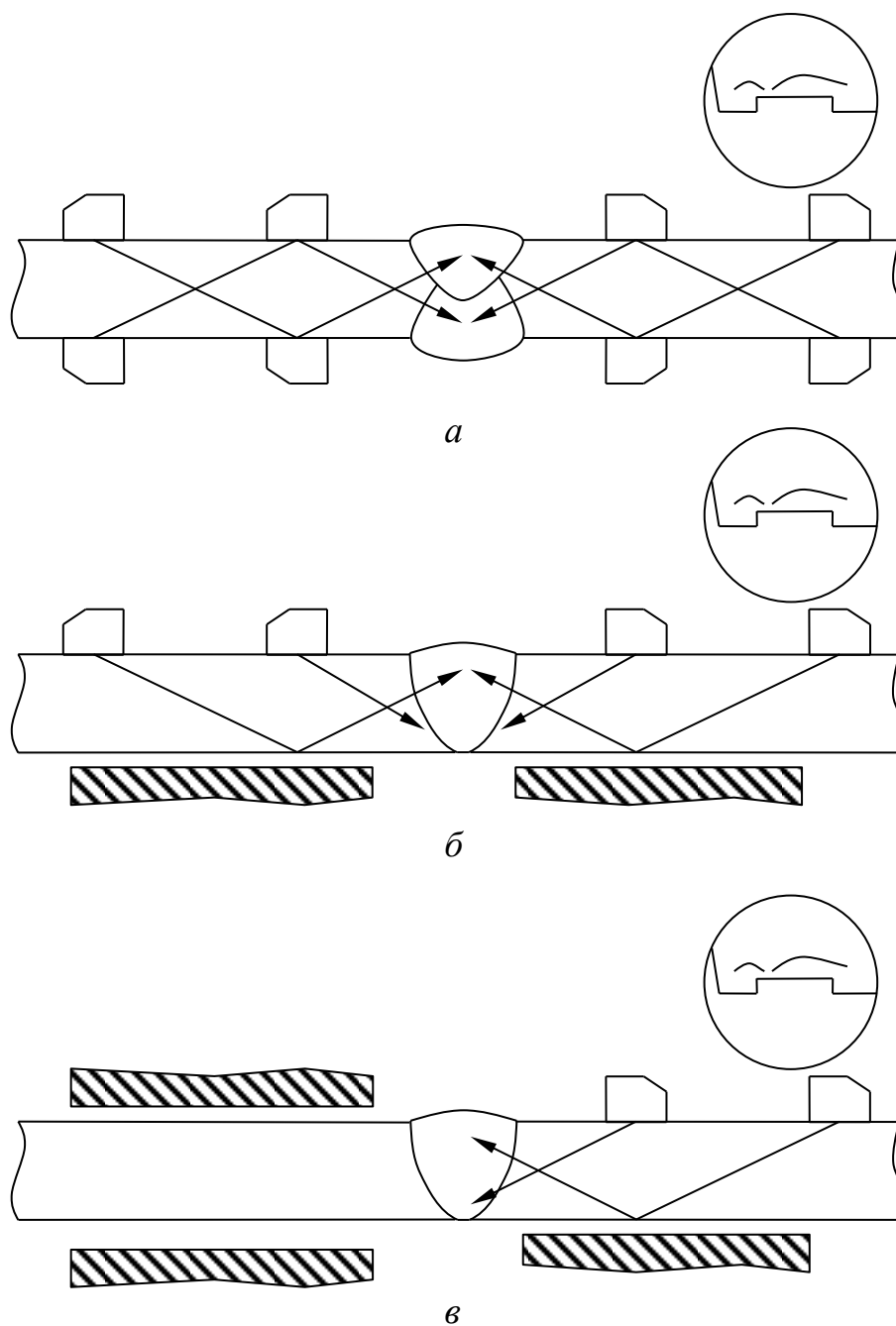


Рисунок 12 Схемы контроля стыковых сварных соединений

2. Контроль стыковых сварных соединений с разной толщиной свариваемых элементов проводят со стороны листа меньшей толщины (рис. 13).

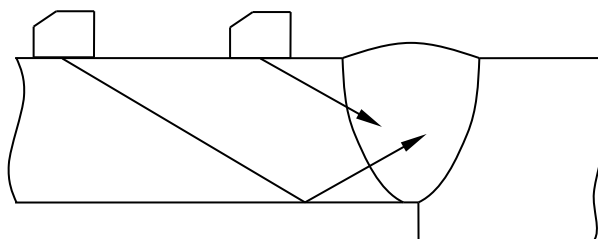


Рисунок 13 Схема контроля сварных соединений с разной толщиной свариваемых элементов

3. При контроле стыковых сварных соединений элементов, имеющих скосы от кромок, прозвучивание со стороны скоса не производят (рис. 14).

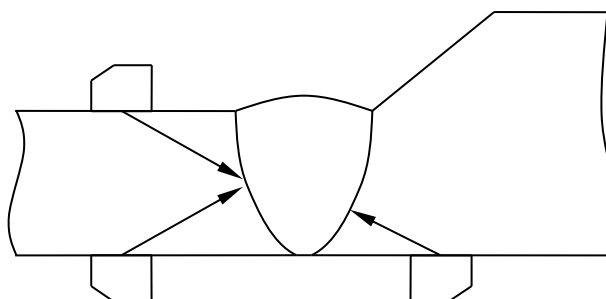


Рисунок 14 Схема контроля сварных соединений элементов, имеющих скосы кромок

4. В зависимости от доступности угловые и тавровые соединения контролируют по одной из следующих схем:

- прямым и однократно отраженным лучом наклонным совмещенным ПЭП со стороны привариваемого элемента, а так же прямым РС ПЭП со стороны основного элемента при двусторонней сварке и толщине основного элемента 10 мм и более (рис. 15а);

- прямым и однократно отраженным лучом наклонным совмещенным ПЭП с обеих сторон привариваемого элемента при отсутствии доступа со стороны основного элемента или при толщине основного элемента менее 10 мм (рис. 15б);

- прямым и однократно отраженным лучом наклонным совмещенным ПЭП с одной стороны привариваемого элемента при отсутствии доступа со стороны основного элемента и другой стороны привариваемого элемента (рис. 15в);

- прямым лучом наклонным совмещенным ПЭП и прямым РС ПЭП со стороны основного элемента при отсутствии доступа со стороны привариваемого элемента и при двусторонней сварке и толщине основного элемента не менее 10 мм (рис. 15г).

5. Угловые соединения, у которых оба соединенных элемента сварены торцовыми поверхностями, контролируют по схеме, представленной на рис. 15д.

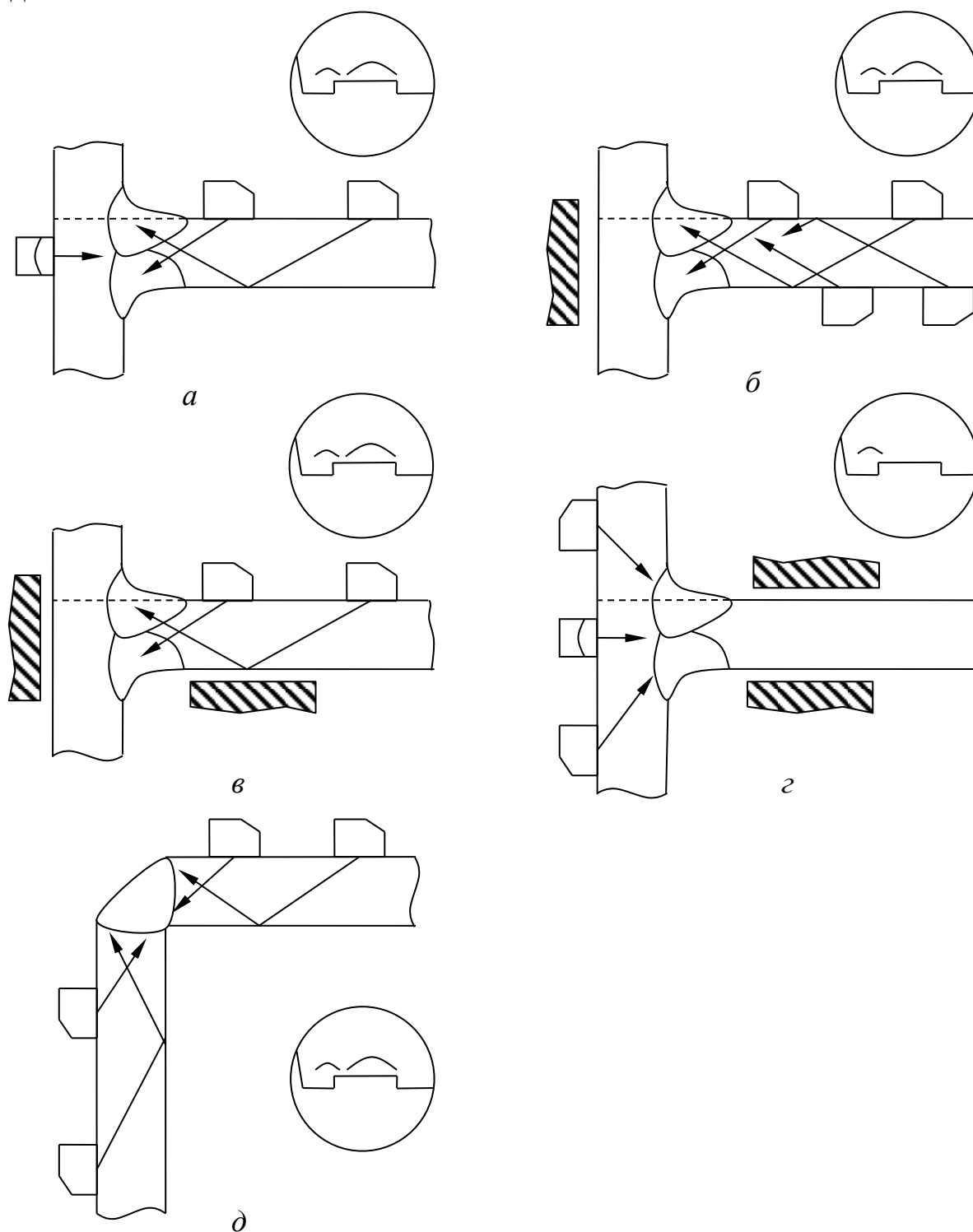


Рисунок 15 Схемы контроля тавровых и угловых сварных соединений

6. Контроль нахлесточных сварных соединений осуществляют наклонными совмещенными ПЭП со стороны нижнего и верхнего листа (рис. 16).

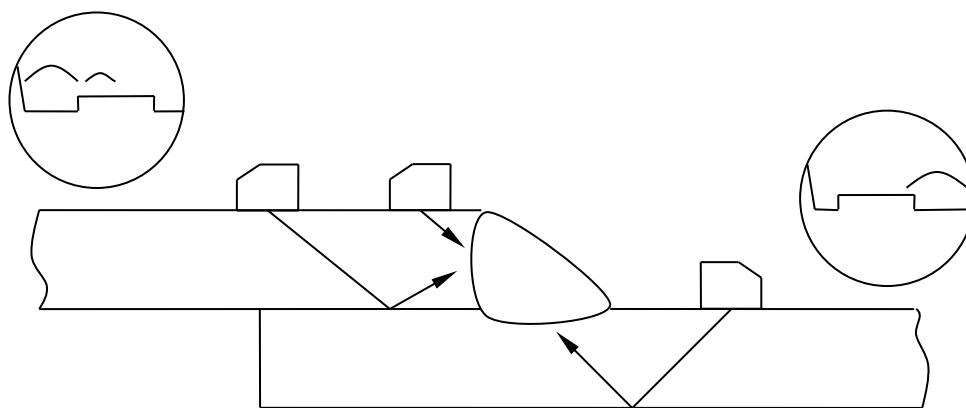


Рисунок 16 Схема контроля нахлесточных сварных соединений

Подготовка поверхности

1. Зоны перемещения ПЭП должны быть очищены (зачищены) от брызг металла, крупных неровностей, отслаивающейся окалины и краски, грязи по всей длине контролируемого участка.

2. При подготовке зоны перемещения ПЭП с помощью механической обработки шероховатость поверхности не должна быть грубее Rz 40 мкм (Ra 6,3 мкм) по ГОСТ 2789. Волнистость контролируемой поверхности не должна создавать зазор более 0,5 мм (0,015) между ПЭП и контролируемой поверхностью.

3. Для цилиндрических и сферических преобразователей контактная поверхность преобразователя должны быть «притерта» к поверхности в том случае, если не выполняется требование:

$$D \geq 15 \cdot a, \text{ где}$$

- D – диаметр детали, мм;
- a – размер основания контактной поверхности ПЭП в направлении контроля к поверхности, мм.

4. Зона перемещения преобразователя при ультразвуковом контроле сварных соединений выбирается из условия прозвучивания его прямым и однократно отраженным ультразвуковым лучом с обеих сторон сварного шва и зоны контроля. Зона перемещения рассчитывается по формуле:

$$X = 2 \cdot H \cdot \operatorname{tg} \alpha + B - n, \text{ где}$$

- X – зона перемещения ПЭП;
- H – номинальная толщина сварных элементов;
- α – угол ввода;
- B - ширина ОШЗ;
- n – стрела ПЭП

5. Зона контроля включает в себя сварной шов и околошовную зону (ОШЗ). Рекомендуемые параметры, если не оговорено иное: ОШЗ в сварных соединениях до 20 мм равна номинальной толщине (но не менее 10 мм), в сварных соединениях более 20 мм – 20 мм.

