

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ**

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра метрологии, стандартизации и сертификации

**В.А. НИКИТИН
М.С. РЕПЯХ**

**МЕТОДЫ И СРЕДСТВА
ИЗМЕРЕНИЯ ТОЛЩИНЫ
МЕТАЛЛОВ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к практическим занятиям
по дисциплине «Методы и средства измерений, испытаний и контроля»

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом
государственного образовательного учреждения
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Оренбург 2009

УДК 006.91:620.179.142.5(07)

ББК 30.18 - 38.728я 7

Н - 62

Рецензент

кандидат технических наук, доцент А.Л. Воробьев

Никитин, В.А.

Н 62 Методы и средства измерения толщины металлов: методические указания к практическим занятиям. / В. А. Никитин, М.С. Репях. – Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2009. – 34 с.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторно-практических работ по курсу «Методы и средства измерений, испытаний и контроля» для студентов второго и третьего курса по специальностям 220301, 151001, 151002, 200503, 190601, 190603, 190702.

В методическом указании изложен материал, позволяющий произвести расчет среднеквадратического отклонения и доверительной границы невырожденной систематической погрешности при измерении толщины металлов толщиномером ультразвуковым. Приведены требуемый для понимания рассматриваемых вопросов теоретический материал, справочно–нормативные данные по свойствам средств измерений и методы измерения.

ББК 30.18 - 38.728я 7

©Никитин В.А.

Репях М.С., 2009

©ИПК ГОУ ОГУ, 2009

Содержание

Введение.....	4
1 Цель работы.....	6
2 Общие сведения	6
3 Физический принцип действия толщиномера ультразвукового	8
3.1 Волновые процессы	8
3.2 Звуковые волны	9
3.3 Ультразвук и его применение	10
4 Ограничения ультразвукового метода измерения толщины.....	12
5 Принцип действия толщиномера ультразвукового.....	14
6 Устройство и возможности толщиномера ультразвукового.....	16
7 Методика измерений толщиномером.....	18
8 Подготовка к измерениям.....	19
8.1 Методика измерений толщиномером ультразвуковым А 1208.....	23
9 Технические характеристики.....	27
10 Методика поверки толщиномера ультразвукового	29
11 Варианты для выполнения лабораторной работы	30
Список использованных источников	31
Приложение А Пример отчета по лабораторной работе	32

Введение

Выбор измерительного средства является комплексной задачей, в решении которой должны участвовать конструкторы, технологи, метрологи. Только в этом случае правильно решаются вопросы достижения необходимой точности, производительности, экономичности производственных операций.

Стремление к экономически выгодному производству заставляет технолога выбирать средство измерения с уменьшенной погрешностью или изменять технологический процесс с целью повышения точности изготовления. Метролог проводит метрологическую экспертизу конструкторской и технологической документации и, при необходимости, возвращает ее на доработку и измерения по рекомендациям Отдела Главного Метролога (ОГМетр).

Также нужно заметить, что выбор средства измерения определяется измеряемой величиной, принятым методом измерений и требуемой точности результата измерения, которая определяется нормой из нормативно-технической документации (технологический процесс).

Технология производства и высокие требования к надежности при эксплуатации сложных технических требуют решения целого ряда задач, связанных с измерением акустическими методами и приборами таких параметров, как время распространения ультразвуковых колебаний или его приращение, и получением на их основе расчетным путем значений толщины, скорости распространения ультразвуковых колебаний, анизотропии проката и его упругих характеристик. Одновременно, измерение амплитуды акустических сигналов позволяет определить наличие нарушений сплошности или качество неразъемных соединений (сварных, паяных, клеевых), оценить по характеру изменения амплитуд многократных эхо-сигналов степень коррозионного или эрозионного поражения, нарушения клеевого соединения.

Ультразвуковой контроль толщины стенки тонкостенных корпусов и элементов конструкций, труб топливопроводов, котлов, баллонов, сосудов, обшивок и других изделий из черных и цветных металлов является одним из важнейших направлений технической диагностики. При этом контроль проводят как в цеховых условиях предприятий, так и в ремонтных цехах, ангарах и на открытых площадках. Для обеспечения эффективного производства и безопасной эксплуатации техники были созданы и освоены в эксплуатации несколько поколений ультразвуковых толщиномеров, предназначенных для автоматизированного и ручного контроля. Однако большая часть из них морально и физически устарела, а многие вновь разработанные обладают весьма существенными недостатками. К ним относятся низкая производительность и достоверность при использовании пьезоэлектрических преобразователей (ПЭП), наличие большого количества влияющих факторов, отсутствие систем обработки сигналов и регистрации результатов, что снижает достоверность контроля.

Принцип действия толщиномера состоит в измерении времени, за которое УЗ импульсы дважды проходят сквозь материал измеряемого изделия

от одной поверхности до другой. Это время через известную скорость распространения продольных ультразвуковых волн в материале (далее просто скорость ультразвука) пересчитывается в значение толщины изделия. Для излучения УЗ импульсов в изделие и приема их отражений служит УЗ преобразователь, который оператор устанавливает на поверхность изделия в том месте, где нужно измерить его толщину. УЗ преобразователь имеет острую характеристику направленности излучения и приема ультразвука, поэтому толщина изделия определяется непосредственно под местом установки преобразователя.

1 Цель работы

1.1 Развить навыки и умения измерения толщины металлов.

1.2 Познакомиться с устройством и принципом работы толщиномера ультразвукового.

1.3 Развить навыки в умении пользоваться измерительными приборами.

2 Общие сведения

Для измерения толщины металлов существует несколько методов: акустический, магнитный метод контроля, капиллярный метод контроля, вихретоковый метод контроля, электрический метод, радиоволновой, тепловой, оптический, радиоционный. Все приведенные методы относятся к неразрушаемым методам контроля.

Подробнее рассмотрим акустический метод неразрушаемого контроля.

К акустическим методам неразрушающего контроля относят обширную область испытания материалов и изделий, основанную на применении упругих колебаний и волн, точнее, на регистрации параметров упругих волн, возбуждаемых или возникающих в объекте неразрушающего контроля. Акустический метод неразрушающего контроля находит свое применение в различных областях: котлонадзор, системы газоснабжения, подъемные сооружения, объекты горнорудной промышленности, объекты угольной промышленности, нефтяная и газовая промышленность, металлургическая промышленность, оборудование взрывопожароопасных и химически опасных производств, объекты железнодорожного транспорта, объекты хранения и переработки зерна. Мировой опыт показывает, что использование средств ультразвукового неразрушающего контроля в машиностроении, металлургии, энергетике, строительстве, транспортной промышленности способствует улучшению качества продукции, обеспечению безаварийной эксплуатации энергетических установок и транспортных средств, повышению производительности труда, снижению материалоемкости конструкций и сооружений, улучшению качества выпускаемой продукции, экономии сырьевых и трудовых ресурсов.

Технология производства и высокие требования к надежности при эксплуатации сложных технических требуют решения целого ряда задач, связанных с измерением акустическими методами и приборами таких параметров, как время распространения ультразвуковых колебаний или его приращение, и получением на их основе расчетным путем значений толщины, скорости распространения ультразвуковых колебаний, анизотропии проката и его упругих характеристик. Одновременно, измерение амплитуды акустических сигналов позволяет определить наличие нарушений сплошности или качество неразъемных соединений (сварных, паяных, клеевых), оценить по характеру изменения амплитуд многократных эхо-сигналов степень коррозионного или эрозионного поражения, нарушения клеевого соединения.

Ультразвуковой контроль толщины стенки тонкостенных корпусов и элементов конструкций, труб топливопроводов, котлов, баллонов, сосудов, обшивок и других изделий из черных и цветных металлов является одним из важнейших направлений технической диагностики.

