



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Машины и автоматизация сварочного
производства»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к проведению практических занятий
по дисциплине

«Диагностика и контроль качества сварных
соединений»

«Конструкция и характеристики преобразователей для акустического контроля»

Автор
Коробцов А.С.

Ростов-на-Дону, 2015



Аннотация

Кратко дана информация о видах и характеристиках упругих волн, о сущности прямого и обратного пьезоэффекта, на котором основана работа преобразователей при акустическом контроле качества сварных соединений.

Представлена классификация пьезопреобразователей, рассмотрены конструкции прямой и наклонной искательной головки, изложены требования к основным элементам преобразователя, его базовые характеристики.

В конце указаний даны вопросы для самопроверки.

Для студентов направление подготовки 15.03.01 «Машиностроение», профиль подготовки «Оборудование и технология сварочного производства» .

Автор



проф., д.т.н.
А.С. Коробцов

Оглавление

1. Требования безопасности	4
2. Цель работы	4
3. Рабочее задание	4
4. Физические основы ультразвукового контроля	4
5. Ультразвуковые преобразователи	6
6. Содержание отчета.....	13
7. Вопросы для самопроверки.....	13
8. Рекомендуемая литература.....	13

1. Требования безопасности

Перед допуском к проведению лабораторной работы все лица, участвующие в ее выполнении, должны пройти соответствующий инструктаж по технике безопасности с регистрацией в специальном журнале.

2. Цель работы

Ознакомиться с физическими основами акустической дефектоскопии сварных соединений, рассмотреть классификацию пьезопреобразователей, изучить назначение, конструкцию, характеристики прямой и наклонной искательной головки, разобраться с понятием мертвой зоны.

3. Рабочее задание

- ознакомиться с видами и характеристиками упругих волн; ролью таких их свойств, как отражение и прохождение волны на границе двух сред, прямым и обратным пьезоэффектом;
- ознакомиться с классификацией пьезопреобразователей по направлению акустической оси, по способу акустического контакта;
- изучить конструкцию прямой и наклонной искательной головки, основные характеристики пьезопреобразователей.

4. Физические основы ультразвукового контроля

Из акустических методов контроля качества сварных соединений наиболее широко применяется ультразвуковой контроль, основанный на регистрации параметров упругих волн, возбужденных в объекте контроля. На практике чаще всего используют упругие волны ультразвукового диапазона с частотой колебаний 0,5-10 МГц.

Ультразвуковые волны обладают способностью проникать вглубь материала. При распространении упругих колебаний частицы материала не переносятся вдоль направления движения волны, а совершают колебательное движение относительно своей первоначальной ориентации, снова занимая исходное положение, т.е. распространение колебаний представляет собой передачу колебаний от одних частиц среды к другим. В металлах ультразвуковые волны распространяются как направленные лучи.

Распространение ультразвуковых волн подчиняется законам



геометрической оптики. Важными свойствами волн, используемых на практике, являются прохождение и отражение.

Прохождение – способность ультразвука проходить через границу раздела сред с разными акустическими сопротивлениями. Это свойство реализуется при вводе упругих колебаний в объект контроля. **Отражение** – способность ультразвука отражаться от границы раздела сред с разными акустическими сопротивлениями (металл - дефект). Именно на этом свойстве основано выявление внутренних дефектов при ультразвуковом контроле

Процесс распространения ультразвука в пространстве является волновым. Граница, отделяющая колеблющиеся частицы среды от частиц, еще не начавших колебаться, называется *фронт волн*.

Упругие волны характеризуются *скоростью распространения* C , *длиной волны* λ и *частотой* f .

Частота ультразвука – число волн, проходящие через данную точку пространства в 1 секунду.

Длина волны – расстояние между ближайшими частицами, колеблющимися одинаковым образом (в одинаковой фазе).

Длина волны связана со **скоростью** распространения и частотой следующим отношением:

$$\lambda = C / f$$

Скорость распространения определяется физическими свойствами среды и типом волн. Скорость распространения упругих волн тем больше, чем больше жесткость тела.