6. Ширина подготовленной под контроль зоны должна быть не менее (рис. 17):

$$L \geq 2 \cdot H \cdot \operatorname{tg} \alpha + A + B, \text{ где}$$

- L – зона зачистки;
- H – номинальная толщина сварных элементов;
- α – угол ввода;
- A – длина контактной поверхности ПЭП;
- B – ширина ОШЗ.

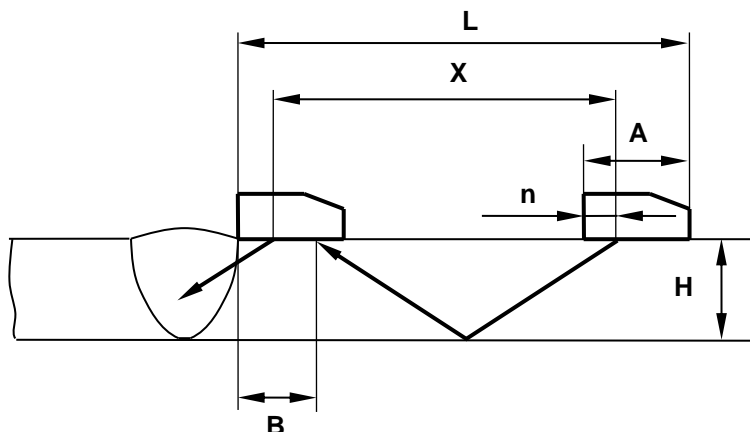


Рисунок 17 Зона зачистки и зона перемещения

Проверка работоспособности средств контроля

1. Проверку работоспособности дефектоскопа и ПЭП перед проведением контроля объектов осуществляют с помощью стандартных образцов.

2. Проверку мертвой зоны (рис. 18) наклонного ПЭП осуществляют по боковому отверстию диаметром 2 мм на расстоянии 3 мм от поверхности в СО-2. Мертвой зоной считают минимальное расстояние от поверхности ввода до бокового отверстия если эхо-сигнал от него разделяется с зондирующим импульсом на уровне не менее 6 дБ.

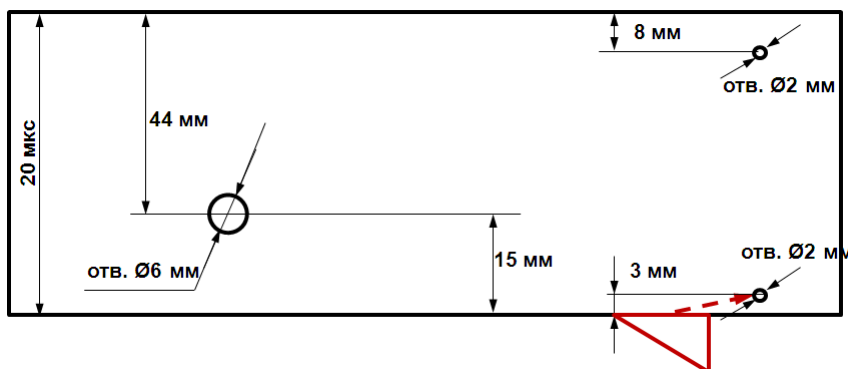


Рисунок 18 Проверка мертвой зоны наклонного ПЭП по стандартному образцу СО-2

3. По СО-3 (рис. 19) проверяют положение точки выхода ПЭП, измеряют стрелу, определяют время распространения УЗ колебаний в призме наклонного ПЭП (время задержки). Устанавливают ПЭП в положение, соответствующее максимальной амплитуде эхо-сигнала от вогнутой цилиндрической поверхности в СО-3. Радиус образца - 55 мм, скорость распространения поперечной волны 3260 м/с, время распространения УЗ колебаний в СО-3 равно 33,7 мкс. Определяют время задержки $t_{зад}$ либо меняя соответствующий параметр в настройках прибора до тех пор, пока прибор не будет показывать расстояние по лучу, равное 55 мм, либо вычисляя по формуле:

$$t_{зад} = t - 33,7, \text{ где}$$

- t – суммарное время между зондирующим импульсом и эхо-сигналом от вогнутой поверхности СО-3.

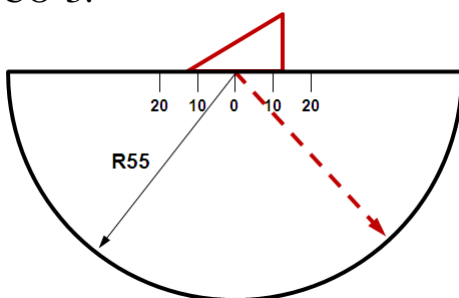


Рисунок 19 Определение положение точки выхода, измерение стрелы, определение времени задержки в наклонном ПЭП по стандартному образцу СО-3

4. По СО-2 определяют угол ввода. Углы ввода, значения которых меньше или равны 65° , следует измерять по боковому отверстию диаметром 6 мм на глубине 44 мм (рис. 20); углы ввода, большие 65° , следует измерять по тому же отверстию диаметром 6 мм, но с плоскости, отстоящей от центра отверстия на расстоянии 15 мм (рис. 21).

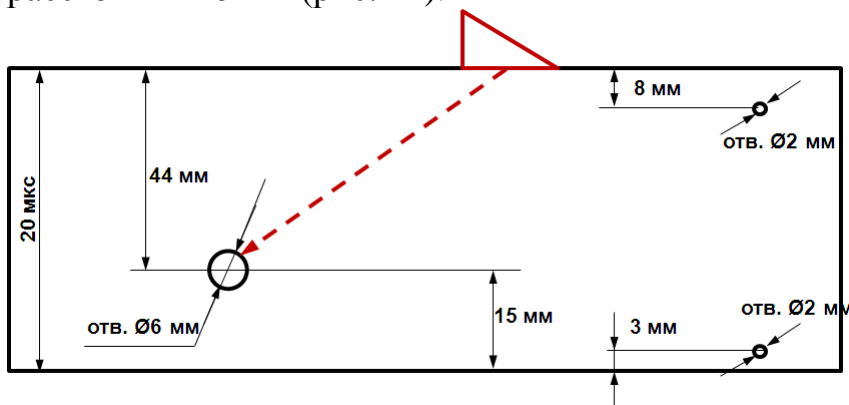


Рисунок 20 Проверка угла ввода ($\leq 65^\circ$) наклонного ПЭП по стандартному образцу СО-2

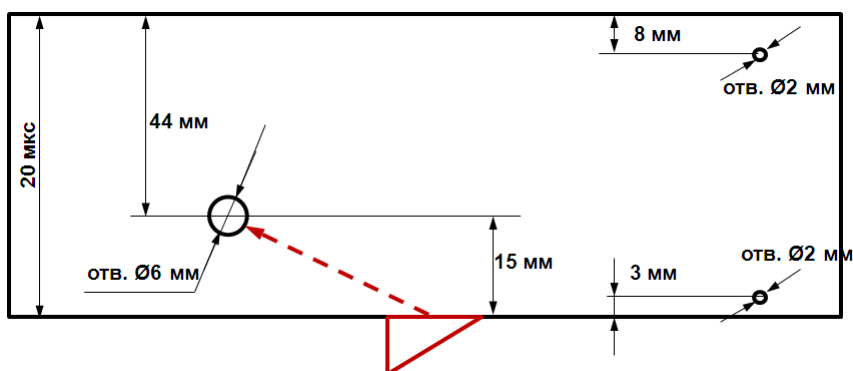


Рисунок 21 Проверка угла ввода ($>65^\circ$) наклонного ПЭП по стандартному образцу СО-2

Последовательность контроля

При ультразвуковом контроле выполняют следующие операции:

- сканирование;
- измерение характеристик несплошностей;
- оценка и оформление результатов контроля.

Сканирование

1. Сканирование выполняют по всей длине шва путем последовательного перемещения ПЭП по поверхности сваренных элементов. ПЭП перемещают параллельно оси шва с одновременным возвратно-поступательным перемещением перпендикулярно оси (рис. 22). Величина продольного шага сканирования не должна превышать половины диаметра пьезоэлемента ПЭП. При сканировании на плоских поверхностях ПЭП необходимо придавать непрерывное вращательное движение на угол $\pm 15^\circ$.

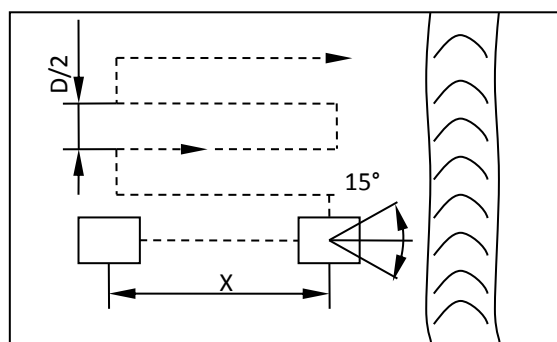


Рисунок 22 Сканирование

2. При обнаружении несплошности, эхо-сигнал от которой превышает контрольный уровень (фиксации), необходимо зафиксировать:

- амплитуду эхо-сигнала от несплошности (превышение браковочного уровня);
- координаты несплошности;
- условную протяженность (длину индикации).

Оценка результатов контроля

Классификация найденных несплошностей производится в соответствии с табл. 4.

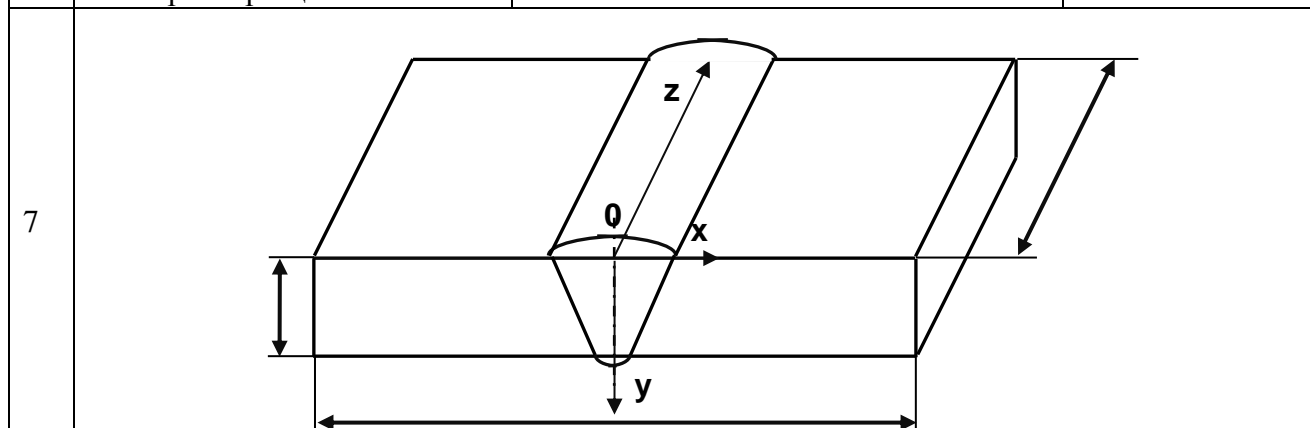
Требования к отчету по работе

1. Требования к контролю

1	Вид контроля	
2	Метод контроля	
3	Объект испытаний	
4	Методика контроля	
5	Требования к качеству	

2. Основные параметры образца

1	Идентификационный номер	
2	Материал	
3	Тип сварного соединения	
4	Вид сварки	
5	Шероховатость поверхности	
6	Размеры образца	



3. Средства контроля

№	Оборудование и материалы	Серийный номер	Дата поверки
1	Ультразвуковой дефектоскоп		
2	Пьезоэлектрический преобразователь		
3	Кабель LEMO-LEMO одинарный 1,2 м		
4	Набор образцов шероховатости		
5	СОП		
6	СО-2		
7	СО-3		
8	Линейка металлическая Л-300 (300 мм)		
9	Ветошь, масло		

4. Параметры контроля

1	Рабочая частота, МГц	
2	Угол ввода (α), °	
3	Стрела ПЭП (n), мм	
4	Размер пьезоэлемента, мм	
5	Предельная (браковочная) Плоскодонный отражатель, мм ²	

