

**КОРОТИН А. И., ЛАЗАРЕВ А. Л., СВЯТКИНА Г. Н.**  
**ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ**  
**ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СОЕДИНЕНИЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ**  
**В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

**Аннотация.** Изложены основные принципы методов контроля металлических конструкций ультразвуковыми методами. Приведены примеры современных аппаратов для осуществления контроля. Обозначены направления дальнейшего развития оборудования и методов ультразвукового контроля.

**Ключевые слова:** ультразвук, волна, методы контроля, ультразвуковой дефектоскоп.

**KOROTIN A. I., LAZAREV A. L., SVYATKINA G. N.**  
**APPLICATION OF ULTRASONIC TESTING METHODS FOR ASSESSING QUALITY**  
**OF METAL STRUCTURES UNDER MODERN CONDITIONS**

**Abstract.** The article deals with the basic principles of testing metal structures by ultrasonic methods. The authors present a review of relevant modern devices. The directions of further development of equipment and methods of ultrasonic testing are considered.

**Keywords:** ultrasound wave, control methods, ultrasonic flaw detector.

Применение ультразвука для выполнения работ по контролю материала в строительной отрасли стало активно развиваться с начала второй половины 20-го века. На тот момент техническая реализация методов ультразвукового контроля была обусловлена созданием первых серийных ламповых дефектоскопов и разработкой ультразвуковых преобразователей на основе пьезокерамических элементов. За достаточно большой период времени, прошедший сначала широкого внедрения методов ультразвукового контроля в строительстве и других областях промышленности накоплен богатый теоретический и практический объем знаний.

Широкое применение ультразвуковой контроль (УЗК) нашел в практике экспертизы изделий и конструкций, занимая главенствующее положение. На его долю приходится более 30% всего объема подобного контроля. На сегодняшний день, не смотря на высокий уровень автоматизации труда, доля ручного ультразвукового контроля остается значительной. Это связано с тем, что большие объемы работ проводятся на объектах, находящихся в эксплуатации: металлические конструкции зданий и сооружений различного назначения, мосты и теплотрассы из металлических и железобетонных конструкций, атомные и тепловые электростанции, магистральные газо- и нефтепроводы, трубопроводы различного назначения, транспортные средства и т.д. Характерной чертой указанных объектов является

большое разнообразие конструкций, конфигураций изделий, а, следовательно, методов и методик. Поэтому ультразвуковой контроль очень сложно поддается проведению универсальными автоматизированными способами.

Сегодня выделяют две группы методов акустического контроля: активные и пассивные. В основу активных положен процесс излучения с последующей регистрацией ультразвуковых волн в виде отраженных, прошедших или дифрагированных сигналов. При пассивных методах осуществляется только прием ультразвуковых волн, образующихся в объекте контроля.

Выделяют шесть методов, которые аккумулируют основные принципы ультразвукового контроля: теневой, эхо-метод, зеркальный эхо-метод, дельта-метод, сквозной эхо-метод и акустико-эмиссионный метод [1].

Ультразвуковой контроль, в зависимости от определенных условий состояний контролируемого объекта (характер, марка материала, толщина, геометрические особенности поверхностей контроля, минимально-выявляемые размеры дефектов и др.), зачастую предполагает использование специализированных средств контроля. Дефектоскопы, преобразователи и вспомогательные средства должны позволить реализовать одну из возможных методик и обладать набором необходимых функциональных устройств и программ.

Теневой метод основан на передаче в контролируемое изделие упругих колебаний и регистрации изменения их интенсивности после однократного прохождения через контролируемый объем. Пьезоэлектрический преобразователь (ПЭП), излучающий УЗ колебания, находится по одну сторону контролируемого объекта или его участка, приемный ПЭП находится с другой его стороны соосно с излучателем. Недостатками метода являются сложность ориентации пьезоэлектрического преобразователя относительно центральных лучей диаграммы направленности, невозможность точной оценки координат дефектов и более низкая чувствительность (менее 10...20 раз) по сравнению с другими методами УЗК. К преимуществам следует отнести высокую помехоустойчивость и отсутствие мертвой зоны поиска дефектов. С помощью данного метода достаточно уверенно обнаруживаются наклонные дефекты, не дающие прямого отражения при других методах контроля.

При использовании эхо-метода современный дефектоскоп работает, как правило, в импульсном режиме, поэтому данный метод часто называют эхо-импульсным. Современный эхо-метод УЗК основан на излучении в контролируемое изделие коротких импульсов упругих колебаний и регистрации интенсивности (амплитуды) и времени прихода эхо-сигналов, отраженных от дефектов отражателей.

Кроме преимущества одностороннего доступа, он также имеет наибольшую чувствительность к выявлению внутренних дефектов, высокую точность определения координат дефектов. К недостаткам метода следует отнести, прежде всего, низкую помехоустойчивость к наружным отражателям (усиление, провисание) и резкую зависимость амплитуды сигнала от ориентации дефекта.