Типы волн

В зависимости от направления колебаний частиц по направлению к распространению волны различают *продольные*, *поперечные* (сдвиговые), *поверхностные* и *нормальные* волны.

Продольные волны – частицы среды колеблются вдоль распространения волны. Могут распространяться во всех видах сред: твердой, жидкой, газообразной.

Поперечные волны - частицы среды колеблются перпендикулярно направлению распространения волны (*волны сдвига*). Распространяются только в твердой среде, способной сопротивляться сдвигу.

Поперечные и продольные волны наиболее широко применяются при ультразвуковом контроле.

Поверхностные волны (*волны Релея*) – комбинация попе-

речных и продольных волн, распространяемых вдоль свободной поверхности твердого тела. При ее распространении частицы тела движутся по эллипсам, большая ось которых перпендикулярна границе. Проникновение волны вглубь приблизительно равно длине волны λ_s .

Нормальные волны (*волны Лэмба*) – образуются при наклонном падении волны на пластину, толщина которой соизмерима с длиной волны. Используются при контроле плакирующих слоев биметаллов, толщина которых соизмерима с длиной волны, а так же применяют для контроля листов, труб, оболочек, имеющих небольшую толщину (до 5 мм).

Ультразвуковые колебания получают *пьезоэлектрическим способом*, основанном на **пьезоэффekte** некоторых кристаллов.

Пьезоэлектрический эффект - поляризация диэлектрика, вызванная механическим воздействием на него (*прямой эффект*), либо его деформирование, когда он помещается в электрическое поле (*обратный эффект*).

Если к кристаллу, обладающему пьезоэффектом, приложить знакопеременное напряжение, то, деформируясь с частотой поля, кристалл будет колебаться, создавая упругие колебания в окружающей среде (работать как *излучатель* упругих волн).

И, наоборот, если окружающая среда будет воздействовать на пьезоэлемент упругими колебаниями, то фиксирующими приборами можно снимать исходное напряжение с поверхностей пьезоэлемента (*приемник*).

5. Ультразвуковые преобразователи

При ультразвуковом контроле пьезопреобразователи (ПЭП) используют для возбуждения и приема упругих волн. Достоверность контроля во многом зависит от надежной работы пьезопреобразователя, который является важным элементов системы контроля.

Пьезопреобразователи классифицируются по направлению акустической оси ПЭП, по способу соединения ПЭП с электрической схемой прибора, по способу акустического контакта ПЭП с объектом контроля.

По направлению акустической оси ПЭП делятся на:

- **прямые**, излучающие волны перпендикулярно к поверхности объекта контроля, и **наклонные** (под определенным углом).

По способу соединения ПЭП с электрической схемой прибора различают:

- **совмещенные** ПЭП, которые соединятся одновременно с генератором и усилителем прибора; служат как для излучения, так и для приема ультразвуковых колебаний;

- **раздельные**, состоящие из излучателя и приемника;

- **раздельно-совмещенные**, в которых излучатель и приемник конструктивно связаны, но разделены электрическим и акустическим экранами.

По способу акустического контакта ПЭП с объектом контроля различают:

- **контактные** ПЭП, которые прижимают к поверхности объекта контроля, предварительно смазанной контактной жидкостью (масло, глицерин, солидол);

- **иммерсионные** ПЭП, между поверхностью которых и объектом контроля имеется толстый слой жидкости (толщина слоя во много раз $>\lambda$), при этом изделие целиком или частично погружают в иммерсионную ванну;

- **контактно-иммерсионные** ПЭП, снабженные локальной иммерсионной ванной с эластичной мембраной, контактирующей с изделием непосредственно или через тонкий слой жидкости;

- **щелевые** ПЭП, между поверхностью которых и объектом контроля создается зазор $\approx \lambda$, жидкость в зазоре удерживается силами поверхностного натяжения;

- **ПЭП с сухим точечным контактом**, имеющие шарообразную поверхность, соприкасающуюся с изделием $S_{\text{сопр.}} = 0,01-0,5 \text{ мм}^2$;

- **бесконтактные** ПЭП, возбуждающие ультразвуковые колебания в объекте контроля через слой воздуха (из-за очень низкой чувствительности не нашли широкого применения).

