

УДК 620.179  
ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО ТРАКТА  
ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМ КОНТРОЛЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ФАЗИРОВАННЫХ РЕШЕТОК

С. Л. МЕЛЬНИКОВ

Научный руководитель С. С. СЕРГЕЕВ, канд. техн. наук, доц.  
БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

При проведении ультразвукового контроля (УЗК) в промышленности в последнее время на замену стандартных дефектоскопов приходят приборы с фазированными антенными решётками (ФАР). Достоинствами этих приборов являются: высокая скорость контроля, наглядность полученных результатов, возможность оценки размеров и типа несплошностей.

Однако, при внедрении ФАР в производство появилась проблема реализации некоторых требований, предъявляемых к традиционным методам УЗК.

Одной из проблем является вынужденная ограниченность количества применяемых фокальных законов, следствием этого является неравномерность чувствительности прибора по полю изображения.

Например, необходимо проконтролировать зону 40x50 мм, для этого при шаге визуализации 1 мм нужно использовать 2000 фокальных законов. Учитывая, что производительность визуализации должна быть не менее 20...30 кадров в секунду, количество операций получается слишком большим для современной вычислительной техники.

Поэтому для получения приемлемой частоты обновления экранного изображения в каждом режиме работы прибора на ФАР обычно используется намного меньшее число фокальных законов. И, как следствие, в изображении только небольшая зона воспроизводится с максимальной чувствительностью к отражателям и наилучшим пространственным разрешением. Вне этой зоны характеристики хуже, и чем дальше от нее, тем еще хуже. Если прибор откалибровать по чувствительности в зоне наилучшего качества изображения, то в оставшейся рабочей области калибровка не будет выполняться.

Именно по этим причинам метод фазированной решётки до сих пор служит лишь добавочным, позволяющим найти дефекты и оценить их примерные размеры, а также наглядно и удобно для восприятия их визуализировать. Точная оценка размеров дефектов при использовании метода фазированных решеток возможна лишь при фокусировке ультразвука в месте дефекта в момент его нахождения по А-скану, что фактически не отличается от традиционных методов контроля.

По действующим нормативным документам по проведению УЗК оценку качества изделий осуществляют по эквивалентной отражающей способности несплошности с применением АРД диаграмм.

Сложность применения экспериментально определенных АРД диаграмм для ФАР заключается в необходимости настройки на множестве одинаковых отражателей, выявленных под разными углами. В Беларуси для настройки чувствительности приняты плоскодонные отражатели, что вызывает определенные сложности для создания АРД диаграмм. Так, для настройки чувствительность даже для ограниченного числа углов из сектора от 30 до 70 градусов, например, с шагом 5 градусов потребуется 8 паспортизированных образцов, содержащих набор одинаковых плоскодонных отражателей на разных глубинах. Кроме того, сложность заключается и том, что из-за наличия фокусировки зависимость между площадью плоскодонного отражателя и его амплитудой перестает быть линейной, поэтому для достоверной оценки отражающей способности несплошностей превышающих 1...2 длины волны, потребуется еще набор образцов с плоскодонными отражателями, имеющими разные площади.

Поэтому для настройки чувствительности есть смысл использовать теоретические АРД-диаграммы рассчитанные по формулам акустического тракта для каждого угла ввода. Для примера рассчитаем АРД диаграмму для отражателя в виде диска площадью 4 мм<sup>2</sup> в ОК выполненного из стали 20.

Уравнение акустического тракта для дискового отражателя площадью  $S_b$  с переменным углом ввода имеет следующий вид

$$|A(r_N, \alpha_N)| = \frac{S_b \times S_a \times \cos \alpha_N}{\lambda^2 \times (r_N + r'_N(\alpha_N))^2 \times \cos \gamma} \times D_{lt}(\alpha_N) \times e^{[-2 \times (\delta \times r_N + \delta_1 \times r_1)]}, \quad (1)$$

где  $\lambda$  – длина волны в изделии;  $r_N$  – путь ультразвука в изделии;  $r_1$  – средний путь в призме преобразователя;  $r'_N(\alpha_N)$  – путь ультразвука от мнимой пьез-ны до точки ввода в изделие;  $D_{lt}(\alpha_N)$  – коэффициент прохождения через границу призма-изделие;  $\delta$  и  $\delta_1$  – затухание ультразвука в изделии и призме;  $\gamma$  – угол наклона призмы;  $S_a$  – площадь фазированной решётки;  $S_b$  – площадь дискового отражателя;  $\alpha_N$  – угол ввода пучка в ОК.

Путь ультразвука от мнимой пьезопластины до точки ввода в изделие в зависимости от угла ввода определяется по формуле

$$r'_N(\alpha_N) = \frac{r_1 \times C_{lp} \times \cos \alpha_N}{C_t \times \cos \beta(\alpha_N)}, \quad (2)$$

где  $C_{lp}$  – скорость продольной волны в призме;  $C_t$  – скорость поперечной волны в стали;  $\beta(\alpha_N)$  – угол падения пучка на ОК.

Коэффициент прохождения через границу призма – изделие с учетом изменения угла ввода

$$D_{lt}(\alpha_N) = \frac{4 \times Z_{пад}(\alpha_N) \times Z_{прел}(\alpha_N)}{(Z_{пад}(\alpha_N) + Z_{прел}(\alpha_N))^2}; \quad (3)$$



$$Z_{\text{пад}}(\alpha_N) = \left( \frac{Z1}{\cos \beta(\alpha_N)} \right) \times \cos^2(2 \times \alpha_N) ; \quad (4)$$

$$Z_{\text{прел}}(\alpha_N) = \left( \frac{Z2}{\cos \alpha_N} \right) \times \sin^2(2 \times \beta(\alpha_N)) , \quad (5)$$

где  $Z1$  – акустический импеданс призмы;  $Z2$  – акустический импеданс ОК.

В результате подстановки значений и расчета получили АРД-диаграмму для плоскодонного отражателя в виде диска площадью  $4 \text{ мм}^2$ , пригодную для использования с фазированными решётками.

В результате анализа полученной АРД-диаграммы, сделан вывод о том, что технология ФАР обеспечивает высокую чувствительность контроля стальных изделий в диапазоне углов ввода  $35\text{--}50^\circ$ . Однако с увеличением угла ввода чувствительность существенно падает. Следовательно, при контроле методом ФАР при выявлении дефекта на больших углах ввода необходимо вводить поправку на амплитуду эхо-сигнала. Эта процедура усложняет настройку прибора и требует наличия универсальных контрольных образцов.