Зеркальный эхо-метод использует сигналы, зеркально отраженные от поверхности изделия или дефекта. На практике существует несколько вариантов этого метода. Для выявления дефектов с вертикальной ориентацией целесообразно применять вариант, называемый способом тандем (рис.1).

Особенностью этого способа является постоянство суммы

$$x_1 + x_2 = 2Htg\alpha = const. \quad (1)$$

Для получения зеркального отражения от дефектов с ориентацией, отличающейся от вертикальной,  $x_1 + x_2$  варьируют. Для реализации способа тандем при проведении ультразвукового контроля сооружений из металлических конструкций излучатель и приемник размещаются как на одной поверхности изделия (приемник в точке В на рис. 1), так и на двух поверхностях (приемник показан пунктиром в точке Д). Такой вариант называется К-методом.

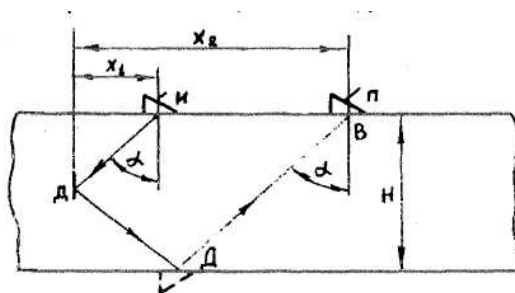


Рис. 1. Вариант зеркального эхо-метода – способ тандем.

При оценке формы дефектов необходимым условием является использование ПЭП одинаковой чувствительности. Метод нашел широкое применение при контроле толстостенных изделий, когда требуется высокая надежность обнаружения вертикально-ориентированных плоскостных дефектов.

Дельта-метод использует явление дифракции волн на дефекте (рис. 2). Признаком наличия дефекта является появление эхо-импульса в зоне контроля. К недостаткам метода следует отнести необходимость зачистки шва, сложность расшифровки принятых сигналов при контроле соединений толщиной менее 15 мм, трудности при настройке чувствительности и оценке размеров дефектов.

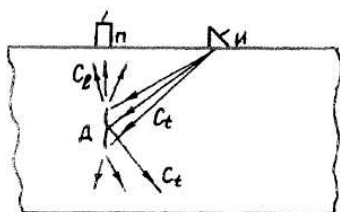


Рис. 2. Дельта-метод УЗ контроля.

Сквозной эхо-метод основан на анализе однократно и двукратно сквозных прошедших сигналов. Сущность метода представлена на схеме рис. 3. Здесь, в отличие от обычного эхо-метода, излучение и прием сигналов производится различными ПЭП, расположенными строго соосно с противоположных сторон изделия. Если на пути распространения ультразвуковых колебаний встретится дефект, то возникнут эхо-сигналы II и III. Последние достигнут приемника в интервале времени между приходом импульсов I и IV, последовательно отразившись от дефекта и от одной из поверхностей листа.

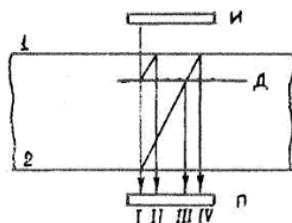


Рис. 3. Схема УЗ контроля сквозным эхо-методом.

Этот метод применяют для автоматического контроля изделий простой формы. По сравнению с теневым методом, эхо-сквозной метод обладает более высокой чувствительностью и меньшей величиной мертвой зоны по сравнению с эхо-методом. К недостаткам метода следует отнести малую точность оценки координат дефектов.

Акустико-эмиссионный метод основан на регистрации акустических волн, излучаемых дефектом при нахождении конструкций в напряженно-деформированном состоянии. Источниками волн могут быть процессы движения дислокаций, пластические деформации, фазовые превращения, возникновение и развитие усталостных трещин, горение сварочной дуги и др. Метод применяют для контроля сварных соединений высоконагруженных изделий и конструкций.

Для контроля металлических элементов методом акустической эмиссии обычно применяется многоканальная аппаратура. Каждый канал соединен со своим преобразователем, принимающим упругую волну из изделия по определенной системе. Метод акустической эмиссии позволяет не только обнаруживать опасные дефекты, но и прогнозировать работоспособность ответственных элементов конструкций (конструкции мостов, сосудов высокого давления, узлов атомных реакторов, деталей летательных аппаратов и т.д.).

Разнообразие методов и специфика формируют многообразие требований к аппаратуре для проведения контроля. Одним из основных недостатков ультразвукового контроля традиционным ручным методом является то, что после него не остается объективных документов (дефектограмм), по которым можно было бы контролировать работу самих операторов. Это обуславливает зависимость оценки качества шва от квалификации, психофизиологического состояния и условий работы оператора. Иными словами, можно констатировать, что достоверность ручного контроля почти целиком определяется персональной надежностью оператора. Поэтому очевидна необходимость автоматизации ультразвукового контроля.