При контроле сварных соединений широко используются *прямые и наклонные совмещенные контактные* преобразователи (рис.1 и 2).

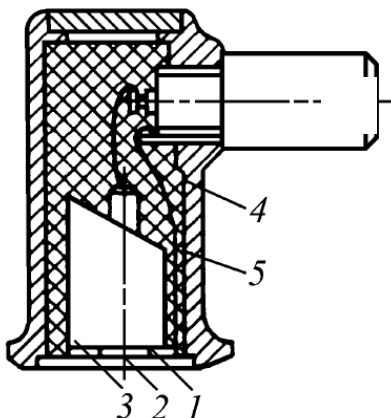


Рис. 1. Схема прямого контактного преобразователя

- 1 – пьезоэлемент;
- 2 – протектор;
- 3 – демпфер;
- 4 – заливочная масса;
- 5 – корпус;
- 6 – разъем

Основной элемент пьезопреобразователя – **пьезоэлемент** (изготавливается из следующих материалов: кварц, цирконат натрия, титанат свинца, титанат бария, сульфат бария, турмалин, ниобат свинца). В ряде случаев используют многослойные пьезопластины.

Выбор формы и размеров пьезоэлемента обусловлен необходимостью формирования определенного акустического поля по глубине и сечению.

В серийных ПЭП применяют пьезоэлементы круглой и прямоугольной формы.

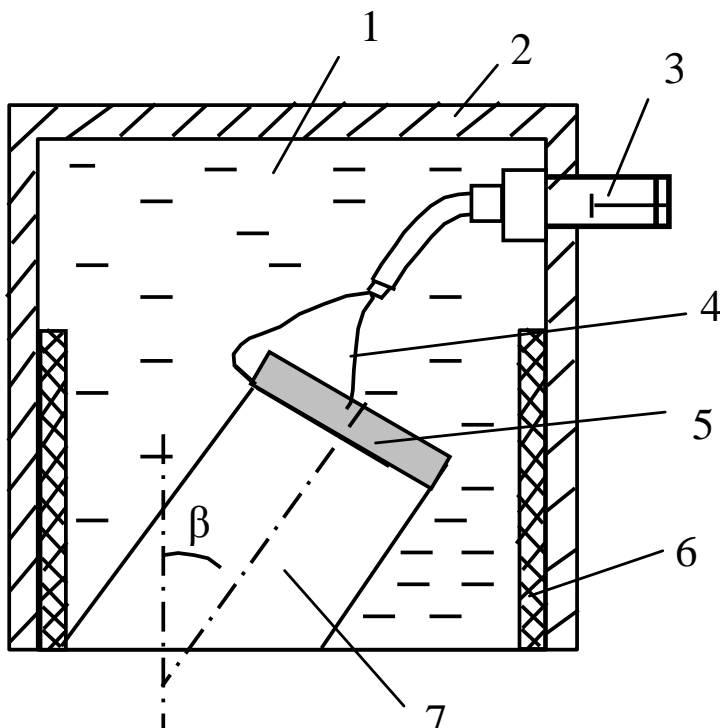


Рис.2. Схема наклонного контактного преобразователя
 1- заливочная масса, 2 - корпус, 3 - разъем.
 4 - токоподвод,
 5- пьезоэлемент, 6 - звукопоглотитель, 7- призма

Экспериментально установлены оптимальные размеры пьезопластин в искательной головке: $af = 12 \dots 15 \text{ МГц}$, где a – диаметр пьезоэлемента, f - частота волны.

Для приложения электрического поля на противоположных поверхностях пьезоэлемента располагают **металлические** (никелевые, серебряные) **электроды**.