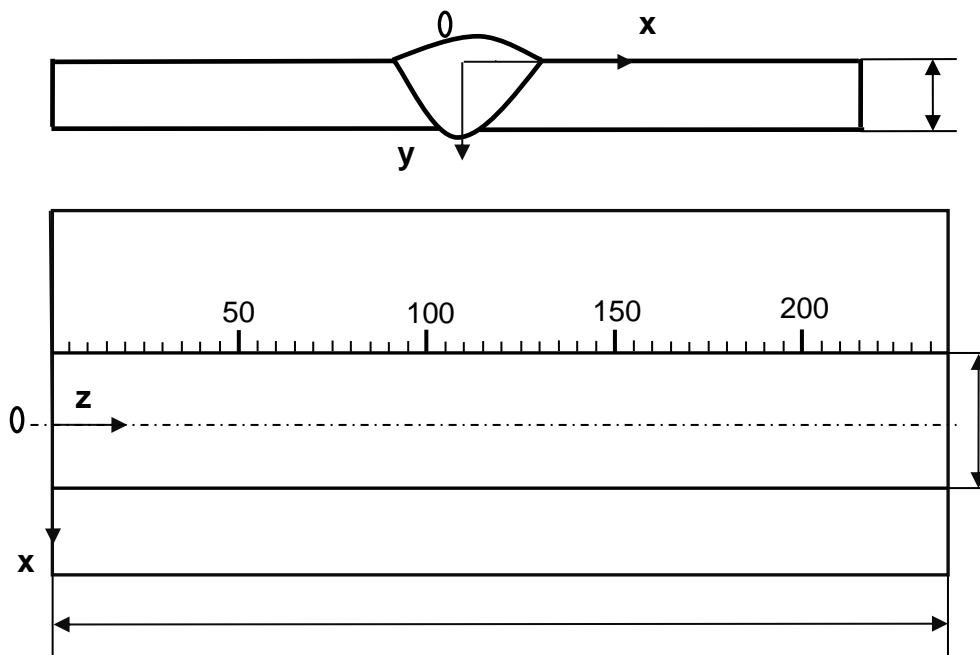
	чувствительность	Зарубка, мм x мм	
6	Околошовная зона, мм		
7	Длина ПЭП, мм		
8	Зона зачистки, мм		
9	Шаг сканирования, мм		

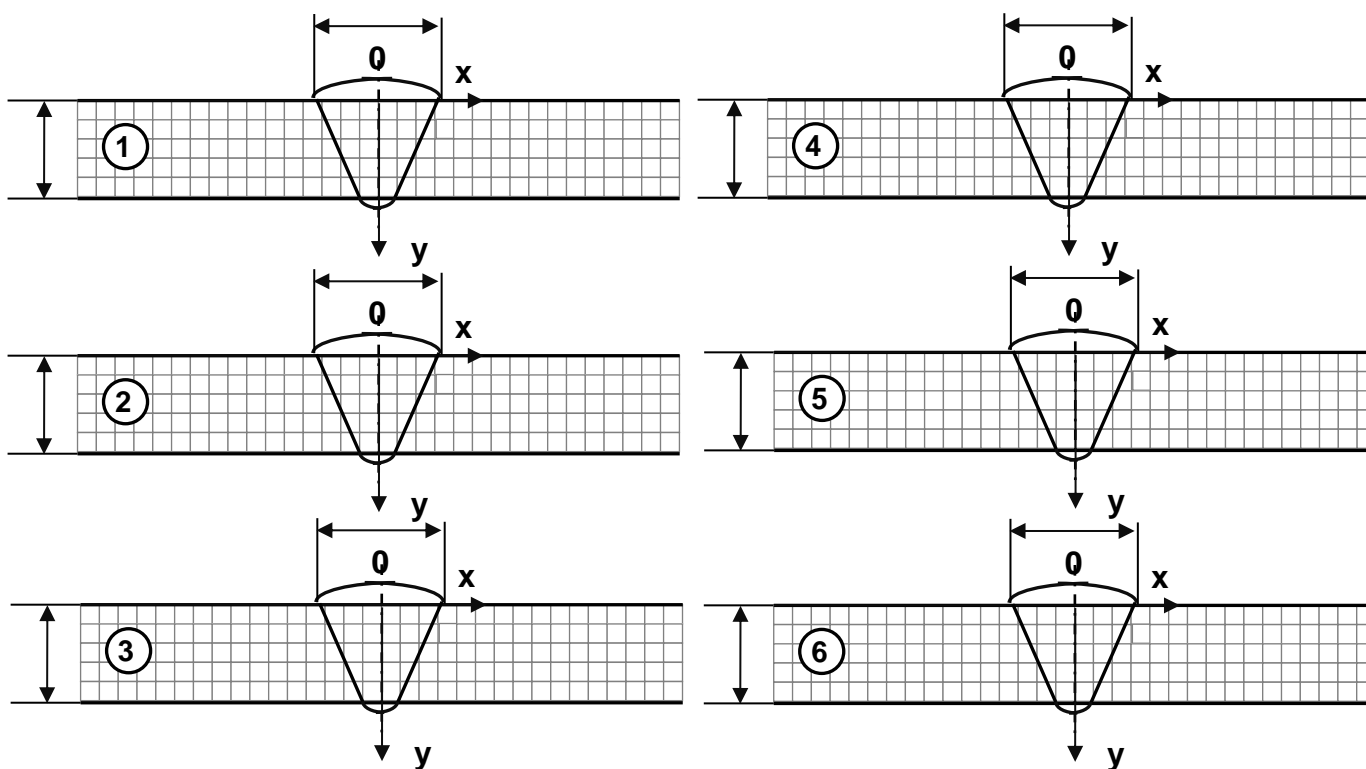
5. Критерии оценки качества

6. Протокол измерений

№	Амплитуда, дБ	Координаты, мм			Условная протяженность, мм	Соответствие НТД
		x	y	z		

7. Дефектограмма





Контрольные вопросы

- 1) Основные технологические операции при проведении ультразвукового неразрушающего контроля.
- 2) Расчет зоны зачистки и перемещения преобразователя.
- 3) Измерение характеристик (амплитуда, координаты, условные размеры).

Лабораторная работа № 3

«Изучение принципов работы дефектоскопов с фазированными антенными решетками. Обнаружение дефектов в образцах сварных соединений с применением системы контроля Harfang X-32»

Цель работы

Овладение навыками работы ультразвуковым дефектоскопом Harfang X-32, применяющим фазированные антенные решетки (ФАР). Определение разрешающей способности. Исследование влияния типа дефекта на получаемое на экране дефектоскопа изображение S-скана при секторном сканировании.

Научиться контролировать объекты с помощью ультразвукового дефектоскопа с ФАР. Освоить методику выявления дефектов в сварных соединениях с помощью прибора Harfang X-32. Проведение контроля сварных соединений разного типа, поиск несплошностей и интерпретация S-скана.

Домашнее задание

Ознакомится с инструкцией по эксплуатации дефектоскопа, работающего с ФАР.

Объект контроля – металлический образец, скорость продольной волны можно принять равной 6000 м/с, поперечной – 3000 м/с.

Фазированная решетка установлена на призме с углом 35° , материал оргстекло, скорость продольной волны в материале призмы принять 2600 м/с.

Фазированная решетка обеспечивает ввод продольной волны в призму в диапазоне: от -18° до $+18^\circ$.

Рассчитать угловой диапазон сканирования луча поперечной волны в стальном контролируемом объекте контроля.

Предмет исследования

В данной работе исследуются возможности дефектоскопа с ФАР, его разрешающая способность, а также некоторые признаки, необходимые для идентификации типа дефектов сварных соединений.

В качестве объектов контроля рассматриваются:

- калибровочный образец Harfang (рис. 23);
- образцы стыковых сварных соединений с типовыми дефектами (пора, пористость, несплавление);
- плоские и цилиндрические образцы сварных соединений стыковых и угловых сварных швов.

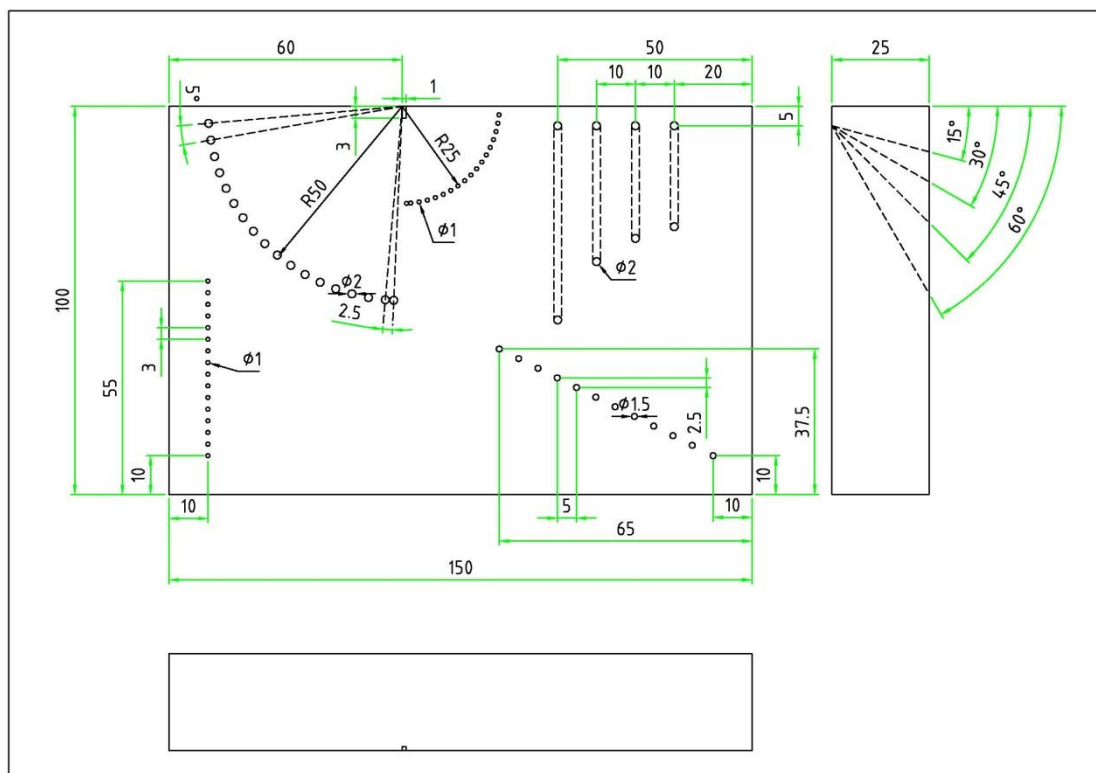


Рисунок 23 Калибровочный образец Harfang

В данной работе исследуется также методика проведения ультразвукового контроля плоских и цилиндрических образцов стыковых и угловых сварных швов. В качестве преобразователя используется фазированная антенная решетка. Объектами контроля, например, могут быть соединения магистральных и технологических трубопроводов. Подобный контроль применяется для локализации местоположения дефектов с последующим проведением ультразвукового контроля классическими ультразвуковыми преобразователями с одним углом ввода, для которых существуют нормы браковки, для принятия решения о дефектности изделия. Преимущество контроля с ФАР в большей производительности за счет возможности секторного сканирования.

Описание лабораторной установки

Исследовательская установка для проведения контроля состоит из ультразвукового дефектоскопа Harfang X-32 (рис. 24), фазированной антенной решетке T1-PE-5.0M32, призмы T1-35WOD (угол наклона 35°).



Рисунок 24 Ультразвуковой дефектоскоп Narfang X-32

ФАР следует перемещать вдоль сварного соединения (рис. 25) в отличие от траектории перемещения при контроле преобразователем с одним углом ввода (рис. 26) со скоростью не более 100 мм/с.

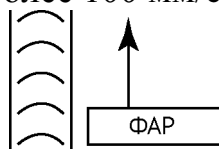


Рисунок 25 Схема сканирования при контроле ФАР

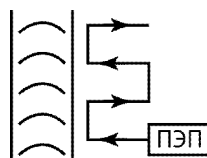


Рисунок 26 Схема сканирования при контроле ПЭП

Теоретические положения

В данной лабораторной работе дефектоскоп Narfang X-32 работает в режиме секторного сканирования контролируемого объекта (рис. 27).