3 Физический принцип действия толщиномера ультразвукового

3.1 Волновые процессы

Колебания, возбужденные в какой-либо точке среды (твердой, жидкой или газообразной), распространяются в ней с конечной скоростью, зависящей от свойств среды, передаваясь от одной точки среды к другой. Чем дальше расположена частица среды от источника колебаний, тем позднее она начнет колебаться. Иначе говоря, фазы колебаний частиц среды и источника тем больше отличаются друг от друга, чем больше это расстояние. При изучении распространения колебаний не учитывается дискретное строение среды и среда рассматривается как сплошная, т. е. непрерывно распределенная в пространстве и обладающая упругими свойствами.

Процесс распространения колебаний в сплошной среде называется волновым провесом (или волной). При распространении волны частицы среды не движутся вместе с волной, а колеблются около своих положений равновесия. Вместе с волной от частицы к частице среды передаются лишь состояние колебательного движения и его энергия. Поэтому основным свойством всех волн, независимо от их природы, является перенос энергии без переноса вещества.

Среди разнообразных волн, встречающихся в природе и технике, выделяются следующие их типы: волны на поверхности жидкости, упругие и электромагнитные волны. Упругими (или механическими) волнами называются механические возмущения, распространяющиеся в упругой среде. Упругие волны бывают продольные и поперечными. В продольных волнах частицы среды колеблются в направлении распространения волны, в поперечных — в плоскостях, перпендикулярных направлению распространения волны.

Продольные волны могут возбуждаться в средах, в которых возникают упругие силы при деформации сжатия и растяжения, т. е. твердых, жидких и газообразных телах. Поперечные волны могут возбуждаться в среде, в которой возникают упругие силы при деформации сдвига, т. е. в твердых телах; в жидкостях и газах возникают только продольные волны, а в твердых телах — как продольные, так и поперечные.

Упругая волна называется гармонической, если соответствующие ей колебания частиц среды являются гармоническими. График волны дает зависимость смещения всех частиц среды от расстояния до источника колебаний в данный момент времени, а график колебаний — зависимость смещения данной частицы от времени.

Расстояние между ближайшими частицами, колеблющимися в одинаковой фазе, называется длиной волны λ (8.1). Длина волны равна тому расстоянию, на которое распространяется определенная фаза колебания за период.

$$\lambda = vT, \quad (2.1)$$

где v – частота колебаний

$$V = \lambda v, \quad (2.2)$$

Колеблются не только частицы, расположенные вдоль X , а колеблется совокупность частиц, расположенных в некотором объеме, т. е. волна, распространяясь от источника колебаний, охватывает все новые и новые области пространства. Геометрическое место точек, до которых доходят колебания к моменту времени t , называется волновым фронтом. Геометрическое место точек, колеблющихся в одинаковой фазе, называется волновой поверхностью. Волновых поверхностей можно провести бесчисленное множество, а волновой фронт в такой момент времени — один. Волновой фронт также является волновой поверхностью. Волновые поверхности могут быть любой формы, а в простейшем случае они представляют собой совокупность плоскостей, параллельных друг другу, или совокупность концентрических сфер. Соответственно волна называется плоской или сферической.

3.2 Звуковые волны

Звуковыми волнами называются распространяющиеся в среде упругие волны, обладающие частотами в пределах 16-20000 Гц. Такие волны, воздействуя на слуховой аппарат человека, вызывают ощущение звука.

Звуковые волны в газах и в жидкостях могут быть только продольными, т.к. эти среды обладают упругостью лишь по отношению к деформациям сжатия. В твердых телах звуковые волны могут быть как продольными, так и поперечными, т.к. твердые тела обладают упругостью по отношению к деформациям сжатия и сдвига.

Интенсивностью звука называется величина, определяемая средней по времени энергией, переносимой звуковой волной в единицу времени сквозь единичную площадку, перпендикулярную направлению распространения волны.

Чувствительность человеческого уха различна для разных частот. Для того чтобы вызвать звуковое ощущение, волна должна обладать некоторой минимальной интенсивностью, но если эта интенсивность превышает определенный предел, то звук не слышен и вызывает только болевое ощущение. Таким образом, для каждой частоты колебаний существует наименьшая и наибольшая интенсивности звука, которые способны вызвать звуковое восприятие. Это область слышимости.

Реальный звук является наложением гармонических колебаний с большим набором частот, т.е. звук обладает акустическим спектром, который может быть сплошным и линейчатым.

Звук характеризуется помимо громкости еще высотой и тембром. Высота звука — качество звука, определяемое человеком субъективно на слух и зависящее от частоты звука. С ростом частоты высота звука увеличивается, т.е.

звук становится «выше». Характер акустического спектра и распределения энергии между определенными частотами определяет своеобразие звукового ощущения, называемое тембром звука.

Источником звука может быть всякое тело, колеблющееся в упругой среде со звуковой частотой.

Совершая колебания, тело вызывает колебания прилегающих к нему частиц среды с такой же частотой. Состояние колебательного движения последовательно передается к все более удаленным от тела частицам среды, т.е. в среде распространяется волна с частотой колебаний, равной частоте ее источника и с определенной скоростью, зависящей от плотности и упругих свойств среды.

При распространении звука в атмосфере необходимо учитывать целый ряд факторов: скорость и направление ветра, влажность воздуха, молекулярную структуру газовой среды, явления преломления и отражения звука на границе двух сред. Кроме того, любая реальная среда обладает вязкостью, поэтому наблюдается затухание звука, т.е. уменьшение его амплитуды и интенсивности звуковой волны по мере ее распространения. Затухание звука обусловлено в значительной мере его поглощением в среде, связанным с необратимым переходом звуковой энергии в другие формы энергии.

Для акустики помещений большое значение имеет реверберация звука – процесс постепенного затухания звука в закрытых помещениях после выключения его источника. Если помещения пустые, то происходит медленное затухание звука и создается «гулкость» помещения. Если звуки затухают быстро, то они воспринимаются приглушенными. Время реверберации – это время, в течение которого интенсивность звука в помещении ослабляется в миллион раз, а его уровень – на 60 дБ. Помещение обладает хорошей акустикой, если время реверберации составляет 0,5-1,5 с.

3.3 Ультразвук и его применение

По своей природе ультразвук представляет собой упругие волны, и в этом он не отличается от звука. Но ультразвук, обладая высокими частотами более 20 кГц и малыми длинами волн, характеризуется особыми свойствами, что позволяет выделить его в отдельный класс явлений. Из-за малых длин волн ультразвуковые волны, как и свет, могут быть получены в виде строго направленных пучков.

Для генерации ультразвука используют в основном два явления.

Обратный пьезоэлектрический эффект – это возникновение деформации в вырезанной определенным образом кварцевой пластинке под действием электрического поля. Если такую пластинку поместить в высокочастотное переменное поле, то можно вызвать ее вынужденные колебания. При резонансе на собственной частоте пластинки получают большие амплитуды колебаний и большие интенсивности излучаемой ультразвуковой волны.

Магнитострикция – это возникновение деформации в ферромагнетиках под действием магнитного поля. Поместив ферромагнитный стержень в

быстропеременное магнитное поле, возбуждают его механические колебания, амплитуда которых максимальна в случае резонанса.

Ультразвуки широко используются в технике, например для направленной подводной сигнализации, обнаружения подводных предметов и определения глубин. Например, в эхолоте от пьезокварцевого генератора, укрепленного на судне, посылаются направленные ультразвуковые сигналы, которые, достигнув дна, отражаются от него и возвращаются обратно. Зная скорость их распространения в воде и определяя время прохождения ультразвукового сигнала, можно вычислить глубину. Прием эха также производится с помощью пьезокварца. Звуковые колебания, дойдя до пьезокварца, вызывают в нем упругие колебания, в результате чего на противоположных поверхностях кварца возникают электрические заряды, которые измеряются.