С целью гашения свободных колебаний пьезопластины, уменьшения длительности зондирующего импульса с ее нерабочей стороны приклеивают **демпфер** (рис.1.) . Для обеспечения

данных условий материал демпфера должен обладать акустическим сопротивлением, близким к сопротивлению ПЭП и большим коэффициентом затухания.

С целью более эффективного гашения многократных отражений демпфер выполняют в *виде конуса* либо срезают его тыльную поверхность под определенным углом.

Для защиты пьезопластины от истирания к ней с рабочей стороны приклеивают или припаивают **протектор** (защитное донышко). В качестве материала протектора в прямых совмещенных преобразователях используют минералокерамику (бериллий, твердые износостойкие сплавы, эпоксидная смола, полиуретан, резины и др.). Помимо высокой износостойкости протектор должен обеспечивать наилучшее прохождение ультразвука через границу ПЭП - объект контроля и высокую стабильность акустического контакта. Для обеспечения последнего условия толщина протектора должна быть $\lambda/4$. На практике это $0,2 \div 1,0$ мм.

В наклонных преобразователях роль протектора может выполнять **призма** (рис.2.), которая является одним из важных элементов, определяющих эксплуатационные характеристики преобразователя.

Призма - элемент специальной формы, который предназначен для ввода ультразвуковой волны под определенным углом (β на рис.2) к объекту контроля. Материал призм должен обладать хорошей износостойкостью, смачиваемостью и значительным пределом термостабильности. Наиболее распространены материалы на основе акрильных пластмасс (оргстекло, полистирол, полиамид и т. п.)

Корпус преобразователя обеспечивает прочность конструкции, а также экранирование пьезоэлемента и выводов от электронных помех (для этого корпус из пластмассы металлизуют).

Характеристики преобразователей

К основным характеристикам преобразователя относят: коэффициент электромеханического преобразования, электрические сопротивления преобразователя и нагрузки преобразователя, временные характеристики, параметры акустического поля и общетехнические характеристики.

Коэффициент преобразования определяется соотношением между взаимосвязанными электрическими и акустическими величинами. При подаче на пьезопластину электрического напряжения U вследствие обратного пьезоэффекта она излучает упругие

колебания с амплитудой A_i . Коэффициент преобразования (передаточная функция) при излучении $K_i = A_i/U_i$. В режиме приема, когда на пьезоэлемент подается акустический сигнал с амплитудой A_p , на обкладках пьезоэлемента возникает напряжение U_p . Коэффициент преобразования на приеме $K_p = U_p/A_p$.

Зависимость коэффициента преобразования от частоты называют *амплитудно-частотной характеристикой* (АЧХ) преобразователя.

Электрическое сопротивление преобразователя – это комплексное электрическое сопротивление, измеренное на зажимах преобразователя при определенной акустической нагрузке на его рабочей поверхности. Частоты, при которых электрическое сопротивление имеет минимум и максимум, называют соответственно *частотами резонанса* и *антирезонанса*.

Сопротивление электрической нагрузки преобразователя – комплексная величина, составляющими которой являются сопротивления емкости, индуктивности и резистора, включенные параллельно или последовательно с пьезопреобразователем и обуславливающие наилучшее его согласование с усилителем.

К *временным характеристикам* преобразователя относят *импульсный коэффициент преобразования*, представляющий собой отношение максимальной амплитуды эхосигнала к максимальной амплитуде тока зондирующего импульса, и *реверберационно-шумовую характеристику* (РШХ). РШХ – это временная зависимость отношения электрического напряжения на преобразователе к амплитуде электрического напряжения эхоимпульса. РШХ в значительной мере определяет возможность выявления дефектов, расположенных вблизи поверхности. Она зависит прежде всего от коэффициента затухания волн в демпфере.

Параметрами акустического поля пьезопреобразователей являются:

Ближняя зона преобразователя - область акустического поля преобразователя, в которой происходит немонотонное изменение интенсивности поля с расстоянием.