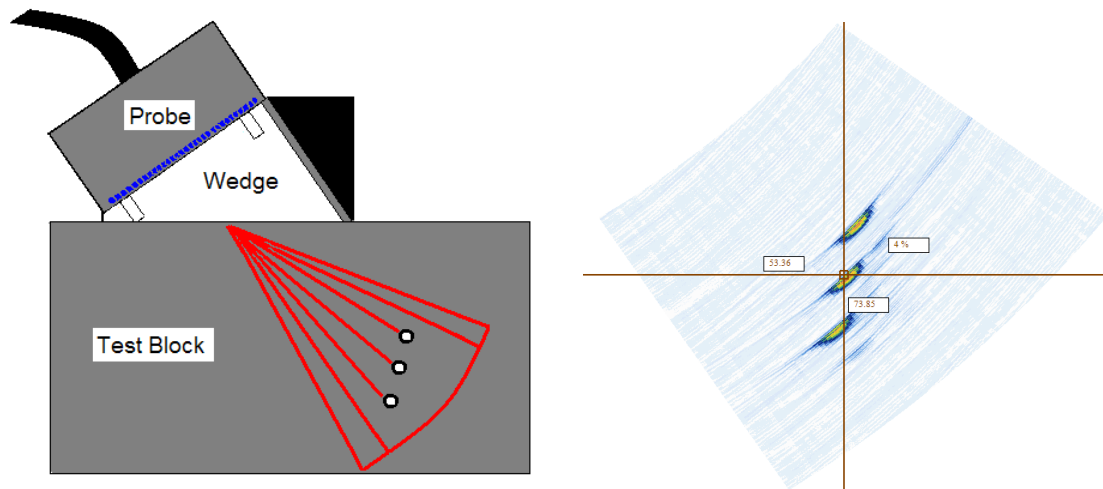
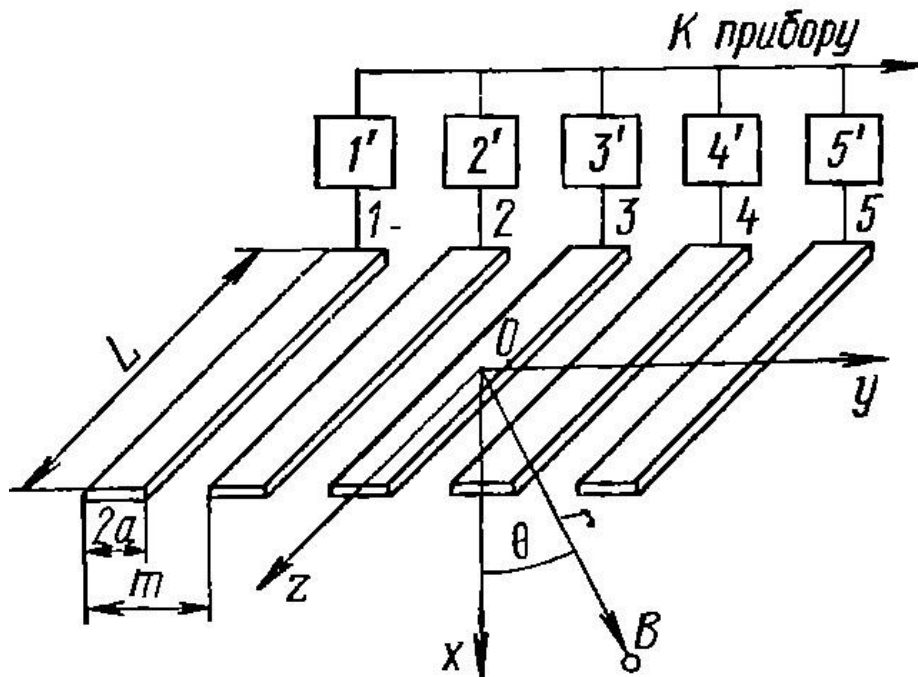


Рисунок 27 Секторное сканирование (S-скан)

В качестве электроакустического преобразователя используется линейная фазированная решетка, схематически показанная на рис. 28.



Фазированная решетка:

1 ... 5 — элементы решетки, *1' ... 5'* — задержки между элементами и входом-выходом дефектоскопа

Рисунок 28 Линейная фазированная антенная решетка

ФАР состоит из N линейных пьезоэлектрических преобразователей, эквидистантно расположенных с шагом m . Для управления направлением ультразвукового луча, а также возможности фокусировки последнего, импульсный сигнал возбуждения и приема каждого элемента ФАР подается и принимается с определенной временной задержкой, обеспечивающий необходимый режим сканирования.

Для направления луча под углом θ необходимо изменять временную задержку по линейному закону с номером излучателя, т.е. время задержки для k -го излучателя должно быть $T_k = k \cdot T$, где $T = m \cdot \frac{\sin \theta}{c}$, где c — скорость звука в среде.

Таким образом, при периодическом изменении угла θ в заданном диапазоне обеспечивается секторное сканирование контролируемого объекта.

Лучевая разрешающая способность в эхометоде определяется длительностью излучаемого импульса, поэтому для ее улучшения необходимо использовать как можно более короткие УЗ импульсы. Фронтальная

разрешающая способность определяется шириной УЗ луча в контролируемой области объекта контроля.

Для улучшения фронтального разрешения используется фокусировка УЗ луча. Фокусировка обеспечивается таким законом изменения временных задержек элементов ФАР, при котором УЗ импульсы от всех элементов ФАР приходят одновременно в заданную точку контролируемого объекта.

Фокусировка в ультразвуковом дефектоскопе Х-32 реализована в трех вариантах: постоянный путь (рис. 29), постоянное смещение (рис. 30) и постоянная глубина (рис. 31).

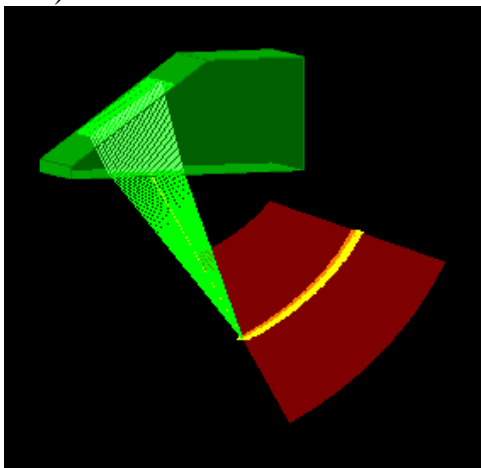


Рисунок 29 Фокусировка «постоянный путь»

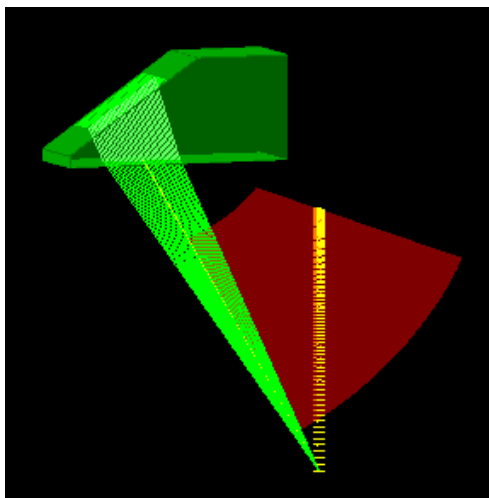


Рисунок 30 Фокусировка «постоянное смещение»

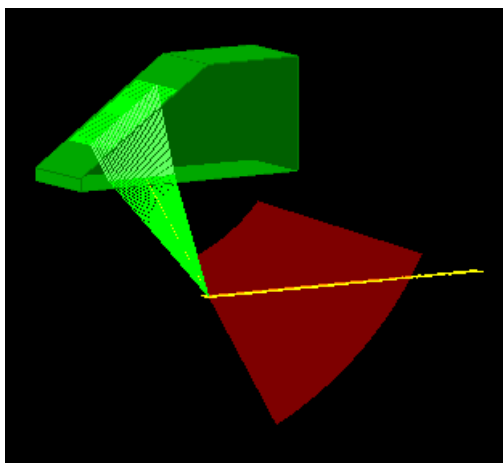


Рисунок 31 Фокусировка «постоянная глубина»

В настоящей лабораторной работе используется преобразователь в виде ФАР, установленной на призму. Подобный преобразователь обеспечивает секторное сканирование поперечной волной контролируемого изделия из стали в угловом секторе $20^{\circ} - 70^{\circ}$. При этом ФАР излучает в призму продольную волну в диапазоне углов от -18° до $+18^{\circ}$. Отметим, что в этом диапазоне углов ФАР работает наиболее эффективно.

Рабочее задание

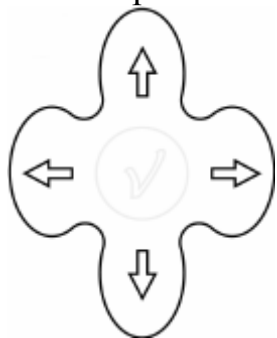
1. Подключить к дефектоскопу фазированную антенную решетку частотой T1-PE-5.0M32 с призмой T1-35WOD.
2. После включения прибора выбрать соответствующую настройку из памяти прибора.



3. Нажав **INFO BAR**, установить:

- тип сканирования секторный
- тип волны поперечный
- фокусировка скана пост путь
- фокусное расстояние 55 мм
- усиление 30 дБ
- уголНач. 35°
- уголОст. 70°
- начало пути 3 мм
- конец пути 55 мм

Для выбора и изменения параметров следует нажимать курсорные



стрелки

. Для подтверждения – кнопку **OK**



. В процессе

контроля для оперативного доступа к функции усиления и его изменению –



кнопка **GAIN**

4. Для проверки разрешающей способности взять образец Harfang (рис. 23) и, установив на поверхность образца ФАР, получить изображение (S-скан) цилиндрических отражателей диаметрами 1 и 2 мм, расположенных по радиусу 25 и 50 мм.

5. Записать в память прибора полученные результаты



(последовательно нажав кнопки **RECORD**

RECORD

и **SAVE**



SAVE

) для

дальнейшего переноса на персональный компьютер.

6. Нажав **INFO BAR**



, изменить:

- фокусировка скана
- пост смещение

7. Для проверки разрешающей способности взять образец Harfang (рис. 23) и, установив на поверхность образца ФАР, получить изображение цилиндрических отражателей диаметра 1 мм, расположенных на глубине от 10 до 55 мм.

8. Записать S-скан.

9. Для образцов DM6, DM7 и DM 8 получить изображение дефектов типа «пористость», «включение» и «несплавление».

10. Сделать выводы по S-скану о типе дефекта, получаемом при обнаружении.

11. Получить несколько образцов с типовыми дефектами. Провести сканирование. Получить акустические изображения различных типов дефектов, сравнить с приведенными в Приложении.

12. Получить образец с дефектами. Произвести сканирование образца с дефектами. Выявить на исследуемом образце все дефекты. Используя данные, полученные в п. 11, предположить тип обнаруженных дефектов.

13. Отметить положение дефектов, занести результаты в протокол, записать в память прибора для дальнейшего переноса на компьютер.

14. На основании полученных данных написать заключение по результатам контроля.

Методические рекомендации

1. ФАР подключается к ультразвуковому дефектоскопу через разъем по схеме «Один ПЭП, один разъем». Элементы с 1 по 32 присоединяются к каналам с 1 по 32.

2. Для включения прибора используется кнопка **POWER**



. Нажмите и удерживайте в течение трех секунд. Пока будет происходить запуск дефектоскопа, на экране будет отображаться логотип компании-производителя, через некоторое время появится информация об обнаруженных устройствах и других параметрах системы. После окончания процедуры начальной загрузки появляется меню (рис. 32).



Рисунок 32 Меню ультразвукового дефектоскопа Harfang X-32

3. Выбрав режим Operation, переходим в программу PhaseFX (рис. 33), где проверяем предустановленные значения параметров (рис. 34).



Рисунок 33 Выбор программы PhaseFX

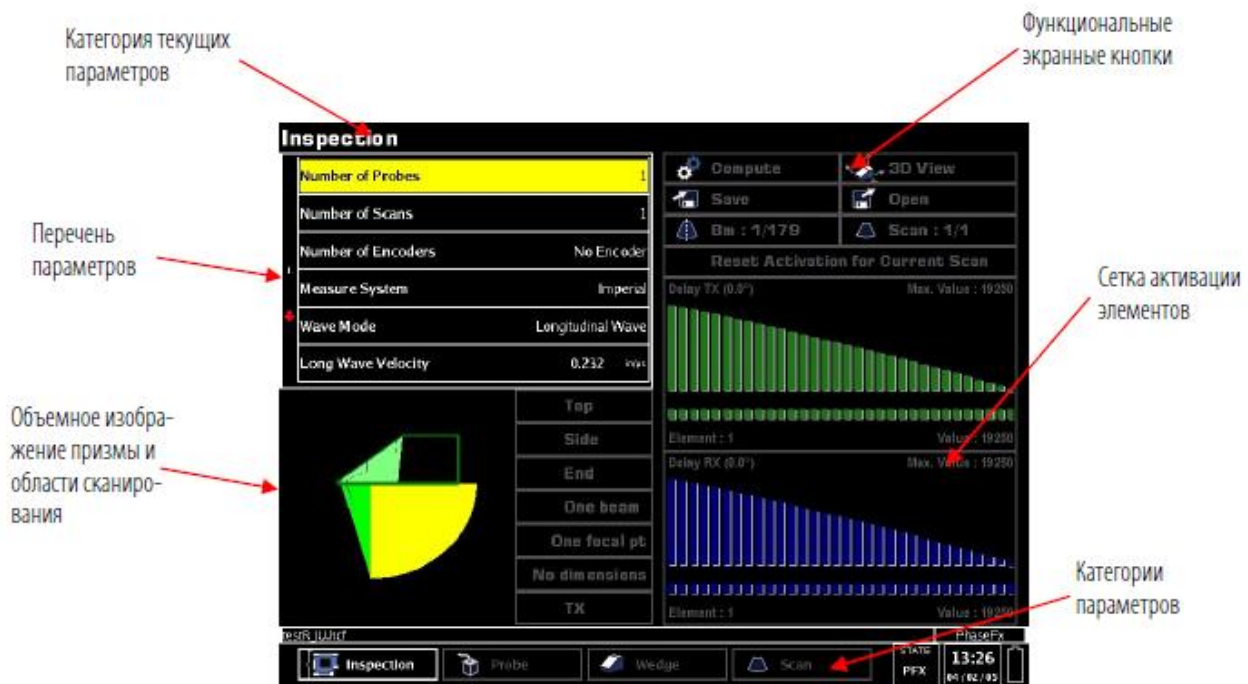





Рисунок 34 Общий вид экранного окна PhaseFX

Курсорные кнопки (со стрелками вверх/вниз) служат для перемещения по перечню параметров в выбранной в настоящее время категории. Курсорные кнопки (со стрелками влево/вправо) служат для перемещения между различными категориями, индицируемыми в меню нижней части экранного окна. К главному меню прикладных программ всегда можно вернуться, нажав

кнопку INFO BAR  . При просмотре для изменения параметра

следует нажать кнопку OK  . С помощью курсорных кнопок (со стрелками вверх/вниз) можно увеличить или уменьшить параметр. Если в процессе изменения параметра нужно вернуться к прежнему его значению,

следует нажать кнопку CANCEL  .