Если пропускать ультразвуковой сигнал через исследуемую деталь, то можно обнаружить в ней дефекты по характерному рассеянию пучка и по появлению ультразвуковой тени. На этом принципе создана целая отрасль техники - ультразвуковая дефектоскопия. Применение ультразвука легло также в основу новой области акустики – акустоэлектроники, позволяющей на ее основе разрабатывать приборы для обработки сигнальной информации в микрорадиоэлектронике. Также на основе ультразвуковых волн разработан толщиномер ультразвуковой. Он относится к приборам неразрушающего контроля, которые производят все необходимые измерения без физического вмешательства в саму среду и средства её передачи. Ультразвуковые приборы относятся к акустическим методам неразрушающего контроля. Акустический метод неразрушающего контроля находит свое применение в различных областях: котлонадзор, системы газоснабжения, подъемные сооружения, объекты горнорудной промышленности, объекты угольной промышленности, нефтяная и газовая промышленность, металлургическая промышленность, оборудование взрывопожароопасных и химически опасных производств, объекты железнодорожного транспорта, объекты хранения и переработки зерна. Мировой опыт показывает, что использование средств ультразвукового неразрушающего контроля в машиностроении, металлургии, энергетике, строительстве, транспортной промышленности способствует улучшению качества продукции, обеспечению безаварийной эксплуатации энергетических установок и транспортных средств, повышению производительности труда, снижению материалоемкости конструкций и сооружений, улучшению качества выпускаемой продукции, экономии сырьевых и трудовых ресурсов.

Ультразвук применяют для воздействия на различные процессы и биологические объекты, для изучения физических свойств веществ. Ультразвук используется также для механической обработки очень твердых и очень хрупких тел, в медицине и т.д.

4 Ограничения ультразвукового метода измерения толщины

Погрешность ультразвукового метода измерения толщины зависит от целого ряда влияющих факторов, накладываемых следующими ограничениями:

- вариацией скорости распространения ультразвуковых колебаний (УЗК);
- состоянием и геометрическими характеристиками изделия;
- качеством акустического контакта при использовании ПЭП;
- магнитными свойствами и электропроводностью материала изделия при использовании электромагнитно-акустических (ЭМА) преобразователей;
- температурой окружающей среды и др.

Исследование влияния различных факторов на погрешность измерения толщины металлоконструкций с применением ультразвуковых методов, показали, что основным фактором при использовании ПЭП, определяющим погрешность измерения толщины в зависимости от свойств материала, является вариация скорости распространения УЗ колебаний в направлении прозвучивания. При этом, поскольку калибровка ультразвуковых толщиномеров осуществляется по специальным калибровочным или эталонным образцам, возникающая относительная погрешность измерений равна относительным отклонениям действительного значения скорости УЗК в изделии от значения скорости, принятого при калибровке. Для исключения влияния разброса скорости УЗК при изготовлении стандартных образцов, как правило, в качестве исходной используется заготовка, из которой изготавливаются все образцы для данного аттестуемого комплекта. Однако, при применении указанных образцов для калибровки толщиномера перед контролем конструкций, изготовленных из проката, автоматически вносится погрешность, связанная с отличием условий распространения УЗК в направлении проката при прозвучивании образца и поперек проката при прозвучивании реального изделия. Поэтому при повышении требований к точности измерения толщины, возникает необходимость точного измерения скорости распространения УЗК в заданном направлении прозвучивания контролируемого материала, изготовления и аттестации соответствующих образцов для калибровки толщиномеров.

В связи с тем, что в зависимости от акустических и геометрических характеристик контролируемых изделий (толщины стенки, кривизны, шероховатости и непараллельности поверхностей и затухания УЗК в материале), амплитуда и форма многократных эхо-сигналов существенно изменяются, при проведении измерений возникает опасность внесения ошибок, связанных с флуктуацией амплитуды и потерей полуволны эхо-сигналов из-за влияния внешних факторов. Нестабильность качества акустического контакта, ухудшение которого приводит к уменьшению амплитуды эхо-сигналов и увеличению уровня помех, связана как с субъективными факторами, так и с физическими свойствами контактной среды (жидкости или смазки).

Дополнительную погрешность, связанную с искажением формы и флуктуациями амплитуды сигнала, вносит механический износ, повреждения в виде царапин, выбоин и сколов рабочей поверхности ПЭП, находящейся в контакте с поверхностью контролируемого изделия, и разрушения акустического экрана в связи с чем уменьшается отношение сигнал/помеха. В процессе эксплуатации толщиномеров при отклонении температуры контролируемых изделий и призм ПЭП от принятой при юстировке отсчетного устройства вносится дополнительная погрешность, обусловленная физическими характеристиками материала изделия и призм. Наконец, существенную роль играют погрешности, связанные с влиянием таких характеристик изделия, как кривизна, шероховатость и непараллельность поверхностей изделия.

5 Принцип действия толщиномера ультразвукового

Наиболее активно ультразвуковые толщиномеры используются для массового производственного контроля толщины различных марок алюминиевого проката в авиакосмической промышленности, предъявляющей к используемым методам и приборам измерения толщины весьма жесткие требования. Контролю подлежит листовой прокат, изделия цилиндрической и сферической формы в состоянии после прокатки или химфрезерования, при этом диапазон измеряемых толщин составляет 1 - 25 мм, минимальный радиус кривизны цилиндрических и сферических изделий ~ 1 м. При разбросе скоростей распространения ультразвуковых колебаний в пределах от 2500 до 6500 м/с допустимая погрешность измерения толщины не должна превышать 0,01 мм.

Основным отличием тощиномера ультразвукового является то, что при его использовании не требуется создания акустического контакта, так как УЗК возникают непосредственно в поверхностном слое контролируемого металла (рисунок 1). Толщиномер обеспечивает измерение толщины изделий из сплавов алюминия в диапазоне от 0,5 до 100 мм эхо-методом с применением электромагнитного возбуждения и приема УЗ колебаний. Наиболее эффективно в алюминиевых сплавах возбуждаются сдвиговые горизонтально-поляризованные волны (смещение частиц параллельно поверхности изделия), скорость распространения которых почти в 2 раза меньше скорости распространения продольной волны, что обеспечивает возможность измерения существенно меньших толщин проката из алюминиевых сплавов.

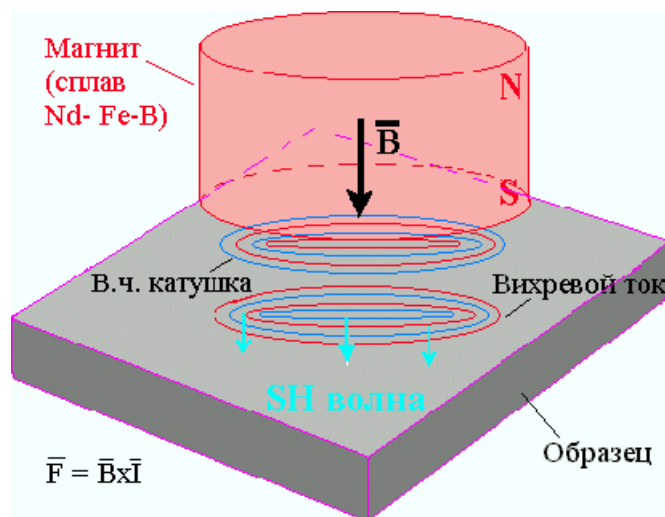


Рисунок 1 - Способ электромагнитного возбуждения и приема сдвиговых горизонтально-поляризованных (SH) волн

Высокий в сравнении с другими металлами коэффициент двойного преобразования в алюминиевых сплавах в сочетании с использованием энергонезависимых постоянных магнитов на основе сплава "Неодим-железо-бор" (Nd-Fe-B) обеспечили возможность создания портативного толщиномера с малогабаритными преобразователями совмещенного типа, обеспечивающими

возбуждение и прием сдвиговых горизонтально-поляризованных волн в диапазоне рабочих частот от 2,5 до 5 МГц.

