

Ультразвуковой инновационный Дифракционно-временной метод TOFD

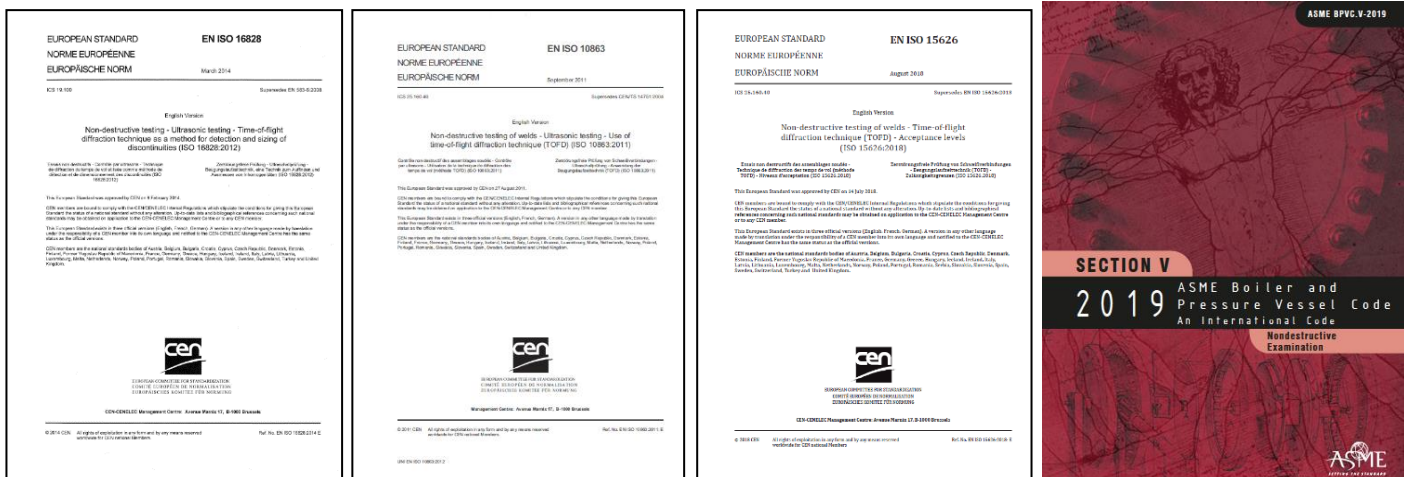
(Time of Flight Diffraction Technique = TOFD)

Количество часов лекционных и практических занятий соответствует второму уровню квалификации - 80 часов (2 недели).

Требования для принятия на курсы:

Специалист должен иметь квалификацию по ультразвуковому методу неразрушающего контроля не ниже 2-го уровня в соответствии с EN ISO 9712 или их эквивалента.

При написании курса использовалась информация из различных источников:



Преподаватель курса лекционных и практических занятий по дифракционно-временному методу неразрушающего контроля (TOFD) Марцинкевич А. В. с целью подтверждения своих знаний в 2011 году прошёл повышение квалификации в компании TWI (Великобритания, Great Abington) с последующей сдачей экзамена и получил сертификат в соответствии со схемой сертификации PCN.



PART 1 - HOLDER'S DETAILS				PART 2 - NOTIFICATION OF PERMANENT CHANGE OF HOLDER'S ADDRESS			
PCN NUMBER: 311364				ISSUE DATE: 24/02/2013	ISSUE NUMBER: 1		
ISSUE NAME: 24/02/2013				This part is used by the certificate holder to notify the BINDT Certification Records Office of a permanent change of address. Please complete in BLOCK LETTERS, verify details of the change and sign the remainder as evidence of notification, and for or place in BINDT 200, Newton Building, 50, George's Avenue, Nottingham, NG1 6SL, England, or by email to PCN.CRO@bindt.org			
RECORD OF PCN CERTIFICATION				FULL NAME:			
Further information on the scope of certification available may be obtained from The Certification Services Division, British Institute of Non-Destructive Testing, 50, George's Avenue, Nottingham, NG1 6SL, United Kingdom. E-mail: pcn@bindt.org. Tel: +44 (0)1652 868611. Fax: +44 (0)1652 868608.				NEW ADDRESS:			
Valid only when signed on behalf of BINDT and impressed with the PCN card seal.				POSTAL CODE:			
This document may be withdrawn or recalled in part or in whole at any time.				TELEPHONE:			
NORMAL SIGNATURE:				EMAIL ADDRESS:			
PART 3 - CERTIFICATION HELD (All certificates comply with EN ISO 9712 unless otherwise stated)							
CERTIFICATE NUMBER	ISSUE	LEVEL	SECTOR	METHOD	SCOPE OF CERTIFICATE (see over for key to codes)	ISSUE DATE	EXPIRY DATE
A01153322968	1	2	W	U	NDT instruction writing, Time of Flight Diffraction	22/02/2013	21/02/2018

