

ВОЗБУЖДЕНИЕ ПОПЕРЕЧНЫХ ВОЛН ПУЧКОМ ПРОДОЛЬНОЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ВОЛНЫ



ШЕВАЛДЫКИН

Виктор Гаврилович

Д-р техн. наук, ООО «Акустические Контрольные Системы», Москва



САМОКРУТОВ

Андрей Анатольевич

Д-р техн. наук, ООО «Акустические Контрольные Системы», Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва

Изложены условия экспериментального обнаружения слабого излучения поперечных ультразвуковых волн, исходящего от пучка продольных волн. Приведены результаты эксперимента, подтверждающие предположение о механизме возникновения этого излучения.

Хорошо известно, что головная волна, распространяясь по поверхности металла, излучает в его объем боковую поперечную волну под третьим критическим углом [1–3]. При измерении диаграммы направленности малоапертурного ультразвукового (УЗ) преобразователя поперечных волн, например, элемента антенной решетки, этот эффект искажает его диаграмму в области углов, больших третьего критического на 2–7°. Амплитуда боковой волны в этом секторе углов даже превышает амплитуду основной поперечной вол-

ны, излучаемой исследуемым преобразователем. Причем время задержки боковой волны непрерывно уменьшается при увеличении угла наблюдения, начиная от третьего критического, сначала на доли микросекунды, а затем и на единицы микросекунд. В результате интерференции основной и боковой волн на диаграмме направленности образуется большой выброс примерно при углах от 35 до 40° [4, 5].

Однако при снятии диаграммы направленности элемента электромагнитно-акустической (ЭМА) антенной решетки в области малых углов наблюдения, от нуля до 10–15°, был обнаружен некий слабый сигнал поперечной волны, интерферирующий с сигналом основной волны. Причем так же, как и при третьем критическом угле, этот сигнал опережал основной сигнал поперечной волны на изменяющееся от угла время от десятых долей микросекунды до 1,5–2 мкс [5]. Причину появления этого сигнала ничем нельзя было объяснить, кроме как возбуждением поперечной волны продольной волной, которую побочно излучал испытуемый элемент решетки в направлении углов 60–70°. Это объяснение было вначале принято в качестве рабочей гипотезы.

Если поперечная волна могла генерироваться пучком продольной волны, то направление ее распространения, отклоненное от оси этого пучка на угол, равный или близкий к третьему критическому, и должно было составлять малые углы с нормалью к поверхности, где располагался элемент решетки. Физически этот эффект мог быть вызван механизмом, аналогичным механизму генерации боковой поперечной волны головной волной.

Причина возникновения боковой волны от головной в том, что на поверхности полупространства вследствие продольных (горизонтальных) смещений частиц среды возникают вертикальные смещения. Их вызывают разряжения – сжатия среды в головной волне [3]. Пространственный период этих вертикальных смещений поверхности в направлении третьего критического угла образует пространственный период поперечных смещений боковой волны.

В пучке продольной волны разряжения-сжатия среды в продольном направлении вследствие эффекта Пуассона вызывают деформации среды в поперечном направлении. На оси пучка поперечные деформации каждого элементарного объема среды почти полностью компенсируются такими же деформациями соседних элементарных объемов, расположенных вблизи оси (рис. 1). Но на краях пучка такой компенсации нет, поскольку чем дальше от оси, тем меньше акустическое давление. И нескомпенсированные поперечные деформации элементарных объемов среды должны генерировать боковую поперечную волну так же, как это происходит в головной волне.

Экспериментальное подтверждение изложенной гипотезы было выполнено на полумонокристаллическом стальном образце радиусом 200 мм, используемом для снятия диаграмм направленности преобразователей. Схема эксперимента представлена на рис. 2.

На плоскую поверхность образца был установлен прямой пьезопреобразователь с рабочей частотой 2,5 МГц. На цилиндрическую поверхность установили малоапертурный ЭМА-приемник, способный принимать как продольные, так и поперечные волны. Место его установки выбрали на прямой, проходящей через центр цилиндрической поверхности под углом к плоской поверхности, немного превышающим третий критический, который для стали равен примерно 33°. Под таким углом (примерно 35°) обычно наблюдается максимум сигнала боковой волны.