Другим принципиальным достоинством толщиномера ультразвукового является применение корреляционной обработки сигналов, что позволяет практически исключить влияние изменения формы и амплитуды эхо-сигналов на погрешность измерений.

Толщиномер с помощью преобразователя периодически возбуждает в контролируемом объекте короткие импульсы УЗК. С помощью этого же преобразователя импульсы многократно-отраженных ультразвуковых колебаний преобразуются в электрические сигналы, усиливаются и поступают в электронный блок толщиномера.

Применение преобразователя позволило реализовать еще одно принципиальное отличие толщиномера ультразвукового - непрерывное сканирование контролируемого изделия в процессе измерения толщины. В связи с этим алгоритмом обработки информации предусмотрен режим поиска и индикации минимальной толщины контролируемого изделия или отдельного участка. Одновременно с отображением измеренной толщины обеспечивается индикация установленной скорости распространения УЗ колебаний.

6 Устройство и возможности толщиномера ультразвукового

Рассмотрим устройство и возможности толщиномера ультразвукового на примере толщиномера А1270 (рисунок 2), который состоит из электронного блока, в состав которого входят микроконтроллер (МК), блок цифровой обработки сигналов, усилитель, амплитудно-цифровой преобразователь (АЦП), графический дисплей, клавиатура, USB-контроллер и источник питания, а также преобразователь с встроенным блоком генератора импульсов возбуждения и предварительным усилителем.

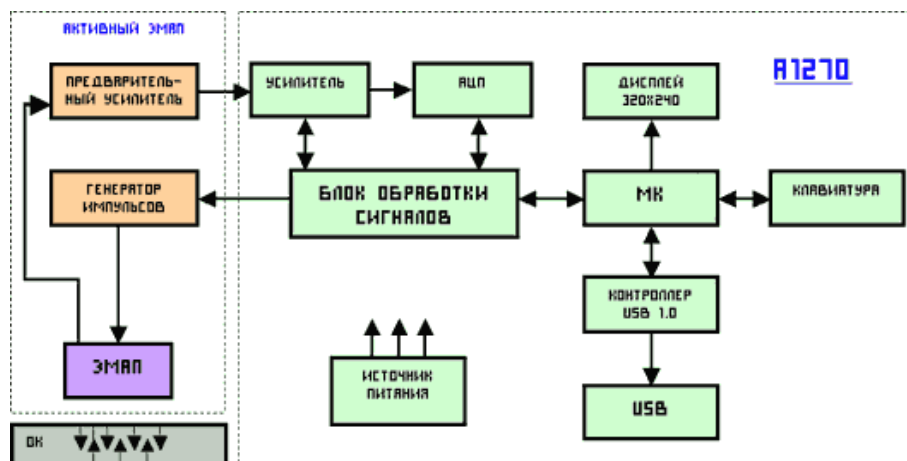


Рисунок 2 - Функциональная схема толщиномера ультразвукового А1270

После усиления и амплитудно-цифрового преобразования сигналов, их корреляционной обработки и выполнения вычислительных операций информация об измеренной толщине объекта контроля (ОК) сохраняется в памяти толщиномера, выводится на экран дисплея и в необходимых случаях с помощью USB интерфейса передается в ПК для более детального исследования или постоянного хранения. Толщиномер А1270 может работать в двух режимах измерения: основной режим измерения толщины (по умолчанию) и режим поиска и индикации минимальной толщины. Если в основном режиме измерения не произошло (не подключен или не установлен на изделие преобразователь, объект неконтролепригоден - отсутствуют информативные сигналы), на дисплее отображается только служебная информация. Если произошло измерение, на дисплее крупными цифрами отображается измеренная толщина в мм и выдается звуковой сигнал, подтверждающий факт измерения.

В случае необходимости более тщательных исследований состояния металла объекта контроля (дефекты, коррозия и т.д.) включается режим А-развертки, обеспечивающий возможность оценки состояния металла контролируемого объекта по амплитуде и форме эхо-сигналов, а также по характеру ослабления многократных эхо-сигналов.

Наличие графического дисплея позволяет использовать толщиномер в режиме дефектоскопии металла заготовок и изделий с целью обнаружения дефектов типа расслоений, неметаллических включений, эрозионных и коррозионных повреждений.

К дополнительным возможностям при использовании прибора в качестве дефектоскопа узлов летательных аппаратов можно отнести контроль сотовых конструкций с обшивками из алюминиевых сплавов и контроль клееных конструкций из алюминиевых сплавов, обнаружение и оконтуривание зон коррозионного повреждения обшивки из алюминиевых сплавов самолетов различных модификаций.

Результаты измерения отображаются на дисплее в мм с дискретностью 0,01 мм в диапазоне толщин от 0,5 до 25 мм и 0,1 мм при измерении толщин более 25 мм. В качестве дисплея в приборе используется графический жидкокристаллический модуль с подсветкой при работе в условиях низкой освещенности. Толщиномер обеспечивает запись и сохранение в памяти более 2000 значений толщины, значение установленной или измеряемой скорости УЗК индицируется непрерывно.

В режиме поиска минимального значения толщины в заданной области контроля изделия после завершения цикла измерений на дисплее отображается минимальное значение толщины за весь цикл. Переключение режимов работы производится с помощью меню управления с клавиатуры.

7 Методика измерений с использованием толщиномера ультразвукового

При производственном контроле толщины проката в условиях машиностроительных предприятий, когда ставится задача контроля толщины с погрешностью не хуже 0,01 мм, необходимо перед началом контроля выполнить юстировку толщиномера на образцах металла контролируемой партии проката. Для этого вырезают образец-свидетель небольших размеров (порядка 100x100 мм), измеряют его толщину, например, микрометром с цифровой индикацией (рисунок 3) и устанавливают на дисплее толщиномера значение измеренной толщины. При этом автоматически в соответствующей строке индикатора дисплея отобразится значение скорости распространения сдвиговой волны. Возможно измерение с помощью микрометра непосредственно толщины кромки листа из подлежащей контролю партии проката.

Далее выполняют операцию адаптации толщиномера к объекту контроля, для чего полученное значение скорости УЗК с помощью режима "Настройка" вводят в толщиномер.

Устанавливая преобразователь на поверхность металла проката и, перемещая его по заданной траектории, проводят контроль, в процессе которого на экране дисплея высвечивается значение измеренной толщины. При необходимости определения минимальной толщины в пределах проконтролированного участка используется режим поиска и индикации минимальной толщины, в этом случае по окончании цикла измерения на экране дисплея высвечивается значение минимальной толщины.



Рисунок 3 – Микрометр с цифровой индикацией

Каждый цикл измерения толщины завершается, при необходимости, сохранением результатов в памяти прибора, которые по окончании контроля через USB интерфейс передаются в базовый персональный компьютер для обобщения результатов контроля.

8 Подготовка к измерениям

Чтобы наглядно продемонстрировать применение толщиномера, используем толщиномер А1208, который отличается от широко распространенных УЗ толщиномеров тем, что в нем основным УЗ преобразователем является совмещенный преобразователь S3567 с рабочей частотой 2,5 МГц. С этим преобразователем можно вести измерения толщины самых разных изделий, как с гладкими, так и шероховатыми, корродированными и криволинейными поверхностями большинства металлических изделий.

