

УДК 620.179.16

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ РАВНОТОЛЩИННЫХ СТЫКОВЫХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДИФРАКЦИОННО-ВРЕМЕННЫМ МЕТОДОМ

В. В. АТРОЩЕНКО, Д. А. АДЖИБАЕ, М. П. САВИЧЕВ

Уфимский государственный авиационный технический университет
Уфа, Россия

UDC 620.179.16

DEVELOPMENT OF THE TECHNIQUE FOR ULTRASONIC INSPECTION OF BUTT WELDED JOINTS USING THE TIME OF FLIGHT DIFFRACTION METHOD

V. V. ATROSHENKO, D. A. AJIBAYE, M. P. SAVICHEV

Аннотация. Рассматриваются вопросы разработки методики ультразвукового контроля стыковых сварных соединений дифракционно-временным методом, а также критерии идентификации и интерпретации обнаруженных дефектов.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, ультразвуковой контроль, TOFD, сварка.

Abstract. The paper discusses the development of the ultrasonic inspection technique (Time of Flight Diffraction) of butt welded joints, as well as criteria for identification and interpretation of detected defects.

Keywords: non-destructive testing, ultrasonic testing, ultrasonic inspection, TOFD, welding.

С момента разработки дифракционно-временного метода (TOFD) в 1970-х гг. популярность его постоянно растет. Его основное предназначение – быстрый механизированный или автоматический контроль протяженных стыковых сварных соединений.

В отличие от эхоимпульсного метода, в основе TOFD лежит принцип регистрации сигналов, рассеянных (дифрагированных) на гранях дефекта, а не отраженных от его поверхности. Амплитуда сигнала не используется для определения размера дефекта. Размер несплошности определяется временем прохождения дифракционных сигналов. Поэтому метод TOFD применяется для поиска дефекта и для уточнения его глубины залегания и высоты, но отбраковка по результатам контроля данным методом не ведется. Для проведения отбраковки TOFD совмещают с контролем эхоимпульсным методом группой одноэлементных пьезоэлектрических преобразователей или фазированной решеткой. Это позволяет также проконтролировать корневую и верхнюю части сварного шва – характерные мертвые зоны метода TOFD.

Из-за расхождения дифрагированных сигналов во всех направлениях и широкого охвата контролируемого объема при применении TOFD отсутствует необходимость в дополнительном контроле основного металла околошовной зоны на расслоения прямым преобразователем. Также этот метод чувствителен к любому типу дефектов независимо от их ориентации. Он позволяет обнару-

живать вертикально ориентированные дефекты, плохо выявляемые эхоимпульсным методом. Например, межваликовые несплавления, характерные для сварки сварных соединений с узкой разделкой кромок, отличной от 30 град.

В настоящий момент за рубежом и на территории Республики Беларусь разработаны и введены в действие все необходимые стандарты для широкого применения метода TOFD. В России нормативная документация проходит стадию утверждения. Для применения метода требуется дополнительное обучение дефектоскописта настройке и калибровке оборудования и расшифровке сканов. Обучение правильной интерпретации дефектов по сканам проводится на изображениях типовых дефектов. К сожалению, в имеющейся нормативной документации таких изображений приведено недостаточно. Актуальной задачей является разработка «атласа дефектов», содержащего соответствие результатов ультразвукового контроля методом TOFD с каждым типом сварочного дефекта. Для этих целей необходимо сравнивать полученные сканы TOFD с результатами радиографического контроля, ультразвукового контроля «традиционным» эхоимпульсным методом и металлографических исследований.

TOFD реализуется с помощью пары пьезоэлектрических преобразователей (ПЭП) продольных волн с одинаковыми углами ввода и широкой диаграммой направленности, позволяющей проконтролировать объект за один проход без перемещения в поперечно к шву направлении. Для толщин более 9 мм применяются ПЭП с углами ввода 50° и 60° частотами от 5 до 10 МГц [7].

Точка пресечения осей диаграмм направленности ПЭП и приемника выбирается на глубине, равной $2/3$ толщины контролируемого образца (рис. 1).