Дальняя зона преобразователя - область акустического поля преобразователя, в которой происходит монотонное изменение интенсивности поля с расстоянием.

Диаграмма направленности - график в полярных координатах, характеризующий зависимость амплитуды поля от расстояния и угла, т.е. свойство преобразователя излучать упругие волны в

одних направлениях в большей степени, чем в других.

Угол раскрытия диаграммы направленности уменьшается с увеличением диаметра пьезоэлемента и частоты.

Акустическая ось преобразователя - линия, соединяющая точки максимальной интенсивности акустического поля в дальней зоне преобразователя и ее продолжение в ближней зоне (рис.3).

Точка выхода преобразователя - точка пересечения акустической оси преобразователя с ее рабочей поверхностью.

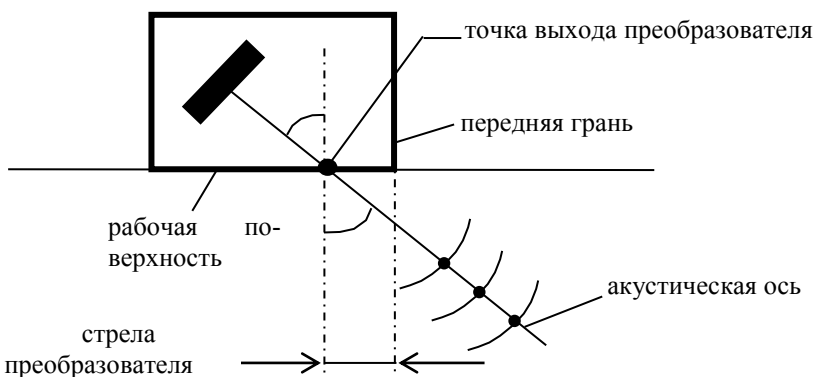


Рис. 3. Изображение ряда характеристик преобразователя

Стрела преобразователя - расстояние от точки выхода наклонного преобразователя до его передней грани (см. рис.3).

Угол ввода преобразователя (рис.4, угол α) - угол между нормалью к поверхности в точке ввода и акустической осью преобразователя, измеренной в плоскости, перпендикулярной к рабочей поверхности преобразователя.

Общетехнические характеристики определяют требования к надежности, износостойкости, стойкости к внешним воздействиям. *Надежность* ПЭП оценивают наработкой на отказ или средним сроком службы. *Износостойкость* определяется площадью проконтролированного металла, при которой истирание призмы или протектора еще не вызывает изменения угла призмы выше допустимого. *Стойкость к внешним воздействиям* зависит от устойчивости к изменению температуры, влажности, механическим уда-

рам и действию электромагнитного поля.

6. Содержание отчета

- виды и характеристики упругих волн,
- определения поперечной и продольной волны,
- прямой и обратный пьезоэффект,
- назначение и конструкция прямой искательной головки,
- основные характеристики пьезопреобразователя.

7. Вопросы для самопроверки

- Особенности распространения продольной, поперечной и поверхностной упругой волны?
 - Что происходит с упругой волной на границе двух сред с разными акустическими свойствами?
 - В чем сущность обратного пьезоэффекта и какие материалы им обладают?
 - Основные характеристики ультразвуковой волны и их взаимосвязь?
 - Классификация преобразователей для акустического контроля?
 - Основные элементы прямой искательной головки (пьезопреобразователя для акустического контроля)?
 - Какие требования предъявляются к материалу демпфера?
 - Предназначение призмы в прямом пьезопреобразователе?
- Понятие ближней и дальней зоны пьезопреобразователя?
- Основные характеристики пьезопреобразователя?
- Что называется стрелой пьезопреобразователя?

8. Рекомендуемая литература

1. Щербинский В.Г. Технология ультразвукового контроля сварных соединений.- Москва: Изд-во «Тиссо», 2005.
2. Алешин А.П. Физические методы неразрушающего контроля сварных соединений.- М : Машиностроение, 2006.