Контрольные вопросы

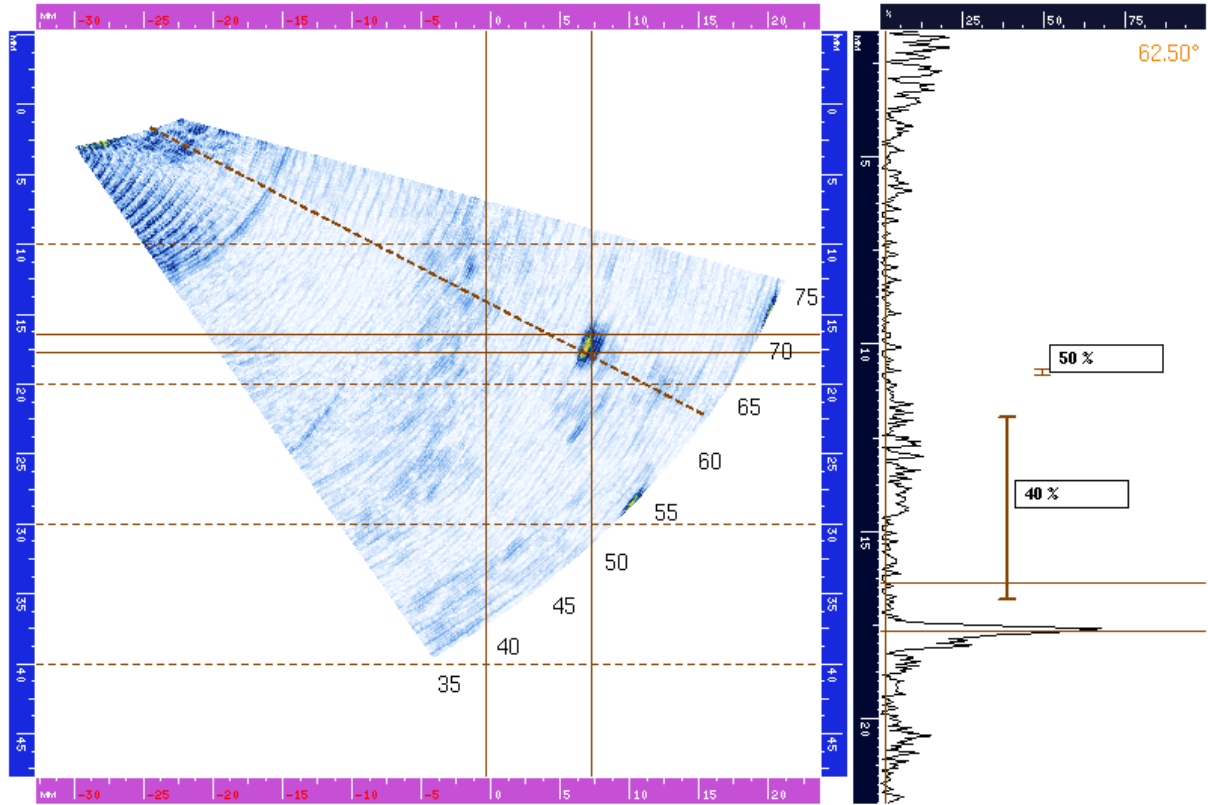
1. В чем отличие представления результатов при работе с преобразователем с одним углом ввода и антенной решеткой?
2. Какие виды фокусировки применены в X-32? В чем их отличие?
3. Какие типы антенных решеток известны в ультразвуковом контроле?
4. Что такое «секторное сканирование»?

Приложение



Software : 2.38R

Компоненты/SN	Имя файла	Оператор/Процедуры	Дата/Время
N/A	dm.hcf	N/A	2010-09-17
N/A		N/A	5:49:15 am



Скан	Курсор	Значение1	Значение2	Значение3	Значение4
S-Скан1	#1	PL : 32.89 мм	Y : 17.68 мм	X : -0.40 мм	57.50°
S-Скан1	#2	PL : 37.93 мм	Y : 16.38 мм	X : 7.19 мм	64.25°
S-Скан1	Задержк...	ДП : 5.04 мм	D : 1.29 мм	X : 7.60 мм	Пересечение:7...
A-Скан1	#1	62.50°	PL : 38.28 мм	A : 1.6%	Y : 17.68 мм
A-Скан1	#2	62.50°	PL : 35.48 мм	A : 1.6%	Y : 16.38 мм
A-Скан1	#3	А строб : 50.2%			
A-Скан1	#4	А строб : 39.6%	A пик : 76.1%	расст. до пик : ...	D пик : 15.08 мм

Контроль	Инфо
Данные	50 МГц, 2700 Гц
Напряжение	50 В
Преобр 1 (Частота, Модель)	5.00 МГц, T1-PE-5.0M3...
Призна 1 (Тип волны, Моде...)	SW, T1-35W0D
Толщина	10.00 мм

Скан1	Значение
Обработка Сигналов	2:12 МГц, Лучшее, 1:2
Скорость	3.200 мм/кс
Скан/Оп. Усил.	30.5 дБ, 0 дБ
Фокусное расстояние	45.0 мм, Пост путь
Нач.Кон. Путь	3.58 мм, 48.27 мм
Нач.Кон. Угол	35.00°, 75.00°

Легенда:

Abrev	Описание
ДП	Длина Пути
D	Глубина
X	Рас по поверх
A	Амплитуда

*[Фильтр, Сглаживание, Дискрета]

Инфо. Кодир.	
Название кодировщиков	N/A
Ось 1, Поз.	N/A
Разрешение кодировщика 1	N/A
Ось 2, Поз.	N/A
Разрешение кодировщика 2	N/A

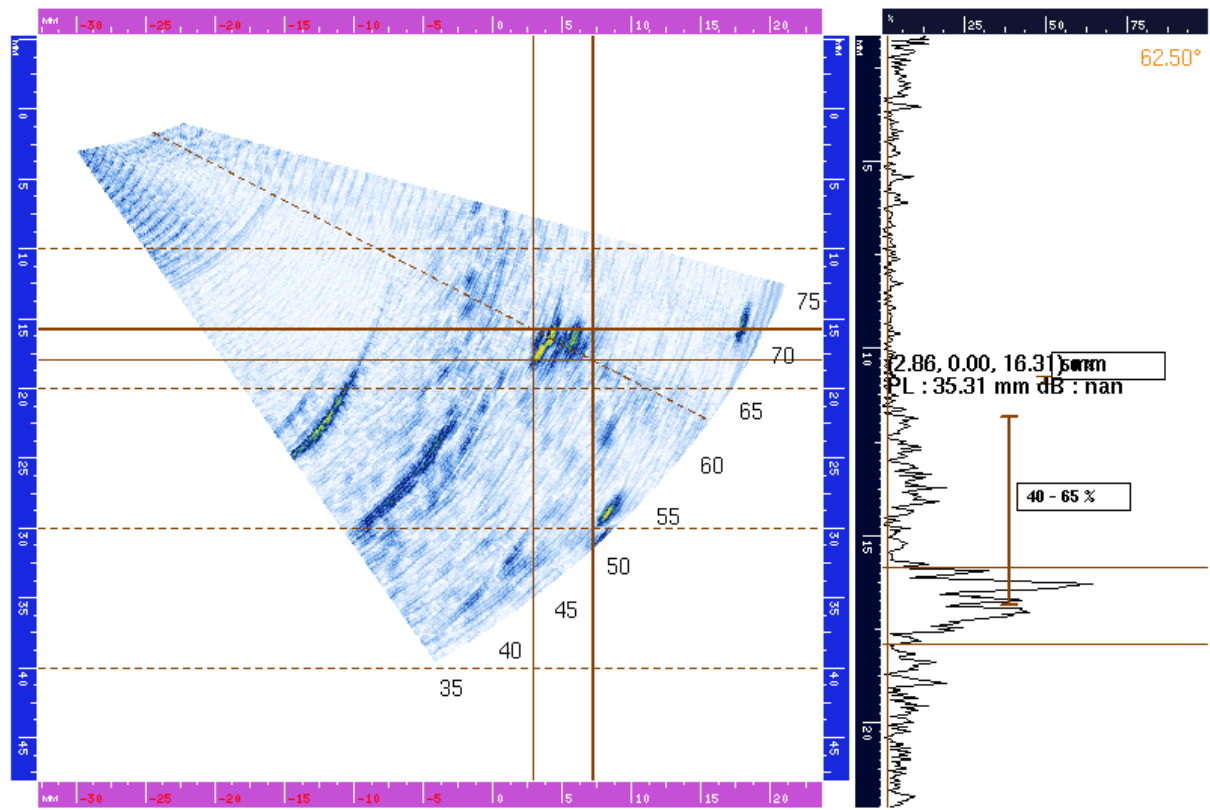
dm_7_slag.png

Page 1

Рисунок 35 S-скан дефекта типа «включение»

Software : 2.38R

Компоненты/SN	Имя файла	Оператор/Процедуры	Дата/Время
N/A	dm.hcf	N/A	2010-09-17
N/A		N/A	5:54:47 am



Скан	Курсор	Значение1	Значение2	Значение3	Значение4	Контроль	Инфо
S-Скан1	#1	PL : 35.50 мм	Y : 17.89 мм	X : 2.86 мм	59.75°	Данные	50 МГц, 2700 Гц
S-Скан1	#2	PL : 37.55 мм	Y : 15.74 мм	X : 7.19 мм	65.00°	Напряжение	50 В
S-Скан1	Задержк...	ДП : 2.04 мм	D : 2.16 мм	X : 4.34 мм	Пересечение:4...	Преобр 1 (Частота, Модель)	5.00 МГц, T1-PE-5.0M3...
A-Скан1	#1	62.50°	PL : 38.75 мм	A : 1.6%	Y : 17.89 мм	Призна 1 (Тип волны, Моде...	SW, T1-35W0D
A-Скан1	#2	62.50°	PL : 34.37 мм	A : 1.6%	Y : 15.74 мм	Толщина	10.00 мм
A-Скан1	#3	Астроб : 50.2%					
A-Скан1	#4	Астроб : 39.6%	A пик : 65.1%	расст. до пик : ...	D пик : 16.17 мм		

Легенда:

Abrev	Описание
S1	ДП
A1	Длина Пути
	D
	Глубина
	X
	Рас по поверх
	A
	Амплитуда

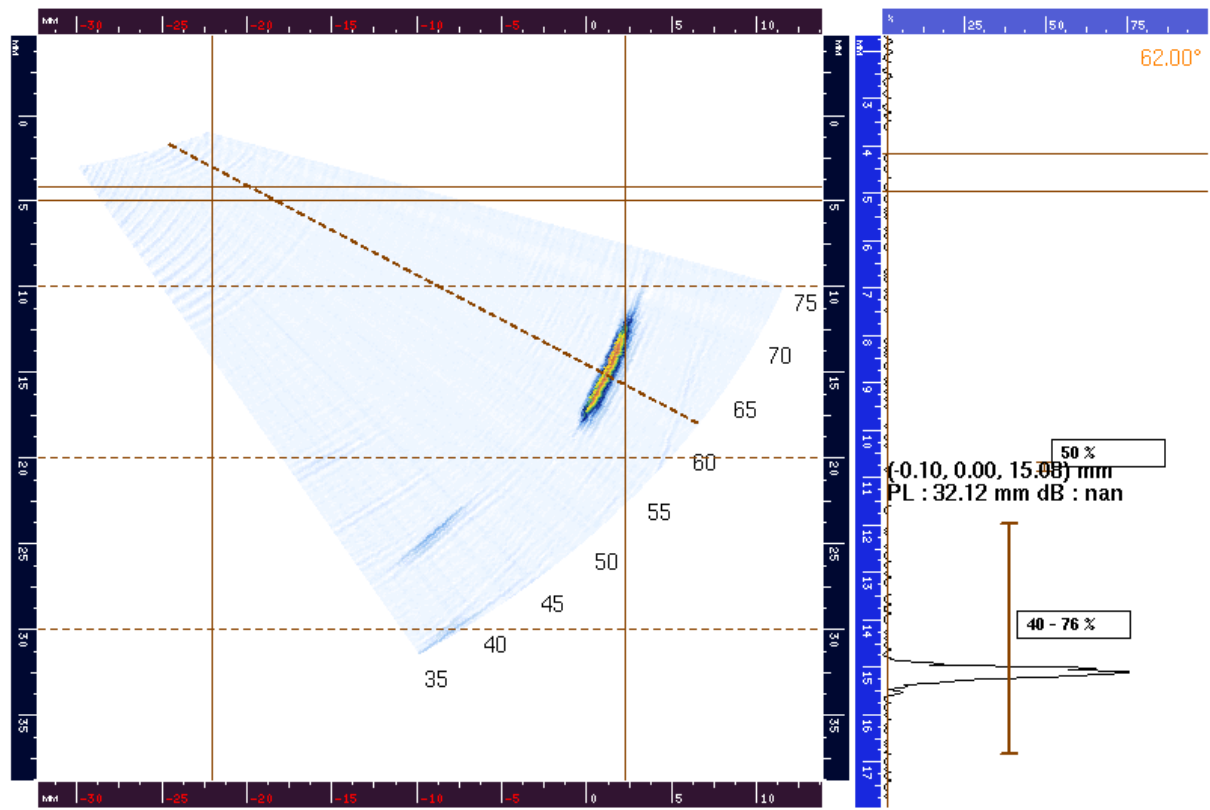
*[Фильтр, Сглаживание, Дискрета]