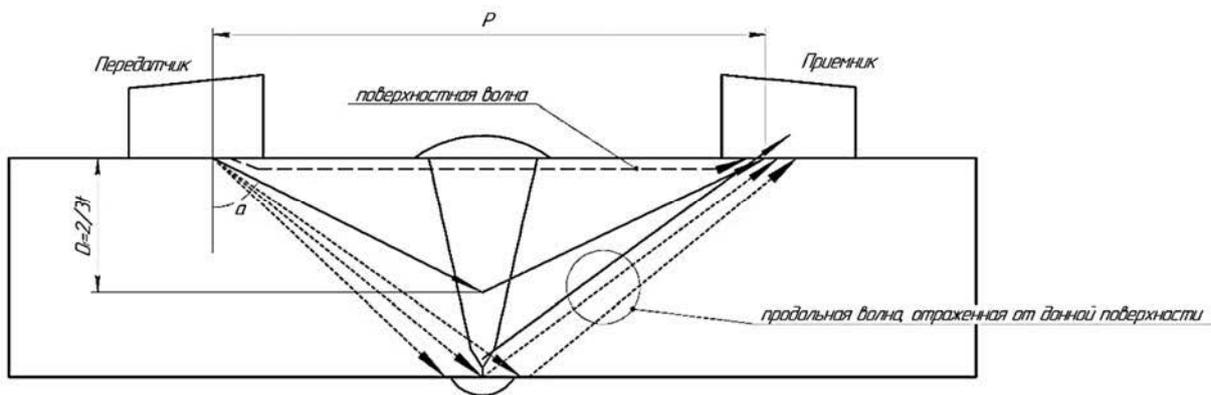


Рис. 1. Выбор расстояния между преобразователями TOFD

Для равнотолщинного сварного соединения между точками ввода приемника и передатчика P , мм, рассчитывается по формуле

$$P = 2 \cdot \frac{2}{3} \cdot t \cdot \operatorname{tg}(\alpha),$$

где t – толщина стенки, мм; α – угол ввода, град.

При работе излучателя формируются подповерхностная волна, распространяющаяся непосредственно под верхней поверхностью контролируемого

объекта, и продольная волна, поступающая на приемник при отражении от донной поверхности. Поперечная волна, возникающая в результате преломления продольной волны, приходит к приемнику после отраженной продольной. Сигналы TOFD отображаются на экране в виде А-скана недетектированного сигнала. На В-скане (TOFD-скане) амплитуда сигнала отображается в градациях серого цвета. Отображение двухполярного невыпрямленного сигнала дает информацию о фазе сигналов. Подповерхностная волна и волна, отраженная от донной поверхности, всегда находятся в противофазе.

Дефект считается четко различимым и подлежит оценке, если дифракционные сигналы от верхней и от нижней граней дефекта разделяются однозначно. Если изображение TOFD нечеткое и сигнал в каналах, работающих по эхоимпульсному методу, отсутствует, то такую индикацию следует расценивать как несущественную и при анализе не рассматривать. Дефект считается плоскостным с ориентацией, отличающейся от продольной и поперечной, если он четко различим, но сигналы в каналах, работающих по эхоимпульсному методу, для данного дефекта отсутствуют. Типичный пример отображения (А-развертки) показан на рис. 2 [6].

