

УДК 620.179

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАКЛОННЫХ ПЬЕЗОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СО СМЕННЫМИ ПРОТЕКТОРАМИ

Б. В. ЕРМОЛОВ, М. Е. ПЛОТНИКОВ, А. С. ГОРДЕЕВА  
Научный руководитель С. С. СЕРГЕЕВ, канд. техн. наук, доц.  
Белорусско-Российский университет  
Могилев, Беларусь

Среди методов неразрушающих испытаний материалов и изделий на сегодняшний день наиболее высокую достоверность, производительность и информативность при выявлении дефектов или оценке физико-механических свойств обеспечивает ультразвуковой контроль. Однако в различных отраслях промышленности часто встречаются объекты с существенной кривизной поверхности, например, металлические прутки и трубы различного типоразмера по диаметру и толщине стенок. При контроле таких объектов возникают проблемы обеспечения качественного акустического контакта с ультразвуковыми преобразователями (ПЭП). Нормативные документы на ультразвуковой контроль объектов типа труб или прутков требуют подгонки поверхности преобразователя к кривизне объекта, т. е. притирки призмы наклонных ПЭП. Чтобы иметь возможность проводить контроль криволинейных объектов обычными ПЭП, можно использовать специальные сменные протекторы для каждого диаметра труб или прутков.

В работе были проведены исследования эффективности применения сменных протекторов с различной кривизной контактной поверхности для стандартных наклонных ультразвуковых ПЭП (рис. 1). При изготовлении протекторов были использованы три принтера с различными смолами в качестве фотополимерных материалов.



Рис. 1. Внешний вид набора сменных протекторов

При проведении экспериментов использовался ультразвуковой дефектоскоп USM Go и наклонные преобразователи производства SIUI с рабочей частотой 2,5 и 5 МГц, с углами наклона призмы 50, 60, 65 и 70 град. Используемые модели преобразователей данного производителя имеют

одинаковую форму поверхности и геометрические размеры, поэтому протектор с кривизной контактной поверхности, например, 108, 152 мм может применяться для любого из выбранных преобразователей.

В работе даются рекомендации по проведению настройки и введению коррекций для установления уровней чувствительности контроля при переходе на реальные объекты. Экспериментально проверено влияние используемых протекторов на величину погрешности измерения местоположения и размеров дефектов по искусственным ненаправленным отражателям для преобразователей с различными углами ввода на частотах 2,5 и 5 МГц. Получены значения абсолютных погрешностей определения координат дефектов для разных ПЭП и протекторов.

Проведен анализ акустического тракта при контроле преобразователем с протектором (рис. 2), что позволило определить ослабление амплитуды ультразвукового сигнала на пути «источник – дефект – приёмник». Усовершенствована теоретическая модель акустического тракта для ультразвукового контроля сварных швов труб малого диаметра с использованием съемных печатных протекторов для наклонных преобразователей, учитывающая влияние изменения эффективного угла ввода ультразвукового луча, расстояния от центра мнимого излучателя-приёмника, соответствующего активной апертуре, до точки выхода луча, затухания в протекторе (изменение длины хода луча по призме), коэффициента прозрачности по энергии на границах «призма – протектор – объект».