Инфо. Кодир.	
Название кодировщиков	N/A
Ось 1, Поз.	N/A
Разрешение кодировщика 1	N/A
Ось 2, Поз.	N/A
Разрешение кодировщика 2	N/A

Скан1	Значение
Обработка Сигналов	2-12 МГц, Лучшее, 1:2
Скорость	3.200 мм/ккс
Скан/Оп. Усил.	28.5 дБ, 0 дБ
Фокусное расстояние	45.0 мм, Пост путь
Нач. Кон. Путь	3.58 мм, 48.27 мм
Нач. Кон. Угол	35.00°, 75.00°

Рисунок 36 S-скан дефекта типа «пористость»

Компоненты/SN	Имя файла	Оператор/Процедуры	Дата/Время
N/A	dm.hcf	N/A	2010-09-17
N/A		N/A	5:40:51 am



Скан	Курсор	Значение1	Значение2	Значение3	Значение4	Контроль	Инфо
S-Скан1	#1	PL : 9.26 мм	Y : 4.12 мм	X : -22.08 мм	51.75°	Данные	50 МГц, 2700 Гц
S-Скан1	#2	PL : 3.61 мм	Y : 4.91 мм	X : 2.22 мм	34.75°	Напряжение	50 В
S-Скан1	Задержк...	ДП : 6.75 мм	D : 0.79 мм	X : 24.30 мм	Пересечение:2...	Преобр 1 (Частота, Модель)	5.00 МГц, T1-PE-5.0M3...
A-Скан1	#1	62.00°	PL : 8.88 мм	A : 1.6%	Y : 4.17 мм	Призна 1 (Тип волны, Моде...	SW, T1-35W0D
A-Скан1	#2	62.00°	PL : 10.60 мм	A : 1.6%	Y : 4.98 мм	Толщина	10.00 мм
A-Скан1	#3	Астроб : 60.2%				Скан1	Значение
A-Скан1	#4	Астроб : 39.6%	А пик : 76.1%	расст. до пик : ...	D пик : 15.08 мм	Обработка Сигналов	2-12 МГц, Лучшее, 1:2

Легенда:

Abrev	Описание
S1	ДП
A1	Длина Пути
	D
	Глубина
	X
	Рас по поверх
	A
	Амплитуда

*[Фильтр, Сглаживание, Дискрета]

Инфо. Кодир.	
Название кодировщиков	N/A
Ось 1, Поз.	N/A
Разрешение кодировщика 1	N/A
Ось 2, Поз.	N/A
Разрешение кодировщика 2	N/A

Скорость	3.200 мм/ккс
Скан/Оп. Усил.	6.0 дБ, 0 дБ
Фокусное расстояние	30.0 мм, Пост путь
Нач.Кон. Путь	3.58 мм, 38.31 мм
Нач.Кон. Угол	35.00°, 75.00°

Рисунок 37 S-скан дефекта типа «несплавление»

Лабораторная работа № 4

«Определение скоростей распространения поверхностной волны Рэлея и волн Лэмба»

Цель работы

Ознакомление с методикой измерения скорости поверхностной волны Рэлея. Изучение свойств волн Лэмба.

Овладение навыками работы с ультразвуковым импульсным дефектоскопом типа УД2-70.

Домашнее задание

Ознакомиться с руководством по эксплуатации ультразвукового дефектоскопа УД-2-70.

Рассчитать для стали угол падения ультразвуковых колебаний в оргстекле, при котором возникают поверхностные волны. Скорость продольной волны в призме 2670 м/с, продольной волны в стали 5900 м/с, поперечной волны в стали 3260 м/с.

По номограммам (рис. 38) рассчитать значение фазовых и групповых скоростей для стального образца (коэффициент Пуассона $\nu = 0,3$) толщиной $h=1,6; 2,4; 3$ и 4 мм, для частоты $f=2,5$ МГц. Вычислить углы падения, при которых возбуждаются эти моды. Результаты расчетов записать в табл. 5.

Таблица 5

	Значение параметра fh/C_2	Возбуждаемые моды	Фазовые скорости, $C_{ph}, \text{ м/с}$	Групповые скорости, $C_g, \text{ м/с}$	$\alpha, \text{ град}$
Расчет					
Эксперимент					

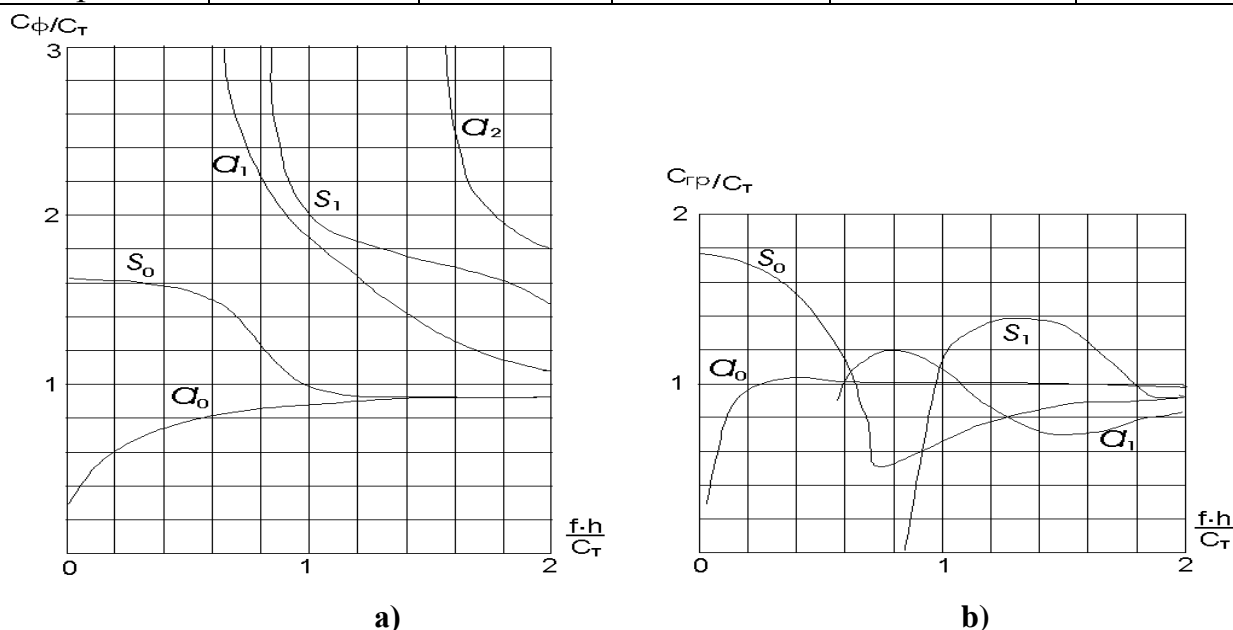


Рисунок 38 Номограмма для расчета фазовых (а) и групповых (б) скоростей волн Лэмба

Предмет исследования

В данной работе исследуется методика измерения скоростей поверхностной волны Рэлея и волн Лэмба.

Волны Рэлея нашли применение для контроля некоторых типов штамповок (лопаток турбин и компрессоров, камер сгорания турбин).

Применение волн Лэмба определяется особенностями их распространения - резкой зависимостью скорости и затухания от соотношения между длиной волны и толщиной пластинки. Волны Лэмба нашли применение при контроле состояния тонкостенных труб, представляющих собой свернутые в трубку пластинки, для которых характерны особенности распространения нормальных волн в плоских пластинках. Основное преимущество волн Лэмба при контроле состояния таких труб - большая чувствительность коэффициента затухания к изменению толщины, в результате чего возможен эффективный контроль разностенности. По этой же причине высока чувствительность к продольным дефектам - расслоениям, рискам, выявить которые другими методами трудно.

Описание лабораторной установки

Лабораторная установка для проведения контроля состоит из ультразвукового дефектоскопа УД2-70 (рис. 39а), пьезоэлектрического преобразователя с переменным углом ввода частотой 2,5 МГц (рис. 39б), кабеля для подключения преобразователя к дефектоскопу.



а)



б)

Рисунок 39 Ультразвуковой дефектоскоп УД2-70 (а) и преобразователь с переменным углом ввода (б)

Теоретические положения

Поверхностные волны

В твердом теле кроме объемных волн существуют специфические типы волн, распространяющиеся вдоль поверхности:

- поверхностные волны (Рэлея);
- головные.

Поверхностная волна Рэлея (рис. 40):

- является комбинацией продольных и поперечных волн;
- распространяется вдоль свободной границы твердого тела;
- распространяется на большие расстояния (1-2 м), следуя изгибам поверхности;
- быстро затухает с глубиной;
- частицы совершают колебания по эллипсам.

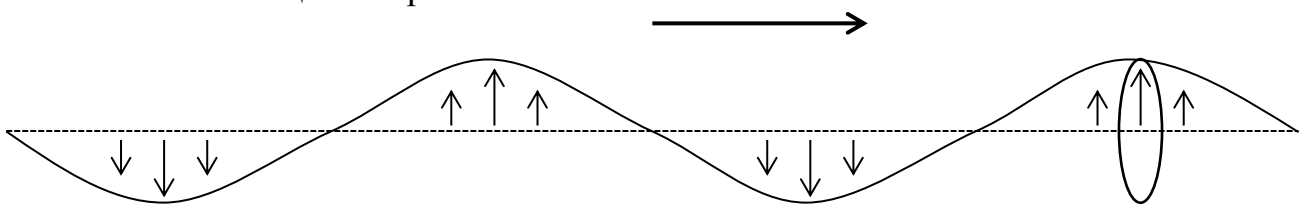


Рисунок 40 Поверхностная волна Рэлея

Нормальные волны

Сложные волны, являющиеся комбинацией стоячих и бегущих волн, называют нормальными волнами. При распространении волны в плоских телах с постоянной толщиной (листах, тонких пластинках, проволоке) могут возникать нормальные волны или волны Лэмба. Частицы совершают колебания по таким же траекториям, как в поверхностной волне, но на всю толщину листа, пластины оболочки. Обычно возникают и распространяются независимо две нормальные волны: симметричная - волна сжатия или растяжения (рис. 41) и антисимметричная - волна изгиба (рис. 42).

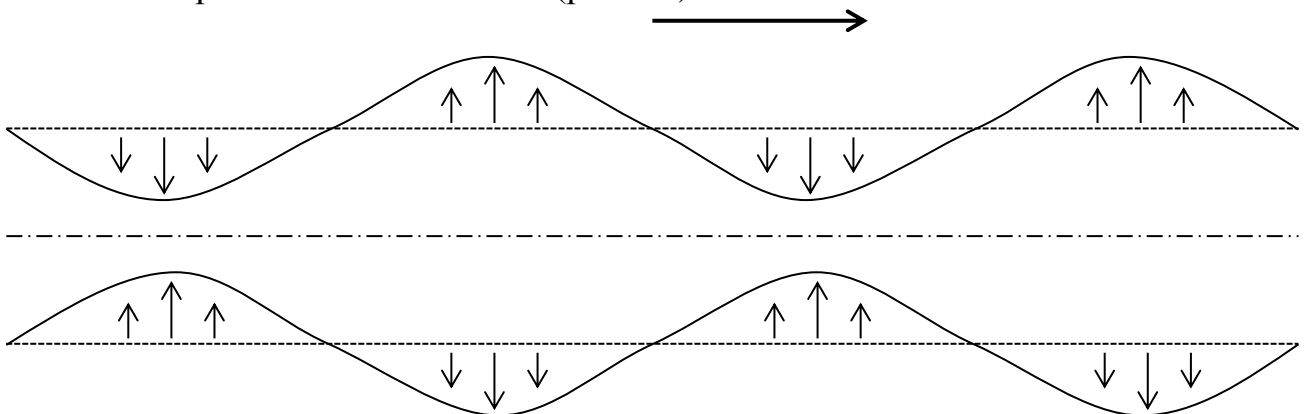


Рисунок 41 Симметричная нормальная волна

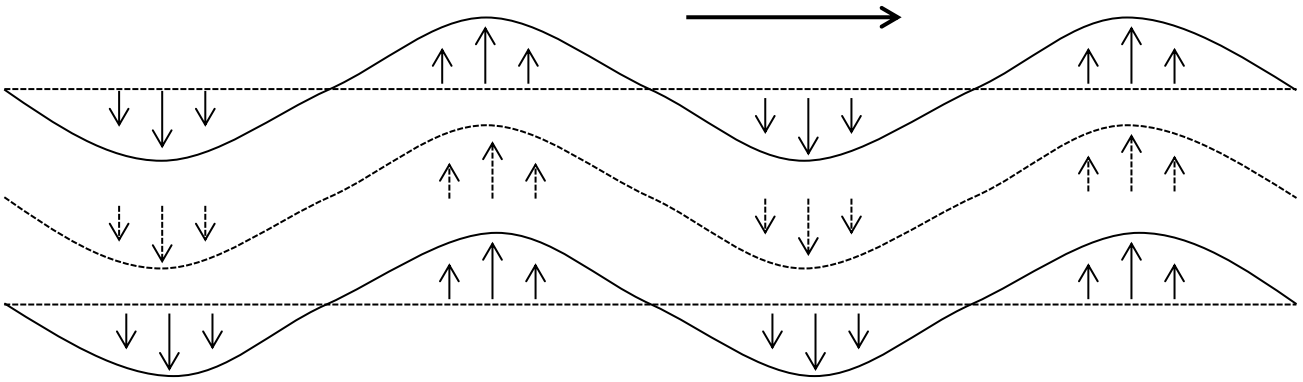


Рисунок 42 Антисимметричная нормальная волна

Скорость распространения нормальных волн зависит от:

- частоты (явление дисперсии скорости);
- упругих свойств материала;
- поперечных размеров пластины или стержня.