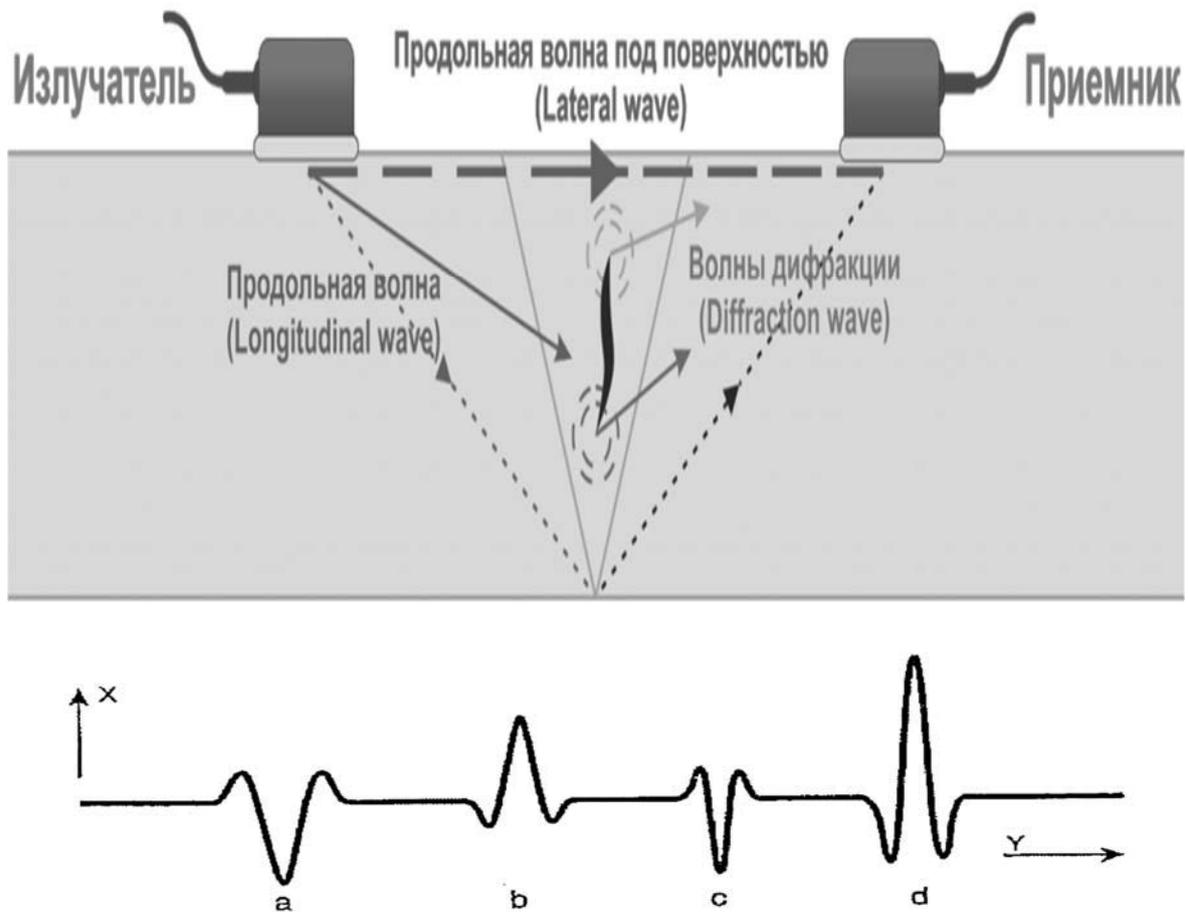


Рис. 2. Изображение дифракции волн на верхнем и нижнем краях дефекта: X – амплитуда; Y – время; a – боковая волна; b – сигнал от верхнего края несплошности; c – сигнал от нижнего края несплошности; d – эхосигнал от донной поверхности

Длину индикаций TOFD следует определять при помощи параболических курсоров, исходя из величины перемещения преобразователей вдоль сварного соединения. Реальная протяженность дефекта может отличаться от измеренной величины по причине того, что ширина диаграммы направленности ультразвукового преобразователя не равняется нулю.

Глубина залегания дефекта при проведении TOFD измеряется от поверхности более тонкой пластины сварного соединения до нижней грани дефекта. Положение верхней грани дефекта вычисляется по сигналу от дефекта с минимальным временем прихода. При УЗК равнотолщинного сварного соединения глубина залегания источника дифрагированного сигнала автоматически определяется встроенным калькулятором дефектоскопа.

Начало развертки должно быть установлено как минимум за 1 мкс до начала сигнала от поверхностной волны и заканчиваться как минимум через 1 мкс после первого сигнала от донной поверхности. Усиление сигнала должно быть таким, чтобы уровень сигнала от головной волны находился от 20 % до 30 % предельной высоты экрана. Если уровень помех превышает половину сигнала от головной волны, то необходимо выбрать преобразователи с более низкой частотой, при этом увеличится мертвая зона и снизится разрешающая способность по глубине. Чувствительность метода TOFD значительно снижается при расположении дефектов вблизи к поверхности (до $1/3$ толщины стенки от поверхности сканирования) [1–5].

При настройке чувствительности представлены способы настройки чувствительности для метода TOFD. Нормативный документ ISO 17635 регламентирует четыре уровня чувствительности: А, В, С, D. При этом достоверность контроля повышается от уровня А к уровню D. Уровень А используется для контроля сварных соединений толщиной до 50 мм. При этом для настройки чувствительности нет необходимости использовать контрольные образцы, в то время как для уровней чувствительности В, С и D проверка чувствительности проводится с помощью контрольных образцов, а для уровней С и D дополнительно необходимо проводить верификацию.