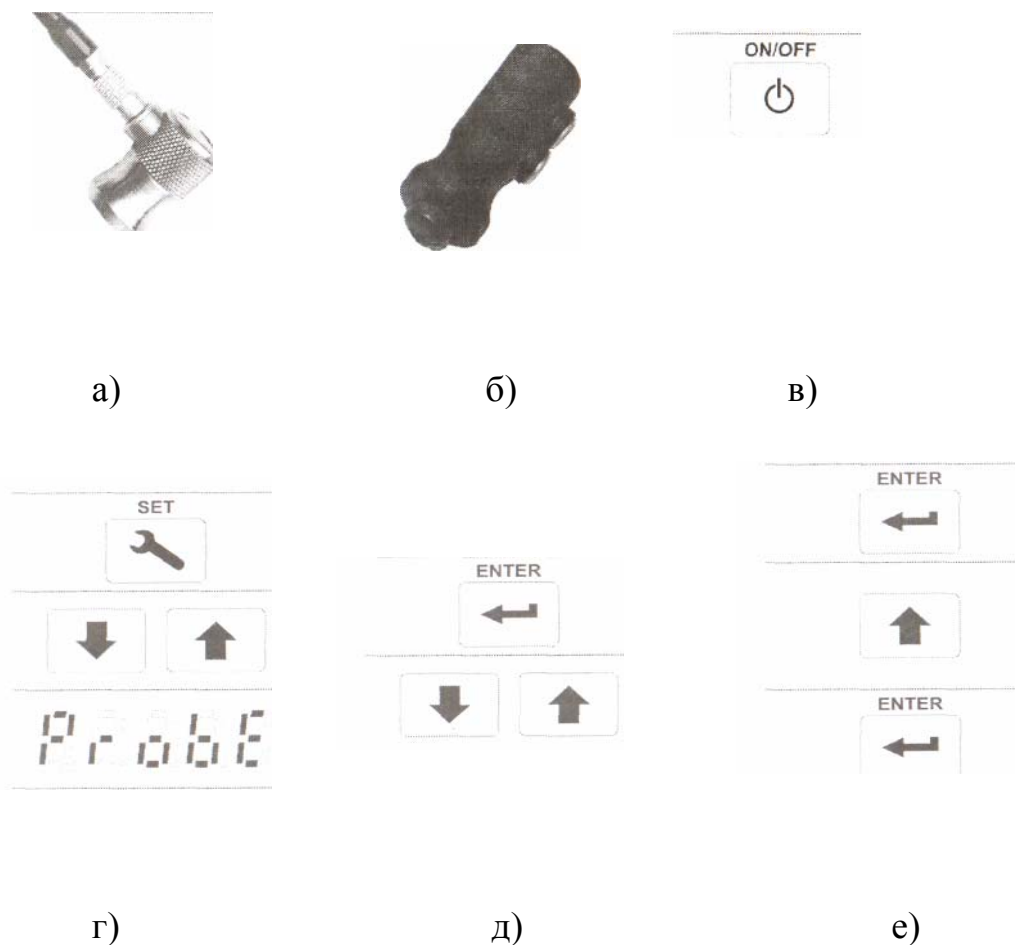


Рисунок 4 – Подготовка толщиномера к измерениям

Подготовка прибора включает в себя следующее:

а) S3567 за счет керамического протектора очень слабо подвержен износу. Благодаря своим высоким электроакустическим свойствам он так же хорошо подходит для измерения толщины пластмассовых изделий;

б) РС преобразователь D2763 с рабочей частотой 10 МГц рекомендуется использовать для поиска мест язвенной коррозии, а также для контроля тонкостенных труб малого диаметра.

Прибор должен быть настроен на работу с соответствующим типом преобразователя. Это делается однократно при первом включении или смене преобразователя.

в) после включения прибора клавишей «ON/OFF»;

г) следует перейти в режим нажав на клавишу «SET».

С помощью клавиш «↑» и «↓» установить на индикаторе: «Probe». Это пункт меню, позволяющий выбрать нужное имя преобразователя;

д) для выбора типа следует нажать клавишу «ENTER». На индикаторе отобразится мигающее имя преобразователя.

Далее следует нажимать клавиши «↑» или «↓» до появления на индикаторе нужного имени;

е) для записи изменений следует нажать клавишу «ENTER».

Если ранее не была проведена процедура адаптации к выбранному преобразователю, то следует выбрать с помощью клавиши «↓» строку «AdaPt». Далее нажать клавишу «ENTER».

В начале эксплуатации толщиномера или при замене одного УЗ преобразователя на другой, необходимо провести адаптацию прибора к индивидуальным параметрам используемого УЗ преобразователя. Без этого прибор может работать неправильно или с повышенной погрешностью. Адаптация проводится в два этапа. На первом этапе прибор автоматически анализирует характеристики УЗ преобразователя без установки на образец, а на втором этапе адаптируется на контрольном образце толщины, встроенном в прибор (Рисунок 5).

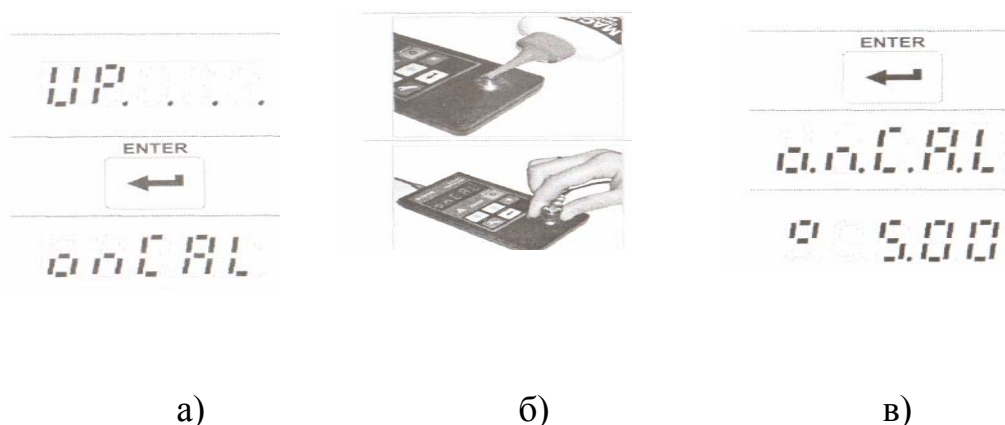


Рисунок 5 – Адаптация прибора при замене преобразователя

Перед выполнением адаптации нужно подключить к прибору УЗ преобразователь, соблюдая маркировку кабелей в случае использования РС преобразователей. После включения перейдите нажатием на клавишу «SET» в режим настройки. Затем выберите имя преобразователя. Нажмите клавишу «ENTER». Если ранее не была проведена адаптация прибора к преобразователю, то следует нажатием на клавишу «↑» перейти к режиму адаптации.

На экране появится надпись «UP...». Удалите с преобразователя контактную смазку и, не приводя его в контакт с контрольным образцом или изделием, нажмите клавишу «ENTER». Прозвучат короткие звуковые сигналы. На экране появится надпись «on CAL». Нанесите на контрольный образец прибора 1 - 2 капли контактной жидкости (например, машинного масла).

Установите УЗ преобразователь на образец. Удерживая преобразователь на контрольном образце, нажмите клавишу «ENTER».

Прозвучат несколько коротких сигналов, сопровождающихся загоранием точек на индикаторе.