Автоматизация ультразвукового контроля развивается по пути многофункциональности и роботизации операций сканирования и измерения. Быстродействующие средства контроля создаются на основе применения аналоговых и цифровых методов обработки многомерного сигнала, а также многоканальных акустических систем с одновременным или коммутируемым действием. В координатах амплитуда – частота – время строятся двух- и трехмерные изображения акустических полей, что дает возможность оценивать тонкую структуру отражающей поверхности.

Механизированное сканирование позволяет облегчить труд оператора, исключить ошибки, связанные с несоблюдением регламента сканирования при поиске дефектов, а в некоторых случаях даже повысить общую производительность контроля. Так же, необходимость выполнять работы на высоте и в стесненных условиях заставляют повышать мобильность аппаратуры. Так, например, дефектоскоп ISONIC utPod обладает очень высокой компактностью при соблюдении всех основных функциональных требований. Впервые оператор может держать прибор и сканировать одной рукой. Это обеспечивает повышенную надежность контроля и безопасность при работе в труднодоступных местах.

Топ-уровень ISONIC utPod обеспечивают: биполярный прямоугольный зондирующий импульс с регулируемой длительностью, амплитудой (до 300 В) и крутыми фронтами, значительно улучшающий проникновение ультразвука в различные материалы – крупно- и мелкозернистые, с большим и малым затуханием и т. д.; автоматическое измерение сигналов с учетом тригонометрических функций, толщины и кривизны объекта, оценка дефектов в соответствии с действующими стандартами. ISONIC utPod легко управляется посредством яркого сенсорного экрана высокой четкости через интуитивный пользовательский интерфейс. Благодаря широкой полосе пропускания и совершенному генератору зондирующих импульсов ISONIC utPod применим для множества задач, например, контроля сварки, поковок, литья, а также изделий из композитов, полиэтилена высокой плотности, пластиков и других материалов.

Новый универсальный ультразвуковой дефектоскоп USD-60 позволяет воспользоваться всем богатством возможностей современной цифровой техники: выводить сигнал в виде А, В, С -сканов, подключать датчик пути для построения координатной развертки изделия, записывать большой объем данных, автоматически формировать отчеты и протоколы, выводить их на печать непосредственно с прибора. Дефектоскоп УСД-60 позволяет измерять толщину изделий с высокой точностью и коррекцией V-образности, проводить ручной, автоматизированный контактный и иммерсионный (специальная и-зона) контроль, а также использовать многоканальные сканирующие системы (до 32-х каналов).

Ультразвуковой дефектоскоп УД2В-П46 с TFT-дисплеем позволяет просматривать результаты измерений как на самом приборе, так и на персональном компьютере с помощью специальной программы. Существует возможность автоматизации обработки результатов контроля, разделив их по разным базам протоколов, а также создания собственных протоколов ультразвуковой дефектоскопии с применением программы-конструктора.

Ультразвуковой дефектоскоп-томограф общего назначения УД4-76 предназначен для ручного и механизированного ультразвукового контроля материалов, заготовок, изделий и оборудования, съема и сохранения томограмм. Функция томографа позволяет отображать и сохранять результаты контроля в виде Б-сканов с привязкой к пути сканирования. Дефектоскоп также решает задачу измерения толщины изделий при одностороннем доступе. Присутствует несколько режимов работы с АРД диаграммами, что позволяет мобильно определять эквивалентные размеры дефектов.

Ультразвуковой дефектоскоп УД4-76 адаптирован и полностью соответствует требованиям нормативной документации, действующей в различных производственных секторах, таких как: атомная энергетика, металлопроизводство, трубная промышленность, железнодорожный транспорт и т.д.

Дефектоскопы A1550 IntroVisor, RapidScan и Phasor XS используют преимущества получения изображения посредством фазированной решетки. Томограф A1550 IntroVisor позволяет визуализировать процесс сканирования в режиме реального времени (25 кадров в секунду).

Ультразвуковой дефектоскоп нового поколения УСД-50 IPS в специально разработанном ударопрочном корпусе имеет вход энкодера, позволяющий подключать различные сканеры для построения В-сканов и TOFD развертки контролируемого участка изделия.

Компактный дефектоскоп А1212 МАСТЕР ПРОФИ позволяет в полуавтоматическом режиме корректировать характеристики призм наклонного преобразователя вследствие его износа.

Высокой универсальностью обладает дефектоскоп USLT 2000 на базе стандартного компактного компьютера (ноутбука), бытового или промышленного исполнения.

Несмотря на все сложности проведения и необходимость тщательного соблюдения значительного числа ограничивающих факторов, ультразвуковой контроль имеет огромные перспективы и возможности совершенствования. Если бы разработчикам удалось получить лучшую визуализацию, для снижения субъективности оценки дефектов, эксперты получили бы великолепную возможность объективной оценки качества выполнения сварных соединений и основного материала строительных и инженерных конструкций.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Коротин А. И., Лазарев А. Л., Плаксин А. А., Шмыров С. Ф. Основы ультразвуковой дефектоскопии металлических конструкций: учебное пособие. – Саранск, 2008. – 60 с.