Для нормальных скоростей характерны две скорости распространения (рис. 43):

- фазовая C_{ph} – скорость изменения фазы в направлении распространения;
- групповая C_g – скорость распространения энергии при передаче импульса.

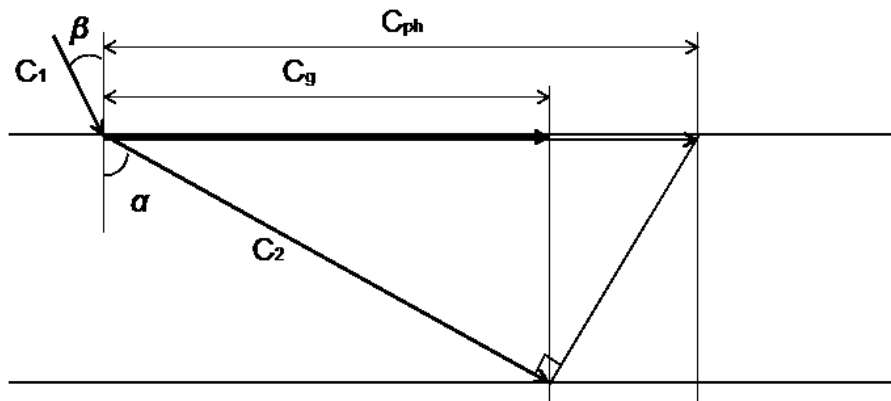


Рисунок 43 Соотношение между фазовой C_{ph} , групповой C_g и объемной C_2 скоростями волн в пластине

Нормальные волны образуются при наклонном падении волны на пластину, толщина которой соизмерима с длиной волны. Вследствие взаимодействия падающей волны с многократно отраженными волнами внутри пластины возникают резонансные явления.

Фазовая скорость определяет скорость распространения волнового фронта. Она позволяет вычислить частоту f и необходимый угол падения:

$$C_{ph} = \frac{C_2}{\sin \alpha} = \frac{C_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{n \cdot \lambda_2}{2 \cdot h}\right)^2}},$$

где: C_{ph} – фазовая скорость;
 α – угол ввода;
 C_2 – объемная скорость;
 $n=1, 2, 3 \dots$;
 λ_2 – длина волны в пластине;
 h – толщина пластины.

Волны с нечетными n называются симметричными, с четными – антисимметричными.

Групповая скорость характеризует скорость распространения энергии волнового фронта (импульса) и численно равна:

$$C_g = C_2 \cdot \sin \alpha = C_2 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{n \cdot \lambda_2}{2 \cdot h}\right)^2},$$

где: C_g – групповая скорость;
 α – угол ввода;
 C_2 – объемная скорость;
 $n=1, 2, 3 \dots$;
 λ_2 – длина волны в пластине;
 h – толщина пластины.

Условия образования нормальных волн в твердой среде усложняется из-за наличия в ней продольных и поперечных волн. При отражении эти волны частично трансформируются одна в другую, а фаза волны при отражении меняется на число, не кратное π . Фазовую и групповую скорости определяют по дисперсионным кривым (рис. 44).

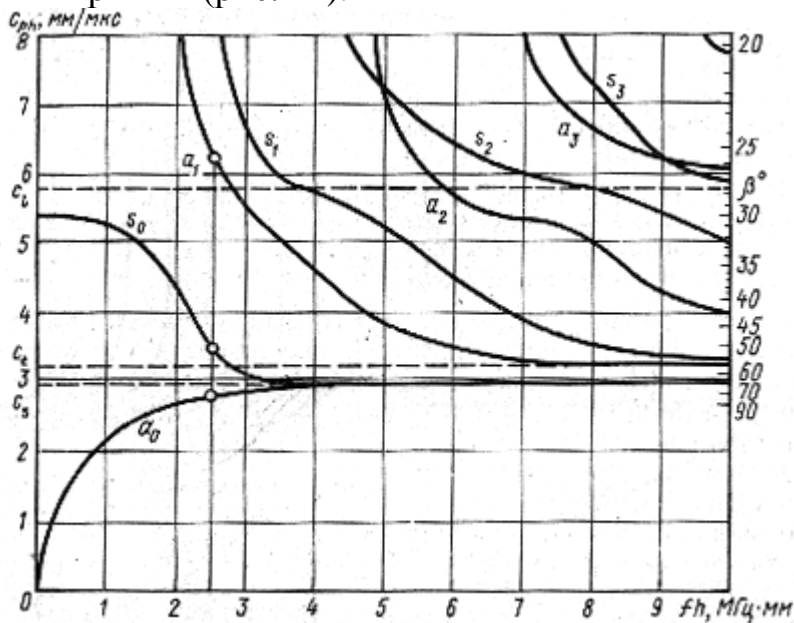


Рисунок 44 Дисперсионные кривые для фазовой скорости

Фазовая и групповая скорости связаны между собой соотношением:

$$\frac{1}{C_g} - \frac{1}{C_{ph}} = -\frac{f}{C_{ph}^2} \cdot \frac{dC_{ph}}{df}$$

Рабочее задание

1. Возбудить поверхностные волны в предоставленном образце с помощью преобразователя с переменным углом ввода ультразвука в изделие. Определить их скорость. Определить углы падения, при которых возбуждаются поверхностные волны, и сопоставить с рассчитанными по формуле синусов.
2. Возбудить в образцах-пластинах (рис. 45) все возможные моды волн Лэмба. Определить их фазовую и групповую скорости. Результаты занести в табл. 5. Сопоставить с расчетными данными.



Рисунок 45 Образцы для исследования волн Лэмба

Методические рекомендации

1. При некотором угле падения (большем второго критического) создаются условия, когда неоднородная продольная и поперечная волны обеспечивают условия возникновения поверхностной волны Рэлея. Угол падения, при котором возбуждается поверхностная волна, определяется формулой $\sin \beta = \frac{C_L}{C_S}$, где C_S - скорость поверхностной волны в нижней среде; C_L - скорость продольной волны в призме. Для возбуждения поверхностной волны следует использовать преобразователь с переменным углом ввода ультразвука. Импульсы сигналов, связанные с поверхностными волнами, отличаются тем, что они уменьшаются при нажатии пальцем, смоченным в масле, на поверхность перед преобразователем. По максимуму импульса,

соответствующего отражению от ребра образца, следует скорректировать угол ввода ультразвука. Капли масла на поверхности могут вызвать отражение ультразвуковой волны, поэтому поверхность образца должна быть чистой при проведении всех измерений.

Для того чтобы избежать расчета времени пробега импульса в призме при определении C_s , измерение скорости поверхностной волны проводят на двух базах L_1 и L_2 , т. е. измеряется расстояние между точкой ввода ультразвука и ребром образца, отражающим поверхностную волну, затем C_s определяется по формуле:

$$C_s = 2 \cdot \frac{L_1 - L_2}{t_1 - t_2},$$

где t_1 и t_2 - время между посылкой импульса и приемом.

2. Волны Лэмба в пластинах возбуждают, как и поверхностные волны, с помощью призматического преобразователя с переменным углом ввода ультразвука. Фазовую скорость (скорость распространения фазы волны вдоль пластины) волны Лэмба C_{ph} рассчитывают из закона синусов по известному углу ввода α и скорости продольных волн в призме $C_{пр}$:

$$\sin \alpha = \frac{C_{пр}}{C_{ph}}$$

Фазовая скорость C_{ph} зависит от частоты ультразвуковых колебаний и толщины пластины. На рис. 44 показана система дисперсионных кривых в безразмерных координатах. По оси ординат отложено отношение фазовой скорости к скорости поперечных волн, а по оси абсцисс - величина $h \cdot f / C_T = h / \lambda_T$, где h - толщина пластины.

Зная связь и используя номограммы (рис. 44), можно для конкретных значений h , f , C_T определить угол падения β , соответствующий каждой моде. Скорость распространения импульса ультразвука характеризуется групповой скоростью C_g которая может быть определена по номограмме, показанной на рис. 44.

В данной работе следует по номограммам (рис. 44) рассчитать значения фазовых и групповых скоростей, углы падения, при которых возбуждаются волны Лэмба, для конкретных параметров образцов и преобразователей.

При определении C_{ph} и C_g следует пользоваться значениями угла падения β , рассчитанными в ранее и уточняемыми экспериментально по максимуму амплитуды импульса сигнала, отраженного от торца пластины. Групповую скорость C_g измеряют по способу, рекомендованному выше.

Контрольные вопросы

1. Из каких основных узлов состоит ультразвуковой дефектоскоп УД2-70 и каково их назначение?
2. Какие типы волн вам известны?
3. Какие углы падения УЗК называются критическими?
4. Как возбудить акустические волны разных типов?

Лабораторная работа № 5

«Исследование эхо-импульсного метода ультразвуковой дефектоскопии»

Цель работы

Овладение навыками работы с ультразвуковым импульсным дефектоскопом типа M380 MASTERSCAN.

Ознакомление с методикой определения мертвой зоны преобразователей различного типа.

Экспериментальное определение коэффициента отражения.

Построение размерной АРД-диаграммы.

Домашнее задание

1. Рассчитать и построить график функции направленности излучения и приема преобразователя с круглой пластиной, имеющего следующие параметры:

Таблица 6

Частота преобразователя, МГц	Диаметр пьезопластины 2а, мм
2,5	12
5,0	8

2. Рассчитать и построить график изменения фронтальной разрешающей способности от расстояния до дефекта для тех же преобразователей.

3. Рассчитайте и постройте размерную АРД-диаграмму для преобразователей, указанных в таблице 6 (кривую, соответствующую донному сигналу для расстояний 25, 30, 59, 92, 100, 210 мм).

Теоретические положения

1. В непосредственной близости от преобразователя излученная энергия сосредоточена в пределах лучевой трубки. Диаметр лучевой трубки равен диаметру пьезопреобразователя. На расстоянии $z = z_{\text{бли}} = a^2/\lambda$ (граница ближней зоны) концентрация энергии вблизи оси наиболее высокая. На расстоянии $z > 2 \cdot z_{\text{бли}}$ поле излучения представляется в виде расходящегося пучка лучей. Распределение интенсивности излучения (или амплитуды P) по углу в этой зоне называют диаграммой направленности преобразователя. Распределение интенсивности излучения, может быть рассчитано по формуле

$$\frac{I}{I_0} = \left(\frac{P}{P_0} \right)^2 = \left[\frac{2 \cdot J_1(a \cdot k \cdot \sin \theta)}{a \cdot k \cdot \sin \theta} \right]^2,$$

где:

- I_0, P_0 - интенсивность и амплитуда сигнала по оси преобразователя;

- $k = 2 \cdot \pi / \lambda$ - волновое число;
- θ - угол отклонения луча от оси преобразователя;
- J_1 - функция Бесселя первого порядка.

Диаграмму направленности нужно строить в декартовых координатах. По оси абсцисс откладывать величину θ , а по оси ординат - амплитуду сигнала в децибелах:

$$N = 20 \cdot \log \left(\frac{P}{P_0} \right)$$

в которых проградуирован измеритель амплитуд дефектоскопа.

Расчет по формуле необходимо произвести для трех значений z , соответственно $z = 100, 200$ и 300 мм. Скорость распространения УЗК в исследуемой среде принять равной $C = 1490$ м/с. Все результаты расчетов нанести на один график.

2. Разрешающую способность дефектоскопа оценивают по расстоянию между дефектами, при котором они еще регистрируются раздельно. Различают лучевую разрешающую способность, т. е. минимальное расстояние в направлении излучения ультразвука (по лучу или по толщине изделия), когда сигналы от дефектов видны на экране как два различных импульса, и фронтальную разрешающую способность, т. е. минимальное расстояние между дефектами l - в направлении, перпендикулярном распространению УЗК (вдоль фронта волны).

Фронтальная разрешающая способность l на малых глубинах, $z \leq 2 \cdot a^2 / \lambda$ примерно равна диаметру пьезопластины $l \cong 2 \cdot a$.

На больших глубинах она определяется диаграммой направленности преобразователя и рассчитывается по приближенной формуле $l = z \cdot \lambda / a$.

Формулы дают возможность построить график функции изменения разрешающей способности l дефектоскопа с глубиной z для конкретного преобразователя.