Затем на индикаторе появится толщина калибровочного образца, означающая окончание процесса адаптации. Снимите преобразователь с контрольного образца.

Адаптацию можно не проводить, когда УЗ преобразователь уже использовался при измерениях и его имя выбрано и зафиксировано в памяти прибора.

ВНИМАНИЕ! Если после выполнения адаптации Вы снова установите преобразователь на контрольный образец для проверки работоспособности прибора, то на индикаторе появится результат измерения толщины контрольного образца. Однако этот результат может не совпадать с физической толщиной образца (от 4,80 до 5,20 мм) из-за несовпадения скорости ультразвука в контрольном образце (6180м/с) со значением скорости, на которую настроен в данный момент прибор. Это несовпадение скоростей никак не влияет на адаптацию прибора к УЗ преобразователю, так как настроенное в приборе значение скорости не используется при адаптации. Настройку же прибора на скорость ультразвука в материале измеряемого изделия (или просто настройку на материал) выполняют обычно перед измерениями толщины (см. ниже), и настроенное значение скорости сохраняется в приборе до следующей настройки на другой материал.

Непосредственно перед измерениями установите нужный Вам вид отображения результатов (текущего значения или наименьшего) и единиц измерения. Если Вам не нужна звуковая индикация, то ее можно отключить.

Подготовка поверхности объекта:

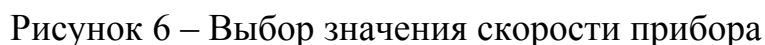
Неплотная и отстающая окалина, ржавчина или загрязнения поверхности измеряемого изделия влияют на проникновение ультразвука в его материал. Поэтому, прежде чем проводить измерения на такой поверхности, необходимо ее зачистить от наслоений, протереть поверхность и удалить абразивные частицы, после чего нанести на поверхность контактную жидкость.

Зачистка грубых корродированных поверхностей изделий кроме повышения достоверности измерений позволяет продлить срок службы УЗ преобразователей. Особенно это важно для РС преобразователей. Между рабочей поверхностью преобразователя и поверхностью изделия не должно быть частиц металла, ржавчины и тем более песка. Эти инородные твердые частицы хорошо удерживаются смазкой в области контакта преобразователя с изделием и не только ухудшают акустический контакт, что может привести к ложным показаниям, но и могут разрушить акустический экран РС преобразователя. Поэтому перед нанесением на изделие контактной жидкости место контроля нужно хорошо протереть.

Перед измерением толщины какого-либо изделия нужно настроить прибор на скорость распространения продольных ультразвуковых волн в данном

От точности настройки напрямую зависит точность измерений. Если допустимы оценочные измерения, то можно воспользоваться таблицей, приведенной в приложении к руководству и установить указанное в ней значение.

Выбор значения скорости:



Повторные нажатия этих клавиш позволяют переключать все предустановленные значения скоростей. Выбрав нужное значение, можно сразу переходить к измерениям. Если же никаких больше действий с прибором не производить, то значение скорости будет индицироваться в течение 20 — 30 с и сменится штрихами.

- 5950 м/с (низколегированная сталь);
- 6300 м/с (алюминиевый сплав Д16);
- 5400 м/с (нержавеющая сталь);
- 6060 м/с (сталь 40Х13).

Сущность настройки прибора по образцу заключается в подборе такой скорости ультразвука, чтобы прибор правильно показывал толщину образца.



а)



б)

Рисунок 7 – Окончательная настройка скорости

Выберите какое-либо значение скорости, которым Вы редко пользуетесь или не пользуетесь вообще. К примеру, выбрали 5400 м/с. Нажмите клавишу «ENTER». Выбранное значение скорости начнет мигать.

К примеру, необходимо провести контроль изделия из стали неизвестной марки. Измерьте толщину образца как можно точнее, лучше всего микрометром. К примеру, толщина образца материала изделия составила 8,00 мм. Нанесите на него контактную смазку в том месте, где была измерена его толщина. Установите УЗ преобразователь на образец. Мигающее значение скорости сменится на результат измерения толщины образца, который также мигает.

Если этот результат отличается от действительной толщины образца, например, больше его, то, не отрывая УЗ преобразователь от поверхности образца, нажмите и удерживайте клавишу «↓» до тех пор, пока показания не станут равны действительной толщине образца.

Точную подгонку показаний прибора под действительное значение толщины можно затем сделать обоими клавишами «↑» или «↓».

После того, как показания прибора станут точно равны толщине образца, снимите с него УЗ преобразователь. Прибор начнет индицировать практически полученную скорость ультразвука (в мигающем режиме). Остается только записать это значение в память прибора. Для этого нажмите клавишу «ENTER». Для быстрого возврата в режим измерений нажмите «SET». Настройка закончена и можно переходить к измерениям толщины изделий.

8.1 Методика измерений для толщномера ультразвукового А 1208

В самых общих чертах методика проведения измерений преобразователями типа S (совмещенными) и типа D (РС преобразователями) почти одна и та же. В обоих случаях место установки преобразователя по возможности должно быть чистым, смазанным жидкостью и не иметь грубых выступов или впадин, мешающих установке преобразователя. Впадина, на дно которой нельзя установить преобразователь, является местом, где результат измерения получить не удастся.

Однако если преобразователь типа D для наилучшего результата следует

хорошо прижать (даже притереть) к поверхности измеряемого изделия, то для преобразователя типа S это не обязательно, а при очень гладких поверхностях тонких плоских изделий даже нежелательно. Методика измерения толщины при использовании совмещенного преобразователя имеет некоторые особенности.

При касании УЗ преобразователем поверхности измеряемого изделия уже, как правило, через доли секунды устанавливается уверенный акустический контакт преобразователя с изделием и в левом верхнем углу индикатора вспыхивает красный квадрат - символ наличия акустического контакта. Вслед за этим появляются показания, которые только на трубах малых диаметров незначительно меняются при покачивании преобразователя, а на плоских изделиях стабильны. Считывать показания нужно только при наличии символа контакта, если преобразователь стоит на изделии, или после снятия преобразователя с изделия те показания, которые еще сохраняются на индикаторе. Если поставить преобразователь на поверхность изделия до того, как погасли показания от предыдущего измерения, то без появления символа акустического контакта считывать показания нельзя, так как это результат предыдущего измерения. Показания обновляются только при появлении символа контакта.

При измерениях плоских металлических изделий с толщиной менее 4-5 мм не нужно добиваться минимальной толщины слоя контактной жидкости, то есть не следует сильно прижимать преобразователь к поверхности, притирая его к ней. Достаточно небольшого прижима, чтобы толщиномер уже начал индцировать результат измерения. Показания с этого момента практически не меняются.

При толщине плоских изделий более 10 мм рекомендуется обеспечивать прижим преобразователя к поверхности.

Измерения стенок труб особенно просты, так как не надо определенно ориентировать преобразователь относительно образующей трубы. Не обязательно также покачивать преобразователь на трубе, ища минимальное измеренное значение. Достаточно поставить преобразователь приблизительно серединой рабочей поверхности на образующую трубы. Смазку желательно выбрать густую, например вазелин или литол.

При измерениях толщины изделий с двояковыпуклой поверхностью следует обеспечивать точку контакта изделия с центром рабочей поверхности преобразователя.

На изделиях с грубой или шероховатой поверхностью совмещенный преобразователь имеет преимущества по сравнению с РС преобразователем. Совмещенный преобразователь допускает сканирование по поверхности даже при грубых поверхностях и при наличии остатков абразивных частиц. Это может понадобиться при поиске мест утонений. При подобном режиме рекомендуется использовать более текучие контактные жидкости (например, минеральное моторное масло).