При возбуждении пьезопреобразователя коротким импульсом на выходе ЭМА-приемника появлялась последовательность импульсов, пример которой изображен на рис. 3. Кроме им-

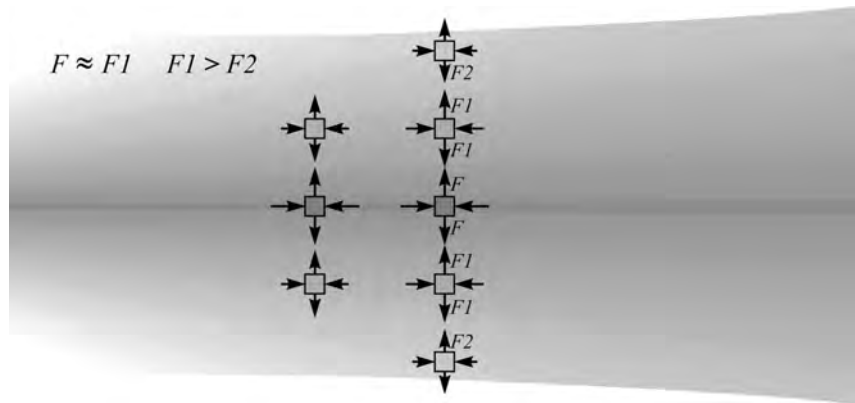


Рис. 1. Схема действия сил F на элементарные объемы среды в пучке продольной волны

пульса 1 — обычной наводки импульсы возбуждения излучателя — в ней присутствовал импульс 2 продольной волны, прошедшей напрямую к ЭМА-приемнику, и еще группа импульсов 3, 4, 5 почти вдвое дальше по времени.

Импульсы 4 и 5 — это импульсы прямого прохождения поперечной волны к приемнику от ближнего и дальнего краев апертуры излучателя. Времена

задержки сигналов продольной и поперечной волн точно соответствовали расчету. Растянутый во времени импульс 3 по времени задержки соответствовал прохождению сигнала по ломаной траектории (см. рис. 2). Часть его траектории — путь пучка продольной волны, другая часть — путь поперечной волны под углом 35° относительно нормали к пучку. Больше количество колебаний в

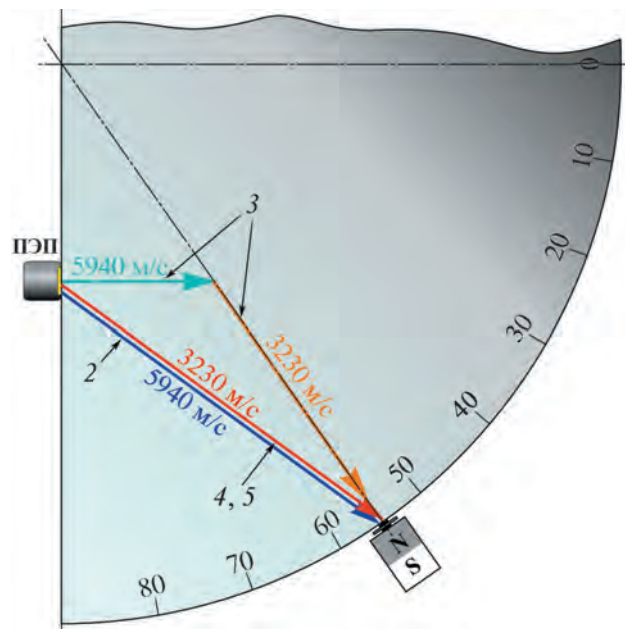


Рис. 2. Схема хода лучей УЗ-волн при обнаружении поперечной волны, возбужденной пучком продольной волны.