Для идентификации и интерпретации дефектов при анализе сканов TOFD необходимо обращать внимание на следующие характеристики:

- отклонение сигнала от головной волны;
- отклонение сигнала от донной поверхности;
- появление сигналов между головной волной и отражением от донной поверхности;
- фаза сигналов между головной волной и отражением от донной поверхности;
- сигналы с изменением фазы после первого отражения от донной поверхности.

Типовое изображение дефекта на TOFD-скане приведено на рис. 3 [1, 7].

Выводы.

1. В ходе работы была разработана методика проведения контроля методом TOFD стыкового сварного соединения толщиной 16 мм.

2. В ходе экспериментальных работ получены соответствия между основными видами дефектов стыковых сварных соединений и результатами контроля на сканах TOFD. Описаны признаки интерпретации по форме сигналов на скане TOFD.

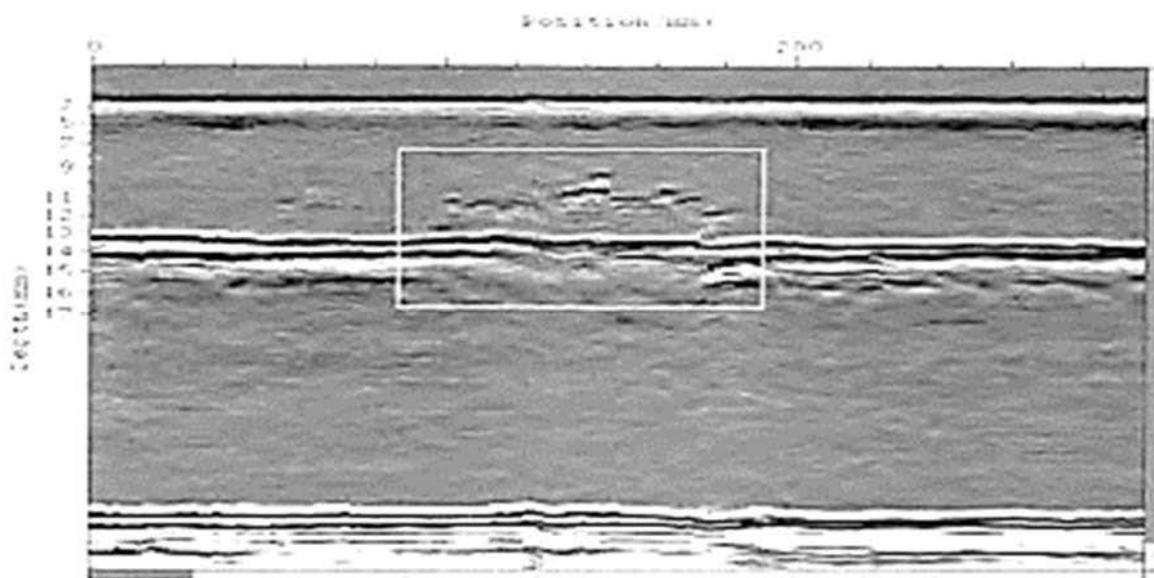


Рис. 3. Непровар в корне шва

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **СТБ EN 583-6-2013.** Контроль неразрушающий. Ультразвуковой метод. Ч. 6: Дифракционно-временной метод обнаружения и измерения несплошностей.
2. **СТБ EN 10863.** Контроль неразрушающий сварных соединений. Ультразвуковой метод. Применение дифракционно-временного метода (TOFD).
3. **СТБ EN 15617-2013.** Контроль неразрушающий сварных соединений. Дифракционно-временной метод (TOFD). Границы допустимости.
4. **ISO 16828:2012.** Неразрушающий контроль. Ультразвуковой контроль. Дифракционно-временной метод (TOFD) как метод обнаружения и определения размеров несплошностей.
5. **ISO 23279:2010.** Неразрушающий контроль сварных швов. Ультразвуковой контроль. Определение параметров индикаций в сварных швах.
6. Сайт компании Olympus [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.olympus-ims.com>. – Дата доступа: 20.02.2022.
7. Приборы и методы акустического контроля: методические указания к самостоятельной работе студентов специальности 1-54 01 02 «Методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов» / Сост. С. С. Сергеев, Е. Н. Прокопенко, О. С. Сергеева. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2014. – 39 с.