Во всех случаях после появления на индикаторе показаний нужно подождать 1-2 с для оценки их стабильности.

Измерения плоских изделий требуют лишь аккуратного прижима УЗ

преобразователя к поверхности изделия и выдержки 1-2 с для выжимания излишков смазки из-под преобразователя. За это время показания устанавливаются и уже не меняются. Далее преобразователь можно снять с изделия и считать результат с экрана. Иногда в момент отрыва преобразователя от изделия показания прибора меняются. Это происходит из-за совпадения момента отрыва с посылкой зондирующего импульса в изделие. В этом случае нужно провести измерение еще раз. Устанавливать УЗ преобразователь на изделие для повторного измерения можно, не дожидаясь пропадания предыдущего результата, так как с появлением акустического контакта и высвечиванием на индикаторе символа контакта показания толщиномера меняются на новые.

Если поверхность покрыта окалиной, то желательно соскоблить рыхлую ржавчину и нанести больше смазки, чем при гладкой поверхности. При отсутствии индикации акустического контакта результат измерений не появится на индикаторе, поэтому нужно провести контроль еще раз, зачистив место контакта от коррозии более тщательно. Такая зачистка грубых корродированных поверхностей изделий кроме повышения достоверности измерений позволит Вам также продлить срок службы УЗ преобразователя.

Контроль цилиндрических изделий преобразователем типа D имеет определенные особенности. При измерении толщины стенок труб, особенно малых диаметров, желательно использовать более вязкие жидкости, чем трансформаторное масло или вода, и обильнее смазывать ими место контакта. Экран, разделяющий призмы РС преобразователя (его торец в виде светлой полосы расположен по диаметру рабочей поверхности), следует ориентировать поперек оси трубы. Прижимая преобразователь к стенке трубы и следя за показаниями прибора, нужно медленно наклонять преобразователь в плоскости перпендикулярной оси трубы в ту и другую стороны. Преобразователь при этом нужно прокатывать по стенке трубы, а не скользить по ней. Показания прибора при отклонении преобразователя от среднего положения несколько увеличиваются. Они обычно минимальны в положении, когда преобразователь касается стенки трубы серединой своей рабочей поверхности, то есть, когда продольная ось преобразователя пересекает ось трубы. При сильном отклонении преобразователя от этого положения показания будут скачкообразно увеличиваться. За истинное значение измеренной толщины следует выбирать минимально возможные устойчивые показания прибора при касании УЗ преобразователя стенки трубы серединой рабочей поверхности.

При этих измерениях полезно перейти к отображению результата в виде наименьшей толщины (см. пункт «режим «сканирования»).

Изделия с двойной выпуклой кривизной (изгибы труб, сферические оболочки и т.п.) - наиболее трудные для контроля объекты, так как контакт здесь возможен только в одной точке. Благодаря контактной смазке эта точка превращается в небольшую область, которая должна обязательно включать части приемной и излучающей призм РС преобразователя. Поэтому преобразователь нужно устанавливать на изделие так, чтобы он касался его серединой своей рабочей поверхности. Смазку при этом лучше применять вязкую.

Проверка работоспособности прибора в процессе контроля может потребоваться, например, в случае получения сомнительных показаний при измерении какого-нибудь изделия. Для этого можно воспользоваться встроенным в прибор контрольным образцом. Его толщина может варьироваться в пределах от 4,80 до 5,20 мм, скорость ультразвука в нем 6180 м/с. Установите в приборе скорость 6180 м/с, смажьте образец контактной жидкостью и установите ультразвуковой преобразователь на образец. Прибор должен показывать толщину в указанном диапазоне.

9 Технические характеристики

Таблица 1 – Технические характеристики толщиномера ультразвукового

Тип	Номинальная рабочая частота УЗ колебаний, МГц	Диаметр рабочей поверхности ПЭП, мм	Диапазон измерений (по стали), мм	Min радиус кривизны поверхности изделия, мм
Совмещенный	2,5	10	0,7-300	15
Раздельно-совмещенный	10	6	0,7-30	5

Основная погрешность измерений с любым из указанных УЗ преобразователей не превышает следующих значений:

- в диапазоне от 0,70 до 1,50 мм $\pm 0,10$ мм;
- в диапазоне от 1,51 до 9,99 мм $\pm 0,05$ мм;
- в диапазоне от 10,0 до 50,0 мм $\pm 0,1$ мм;
- в диапазоне от 50,0 до 300,0 мм $\pm 0,2$ мм.

Дискретность индикации результатов измерений:

- при толщинах до 9,99 мм 0,01 мм;
- при толщинах более 10,0 мм 0,1 мм.

Погрешность измерений изделия с шероховатостью поверхности Rz 160 и Rz 40 не превышает удвоенной основной погрешности.

Погрешность измерений изделия с минимальным радиусом кривизны не превышает удвоенной основной погрешности.

Электрическое питание толщиномера:

- 2 аккумулятора AA MiMH 1,2 А·ч;
- или 2 элемента AA Alkaline 2,6 А·ч.

Время непрерывной работы:

- от аккумуляторов не менее 20 ч;
- от элементов Alkaline не менее 35 ч.

При температуре окружающей среды минус 30 °С время непрерывной работы не менее половины от указанных значений.

Рабочий диапазон температур от -30 °С до +55 °С.

Масса электронного блока не более 170 г.

Габаритные размеры электронного блока -120 x 65 x 25 мм.

Предприятие изготовитель выполняет бесплатный ремонт прибора в течение гарантийного срока эксплуатации. Гарантийный срок работы прибора - 2 года с момента продажи прибора. Гарантия распространяется на электронный блок прибора. Гарантийные обязательства теряют силу, если пользователь

самостоятельно пытался ремонтировать электронные узлы прибора или если прибор подвергся сильным механическим воздействиям, в результате которых стал неремонтопригодным.

Гарантийные сроки и обязательства применительно к преобразователям, поставляемым совместно с прибором, устанавливаются отдельно и описываются в паспортах на преобразователи.

Ультразвуковой толщиномер должен проходить периодическую поверку согласно по ГОСТ 8.495-83 «Толщиномеры ультразвуковые контактные. Методы и средства поверки». Поверка прибора производится либо фирмой-изготовителем прибора, либо организациями, имеющими законное право на соответствующую деятельность. Периодичность поверки - 1 год.

По всем вопросам ремонта прибора, замены его основных составных частей, а также поставки дополнительных аксессуаров к прибору обращайтесь на предприятие-изготовитель.

10 Методика поверки толщиномера ультразвукового

10.1 Методика поверки устанавливает средства и методы первичной и периодической поверок толщиномера ультразвукового.

Первичная поверка проводится на предприятии – изготовителе перед началом эксплуатации толщиномера, а также после ремонта.

Периодичность поверки – один раз в год.

10.2 Операции поверки.

10.3 Условия проведения поверки и подготовки к поверке

Поверка должна проводиться при следующих условиях:

- температура окружающей среды $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$;
- относительная влажность воздуха $30 \div 80 \%$;
- атмосферное давление $84 \div 106$ кПа.

Рабочие поверхности эталонных мер должны быть чистыми и обезжиренными по ТУ ОП 64-11-120-88.

10.4 Проведение поверки.

Внешний осмотр.

При внешнем осмотре должно быть установлено соответствие заводского номера толщиномера записи в паспорте, проверена комплектность. На толщиномере не должно быть механических повреждений.

В случае обнаружения каких-либо несоответствий данным требованиям поверка должна быть прекращена и продолжена только после их устранения.

Опробирование толщиномера.

Опробование толщиномера включает проверку функционирования клавиатуры управления, световой и цифровой индикации, проведение измерений в различных режимах. Измерения следует проводить в соответствии с п. 8.