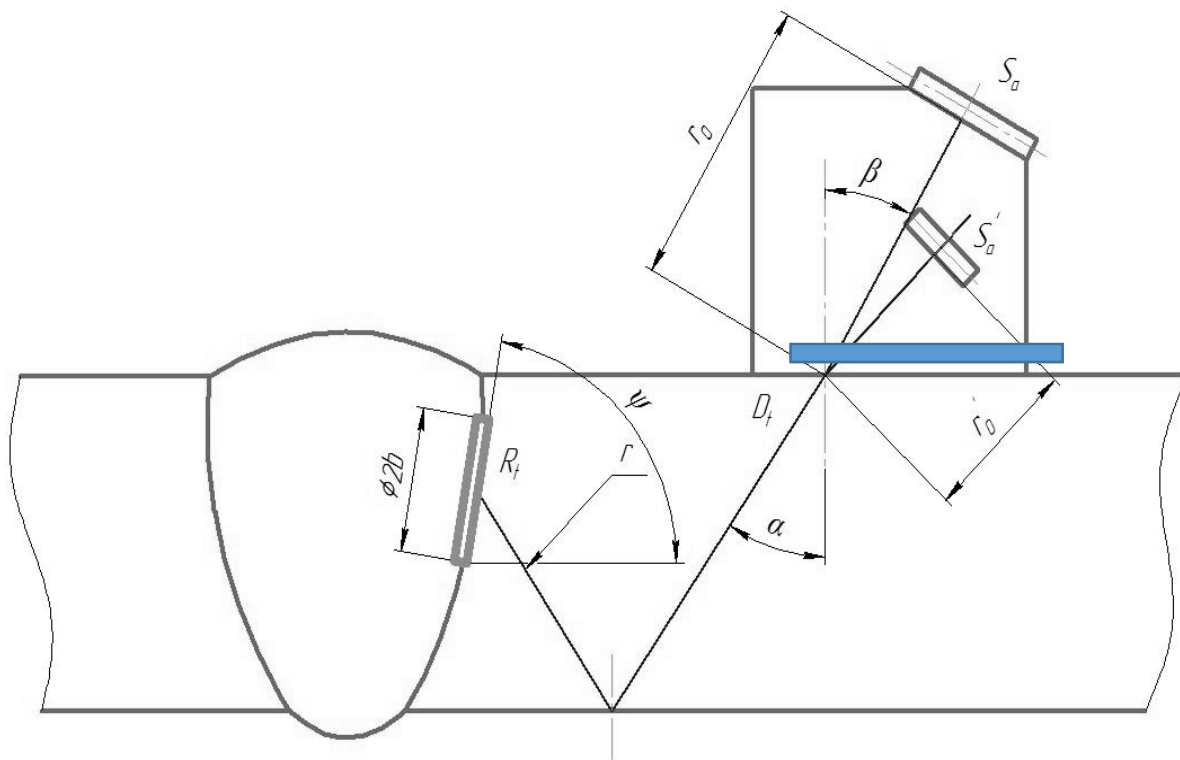


Рис. 2. Акустический тракт для дискового отражателя

Для дискового отражателя модель акустического тракта выглядит следующим образом:

$$\frac{P}{P_0} = \frac{R_t \cdot D_{lt} \cdot D_{ll} S_a \cdot \pi \cdot b^2 \cdot \cos \alpha}{\lambda_t^2 \cdot (r + r_0')^2 \cdot \cos \beta} \cdot e^{-2 \cdot (\delta \cdot r + \delta_{np} \cdot r_0 + \delta_{nm} \cdot h_{nm} / \cos \beta)}$$

где  $\alpha$  – угол ввода;  $\beta$  – угол падения;  $\psi$  – угол наклона дискового отражателя;  $b$  – радиус дефекта;  $S_a$  – площадь пьезопластины;  $r$  – длина пути ультразвука от точки выхода луча до дефекта;  $\lambda_t$  – длина волны ультразвука;  $D_{lt}$  – коэффициент прохождения через границу раздела «протектор – объект»;  $R_t$  – коэффициент отражения от поверхности дефекта;  $\delta_{np}$  – коэффициент затухания в материале призмы;  $r_0$  – средний путь ультразвука в призме преобразователя;  $r_0'$  – приведенный путь ультразвука в призме преобразователя;  $D_{ll}$  – коэффициент прохождения через границу «призма – протектор»;  $\delta_{nm}$  – коэффициент затухания в материале протектора;  $h_{nm}$  – толщина протектора.

В результате проведенных исследований были экспериментально получены амплитудные зависимости эхосигналов для различных искусственных ненаправленных отражателей, которые позволили сформировать методику настройки прибора с использованием сменных протекторов при контроле сварных швов труб, учитывающие влияние всех вышеперечисленных дестабилизирующих факторов и обеспечивающие равномерность чувствительности при сканировании объекта, что в целом способствует повышению достоверности и производительности контроля реальных объектов.

Кроме того, были сформулированы некоторые практические рекомендации:

- при использовании протекторов толщиной более 1 мм наблюдается заметное изменение стрелы и угла ввода;

- в среднем при использовании протекторов задержка увеличивается на 1...3 мкс, что необходимо учитывать для получения точных результатов;

- при правильной настройке приборов и оптимальных условиях работы протекторы минимально влияют на показания, что видно из полученных данных при измерениях;

- существенное влияние на амплитуду эхосигналов влияет шероховатость поверхности контролируемых образцов и контактной поверхности самого протектора. Поэтому после печати протектора на 3D-принтере его контактную поверхность необходимо зачистить мелкодисперсной наждачной бумагой;

- для контроля реальных объектов целесообразно применять протекторы с притиркой минимальной толщины для уменьшения задержки, но не менее 0,5 мм, т. к. слишком тонкий протектор имеет малую износостойкость.