3. Минимальная глубина прозвучивания или мертвая зона прибора — минимальное расстояние от преобразователя или от поверхности изделия, на котором дефект четко выявляется прибором, не сливаясь с зондирующим импульсом. Мертвая зона определяется длительностью ультразвукового импульса, временем восстановления чувствительности усилителя после воздействия мощного зондирующего импульса, уровнем помех, возникающих в преобразователе дефектоскопа. Уменьшить мертвую зону прибора возможно при использовании раздельно-совмещенного преобразователя. В этом случае приемный пьезоэлемент преобразователя защищается электроакустическим экраном от воздействия мощного зондирующего импульса.

Определение величины мертвой зоны следует начинать с регистрации сигналов от наиболее глубоко залегающих дефектов, поскольку они

фиксируются лучше, а затем переходить к дефектам, более близким к поверхности.

4. Энергетические соотношения между волнами при нормальном падении.

Различают коэффициенты отражения и преломления по давлению и по интенсивности.

Коэффициент отражения по давлению R_p называют отношение давления в отраженной волне к давлению в падающей волне:

$$R_p = \frac{P_{om}}{P_n} = \frac{z_2 - z_1}{z_2 + z_1}$$

Коэффициент прохождения по давлению D_p называют отношение давления в прошедшей волне к давлению в падающей волне:

$$D_p = \frac{P_{np}}{P_n} = \frac{2 \cdot z_2}{z_2 + z_1}$$

Рассмотрим падение плоской продольной волны на границу сталь-вода (рис. 46).

$$z_{сталь} = C_{сталь} \cdot \rho_{сталь} = 5,9 \cdot 10^3 \cdot 7,8 \cdot 10^4 = 4,6 \cdot 10^8 \text{ г/м} \cdot \text{с}$$

$$z_{вода} = C_{вода} \cdot \rho_{вода} = 1,49 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^4 = 0,15 \cdot 10^8 \text{ г/м} \cdot \text{с}$$

$$R_p = \frac{z_{вода} - z_{сталь}}{z_{вода} + z_{сталь}} = \frac{0,15 - 4,6}{0,15 + 4,6} = -0,937$$

$$D_p = \frac{2 \cdot z_{вода}}{z_{вода} + z_{сталь}} = \frac{2 \cdot 0,15}{0,15 + 4,6} = 0,063$$

Давление в отраженной воде составляет 93,7%, а в прошедшей – 6,3% давления в падающей волне. Знак «-» означает, что фаза отраженной волны меняется на противоположную по отношению к фазе падающей волны.

Если волна падает из воды (рис. 47), то $R_p = +0,937$, $D_p = 1,937$. Т.к. R_p положительно, то падающая и отраженная волна имеют одинаковые фазы. Давление в прошедшей волне почти в 2 раза больше, чем в падающей.

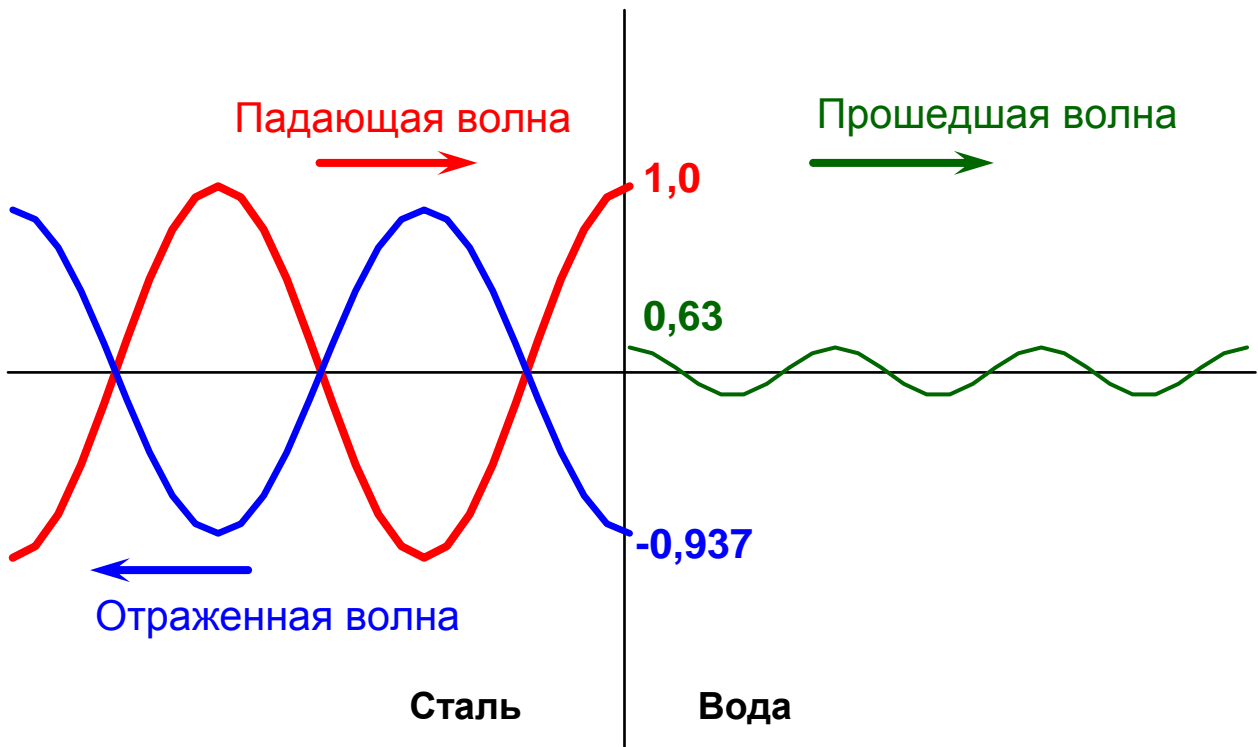


Рисунок 46 Энергетические соотношения при падении волны из стали в воду

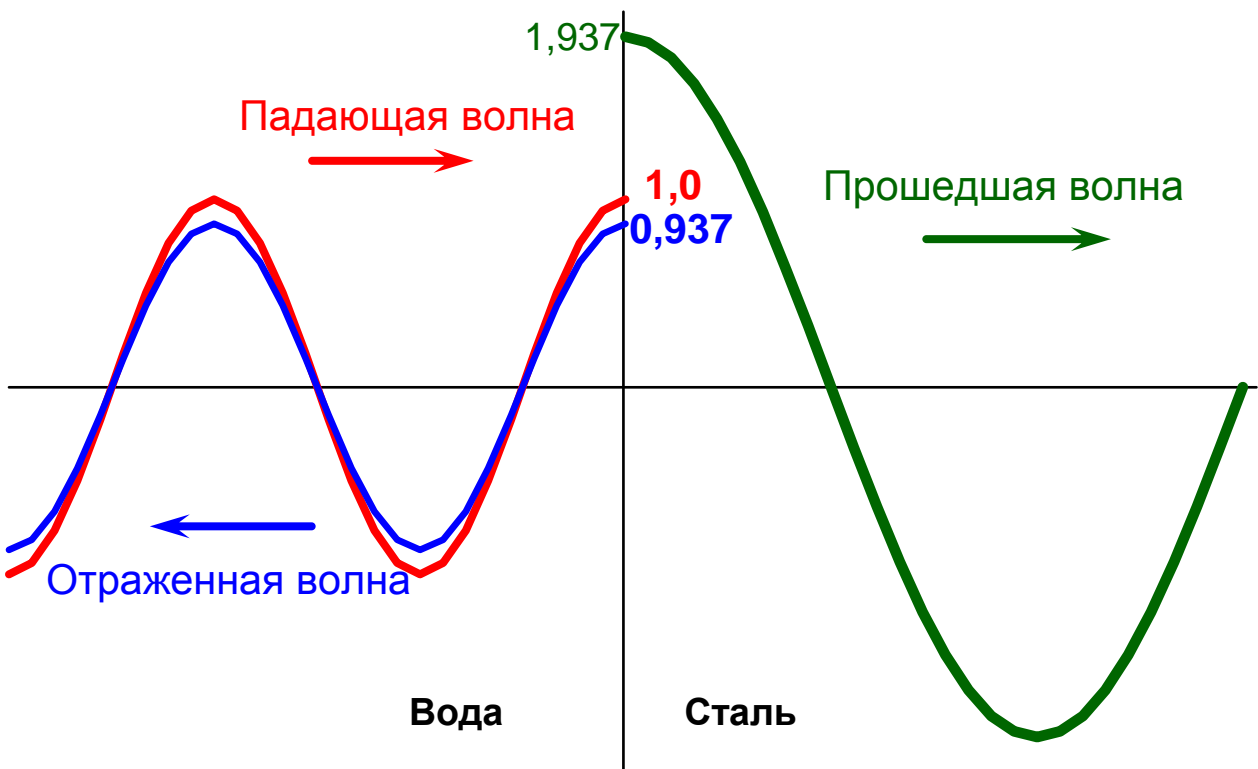


Рисунок 47 Энергетические соотношения при падении волны из воды в сталь

Коэффициентом отражения по интенсивности называют отношение интенсивностей отраженной и падающей волн. При падении волны по нормали:

$$R_p = \left(\frac{z_1 - z_2}{z_1 + z_2} \right)^2$$

Коэффициент прохождения по интенсивности D:

$$D = 1 - R \qquad D = \frac{4 \cdot z_1 \cdot z_2}{(z_2 + z_1)^2}$$

Чем больше отличаются акустические сопротивления сред, тем большая часть энергии УЗ волны отразится от границы раздела двух сред. Этим условием определяется как возможность, так и эффективность выявления нарушений сплошности материалов.

Шлаковые включения будут выявляться гораздо хуже дефектов таких же размеров, но с воздушным заполнением.

Для получения заметного отражения достаточно, чтобы размеры несплошности были соразмеримы с длиной волны.

При малой толщине несплошности доля отраженной от нее энергии определяется также величиной раскрытия в направлении распространения волны. Если в стали имеется шлаковое включение, то при определенной толщине шлаковое включение может быть звукопрозрачным, т.е. не отражающим УЗ волны.

Если волны проходят из одной твердой среды в другую через зазор, заполненный воздухом, то прохождение очень плохое, потому что для газа волновое сопротивление в тысячи раз меньше, чем у твердых тел. Это затрудняет передачу УЗ волны от преобразователя в ОК. Для передачи УЗ колебаний от преобразователя в ОК зазор между ними заполняют жидкостью – контактной средой. Если контактная жидкость полностью заполняет зазор и слой ее тонкий (тоньше четверти длины волны), то прохождение вполне удовлетворительное.

Очень тонкий промежуточный слой слабо влияет на коэффициенты отражения и прозрачности. С увеличением толщины слоя h амплитуда прошедших и отраженных волн имеют максимумы и минимумы. Максимальная прозрачность $D=1$ достигается при условиях $h=\lambda/4$, где λ – длина волны в слое.

Рабочее задание

1. На образце с отверстиями (рис. 48, 49) определить мертвую зону, используя преобразователи с параметрами, как в домашнем задании. Измерения проводить при минимальном и максимальном значениях длительности зондирующего импульса. Измерения повторить для отдельно-совмещенных преобразователей.

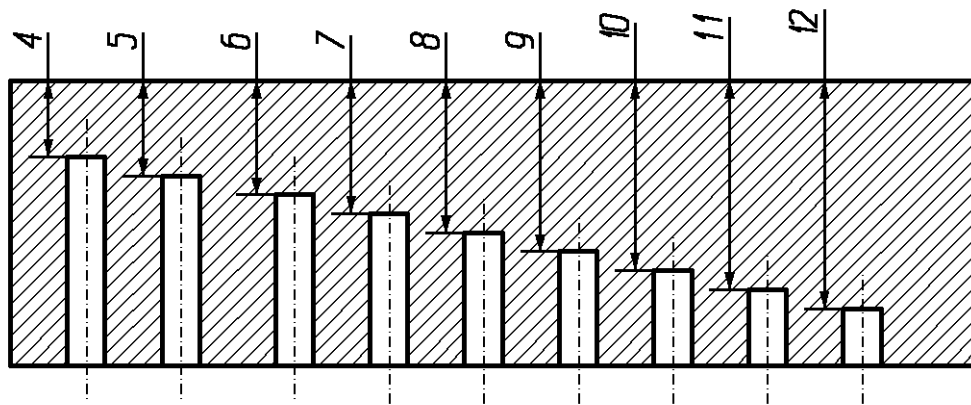


Рисунок 48 Эскиз образца для определения мертвой зоны дефектоскопа



Рисунок 49 Образец для определения мертвой зоны дефектоскопа

2. Получить сигналы от донной поверхности металлических образцов и сравнить с данными, полученные в домашнем задании.
3. Получить сигналы, отраженные от границы оргстекло-воздух и от границы оргстекло-металл. Сделать выводы.

Контрольные вопросы

1. Что такое диаграмма направленности преобразователя и как она зависит от параметров пьезопластины?
2. Какие факторы ограничивают минимальную глубину прозвучивания?
3. Какие вам известны способы уменьшения мертвой зоны?
4. Что такое разрешающая способность дефектоскопа и от чего она зависит?
5. Как экспериментально определить фронтальную разрешающую способность дефектоскопа?
6. Ширина основного лепестка диаграммы направленности, измеренной в иммерсионной ванне, равна 5° . Какой будет ширина диаграммы направленности в стали?
7. Лучевая разрешающая способность, измеренная в воде, равна 1,5 мм. Какая будет эта величина для стали?
8. Фронтальная разрешающая способность, измеренная в воде, равна 7 мм. Какая будет эта величина для стали?