Цифрами обозначены пути, по которым проходят сигналы, изображенные на рис. 3

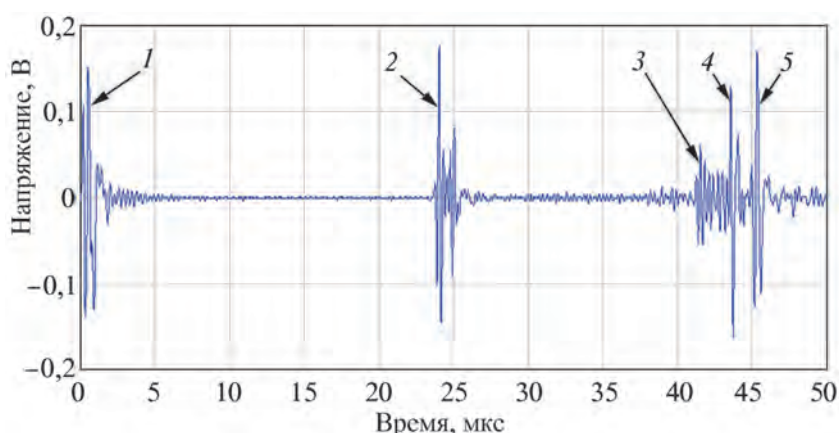


Рис. 3. Осциллограмма сигналов на выходе ЭМА-приемника: 1 — наводка от импульса возбуждения; 2 — импульс продольной волны; 3 — колебания боковой волны; 4, 5 — импульсы поперечной волны от краев апертуры ПЭП

импульсе 3, чем в других импульсах, можно объяснить тем, что боковые волны генерируются обоими краями пучка продольной волны. Поэтому на приемник приходит сумма этих волн с некоторым временным сдвигом из-за разных путей распространения. Аналогичные осциллограммы получались при разных положениях излучающего пьезопреобразователя на образце. Во всех случаях расчетные времена задержки импульсов хорошо совпадали с измеренными значениями.

Следует обратить внимание на малую амплитуду колебаний импульса 3. Она мала даже в

сравнении с амплитудами сигналов продольной и поперечной волн, которые сами минимум на два порядка меньше сигнала продольной волны на оси пучка. Это означает, что эффект генерации боковых поперечных волн пучком продольной волны очень слабый. Головная волна от точечного источника на поверхности твердого тела порождает значительно более сильную боковую волну.

Библиографический список

1. Werner G. Neubauer / Ultrasonic reflection of a bounded beam of Rayleigh and critical angles for a plane liquid – solid interfa-

ce // J. Appl. Phys. 1973. V. 44. P. 48–53.

2. Ермолов И.Н., Разыграев Н.П., Щербинский В.Г. Использование акустических волн головного типа для ультразвукового контроля // Дефектоскопия. 1978. № 1. С. 33–40.

3. Юозонене Л.В. Упругие поверхностно-продольные волны и их применение для неразрушающего контроля // Дефектоскопия. 1980. № 8. С. 29–38.

4. Люткевич А.М., Жуков А.В., Самокрутов А.А., Шевалдыкин В.Г. Акустические поля малоапертурных преобразователей. Поперечные волны, излучаемые прямоугольным источником нормальной силы // Контроль. Диагностика. 2004. № 4. С. 3–8.

5. Шевалдыкин В.Г., Самокрутов А.А. Экспериментальные диаграммы направленности малоапертурных ЭМА-преобразователей при вертикальном и горизонтальном магнитном поле // Сборник тезисов докладов XXIV Петербургской научно-технической конференции «Инновационные средства и технологии ультразвукового контроля и диагностики». Санкт-Петербург, 24–27 мая 2022 г., СПб., 2022. С. 15–17.

ЖУРНАЛ «ТЕРРИТОРИЯ NDT»

У нашей ТЕРРИТОРИИ нет границ – попасть на нее можно ИЗ ЛЮБОЙ ТОЧКИ МИРА.
Наша ТЕРРИТОРИЯ – это ОБЪЕМ и ПРОСТОР информации в области НК.

В свободном доступе
НА САЙТЕ
www.tndt.idspektr.ru



СВЕЖИЙ НОМЕР журнала
[http://tndt.idspektr.ru/
index.php/current-issue](http://tndt.idspektr.ru/index.php/current-issue)



АРХИВЫ номеров за 10 лет
[http://tndt.idspektr.ru/
index.php/archive](http://tndt.idspektr.ru/index.php/archive)



Редакция: +7 (499) 393-30-25 • tndt@idspektr.ru