Определение абсолютной погрешности толщиномера.

10.5 Оформление результатов поверки.

При положительных результатах выдается «Свидетельство о поверке» установленной формы.

При отрицательных результатах выдается «Извещение о непригодности» установленной формы.

11 Варианты для выполнения лабораторной работы

Варианты для выполнения лабораторной работы представлены в таблице.

Таблица 2 - Варианты для выполнения лабораторной работы

Сп. № Гр. СС-1,2	Диап. $\pm 0,01$ (мм)	Сп. № Гр. СС-1,2	Диап. $\pm 0,1$ (мм)
1	0,5	12	25,2
2	1,2	13	25,9
3	2,1	14	25,1
4	1,4	15	29,4
5	17,5	16	31,2
6	2,4	17	35,3
7	1,9	18	25,0
8	5,2	19	28,4
9	10,5	20	30,3
10	16,7	21	35,5
11	11,7	22	27,9

Список использованных источников

1. Руководство по эксплуатации «Толщиномер ультразвуковой А 1208», М, 2005.-45 с.
2. Савельев И.В. Курс общей физики И.В. Савельев. - изд. четвертое. - М.: Высшая школа, 2002. - 256 с.
3. Никитин, В. А. Методы и средства измерений, испытаний и контроля : учебное пособие / В. А. Никитин, С. В. Бойко. – 2-е изд. перераб. и доп. – Оренбург : ИПК ГОУ ОГУ, 2007. – 462 с.
4. ГОСТ 8.495-83 «Толщиномеры ультразвуковые контактные. Методы и средства поверки»-М: ИПК издательство стандартов, 2005-45 с.
5. ГОСТ 8.563-96 «Методика выполнения измерений»-М.: Госстандарт, 1997.
6. ГОСТ 18353-79 «Контроль неразрушающий» - М.: Госстандарт, 1979.

Приложение А (обязательное)

Пример отчета по лабораторной работе «МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ТОЛЩИНЫ МЕТАЛЛОВ»

Цель работы: измерить толщину стенки трубы. Найти СКО и доверительную границу НСП. НТД ($17,50 \pm 0,01$) мм.

Для того, чтобы провести измерения возьмем отрезок трубы длиной один метр. Измерение проводим при помощи толщиномера ультразвукового А 1208. Чтобы узнать, равномерна ли толщина стенки трубы на протяжении всей ее длины, необходимо провести не менее трех измерений в точке на одном конце трубы, на другом конце трубы и по середине трубы, чтобы можно было получить средние значения. Измерения проведем на одной стороне трубы, которая, по требованию заказчика, нас больше интересует. В результате получим девять измерений, которые будут занесены в таблицу измерений А.1. На основе полученных данных можно вычислить СКО и доверительную границу НСП.

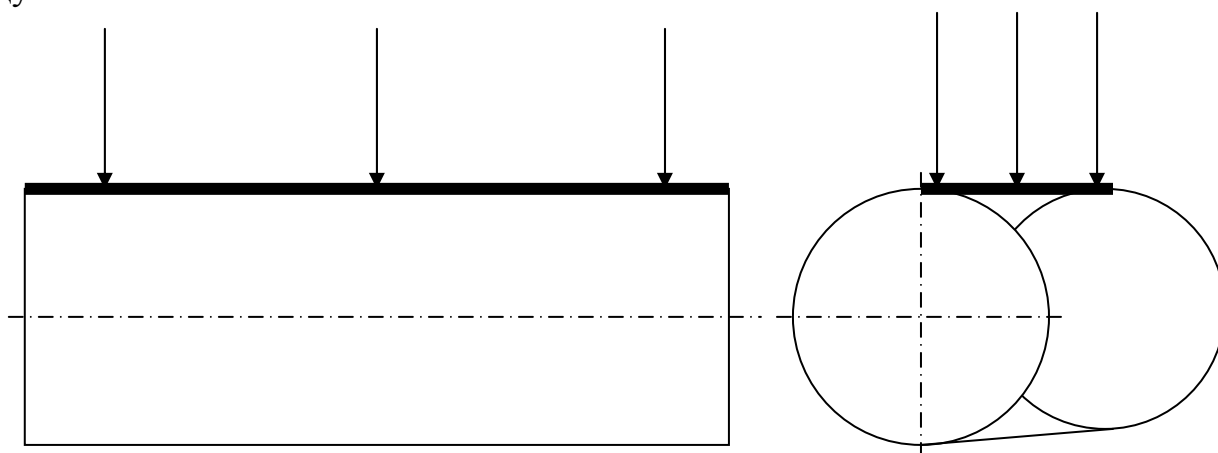


Рисунок А.1 – Измерительная труба

Результаты наблюдений вносим в таблицу А.1.

Таблица А.1 - Карта измерительных наблюдений (мм)

Наблюдение	Показания прибора	Наблюдение	Показания прибора
1	17,51	6	17,49
2	17,49	7	17,50
3	17,50	8	17,50
4	17,50	9	17,51
5	17,51		

x

$$x_{\min} = 17,49 \text{ мм}$$

$$x_{\max} = 17,51 \text{ мм}$$

$$x_i = 17,50 \text{ мм}$$

Вычисляем среднее арифметическое значение:

$$\bar{x} = \frac{17,49 + 17,51 + \dots + 17,50}{9} = 17,50 \text{ мм} \quad (\text{A.1})$$

Считаем СКО:

$$S(x) = \sqrt{\frac{(17,51 - 17,50)^2 + (17,49 - 17,50)^2 + \dots + (17,50 - 17,50)^2}{9 - 1}} = 0,008_{\text{мм}} \quad (\text{A.2})$$

Дисперсия будет равна

$$D = 0,000064 \text{ мм}$$

Вычисляем доверительную границу НСП, для чего необходимо подсчитать количество составляющих НСП:

1-я составляющая - $\Delta_{\text{СИ}} = 0,008 \text{ мм}$;

2-я составляющая - $\Delta_o = 5\%$ от $\Delta_{\text{СИ}}$, и тогда $\Delta_o = 0,05 \cdot 0,008 = 0,0004 \text{ мм}$;

3-я составляющая отсутствует, так как измерения производились в нормальных условиях;

$$\Theta = \pm \left| \sum_{i=1}^N \Theta_i \right| = \pm \left| \sum_{i=1}^2 0,008 + 0,0004 \right| = 0,0084 \text{ мм} \quad (\text{A.3})$$

Проверяем условие $\frac{\Theta(P)}{S(X)}$

$$\frac{0,0084}{0,008} = 1,05 \quad (\text{A.4})$$

Это не соответствует условию соотношения

$$\Theta(P)/S(x) > 8 \quad (\text{A.5})$$

$$1,05 < 8$$

Вычисляем доверительную границу погрешности результата измерений, которая для условий $\Theta(P)/S(x) > 8$ будет означать, что СКО оставляем, как результирующая погрешность, а НСП пренебрегаем. $\Theta(P) = 0,0084$.

Таким образом - $\Delta_p = 0,0084 \text{ мм}$;

Результат измерения записывается в следующем виде:

$$\bar{x} \pm \Delta_{\Sigma}(P) \quad (\text{A.6})$$

В нашем случае результат измерения выглядит:

$(17,50 \pm 0,0084)$ мм.

Вывод по проведённой лабораторной работе. В ходе лабораторной работы мы ознакомились с прибором – толщиномер ультразвуковой. Изучили его устройство, принцип работы прибора. Также мы ознакомились с конструкцией и назначением прибора, а также приобрели навыки в проведении измерений и снятии показаний.

В результате проведения лабораторной работы мы измерили толщину стенки трубы, рассчитали СКО и определили, что труба годна.