WARNING: This document is valid only when presented on original cream paper, and when supported by a laminated wallet card bearing the signature and a photograph of the holder impressed with the PCN card seal. Verification of current certification status is strongly encouraged and is available at www.bindt.org/PCN or by post, telephone, fax or e-mail quoting the unique PCN Number or full name shown in Part 1 above.

В ходе изучения курса по изучению ультразвукового дифракционно-временного (TOFD) метода неразрушающего контроля в объёме 80 часов ставятся следующие задачи:

ЗНАТЬ:

1. Физические основы метода TOFD.
2. Основы технологии проведения контроля методом TOFD сталей ферритного класса.
3. Возможности и ограничения при проведении контроля методом TOFD.
4. Нормативные документы "РБ" и/или "EN ISO" для составления инструкции (технологической карты) при проведении контроля методом TOFD.

УМЕТЬ:

1. Написать инструкцию (технологическую карту) для специалиста 1-го уровня согласно СТБ ISO 9712 или EN ISO 9712 по проведению контроля методом TOFD.
2. Выполнять расчёты и настраивать аппаратуру с одной парой преобразователей, в том числе аппаратуру, привезенную с собой по желанию заказчика, для проведения контроля стыковых сварных соединений толщиной $6 \div 30$ мм и диаметром более 800 мм согласно нормативным документам "РБ" и/или "EN ISO".
3. Проводить контроль с использованием одной пары преобразователей и выполнять оценку качества стыковых сварных соединений из сталей ферритного класса толщиной $6 \div 30$ мм и диаметром более 800 мм согласно нормативным документам "РБ" и/или "EN ISO".

БЫТЬ ОЗНАКОМЛЕННЫМ:

1. С существующими нормативными документами, устанавливающими требования проведения контроля объектов методом TOFD.
2. С современной аппаратурой для метода TOFD.
3. С типами дефектов основного металла и сварных соединений, выявляемых методом TOFD.

4. С выполнением расчётов и возможностью использования 2-х и более пар преобразователей при проведении контроля методом TOFD стыковых сварных соединений толщиной более 30 мм.

5. С возможностью проведения контроля методом TOFD угловых и тавровых сварных соединений, а также стыковых сварных соединений труб малого диаметра (<100 мм).

История появления метода TOFD

Потребность в проведении более точных при проведении измерений увеличения размеров дефектов непосредственно в конструкции, чем имеющаяся для традиционного ультразвукового метода стала очевидной в 1960-ых, особенно в атомной и химической отраслях промышленности.

При обнаружении дефектов на таких объектах ремонт поврежденных изделий или их участков порой был очень затруднительным или невозможным.



В ядерной энергетике часто возникают проблемы с доступом и высоким уровнем радиации. Закрывать или заменять такое предприятие - очень дорого. По этой причине Национальный Центр неразрушающего контроля в Харуэлле (затем часть Управления по атомной энергии Великобритании - UKAEA) попросил, чтобы доктор Морис Силк (Dr. Maurice Silk) со своим коллективом попытался отыскать ультразвуковой метод калибровки, более точный, чем существующий традиционный эхо-импульсный метод.

В начале 1970-х годов доктор Морис Силк со своим коллективом разработал метод, известный как дифракционно-временной метод (TOFD). Этот метод также называют «временапролетным», буквально переводя английское название:

TOFD = Time of Flight Diffraction.

В начале 1980-х было предложено проведение контроля PWR Реактора в Великобритании с той целью, чтобы доказать, что это самый лучший метод контроля ультразвуковой дефектоскопии для сосудов высокого давления и других основных компонентов реактора.

Метод TOFD стал более востребованным после появления мощных портативных компьютеров во второй половине 1980-х.

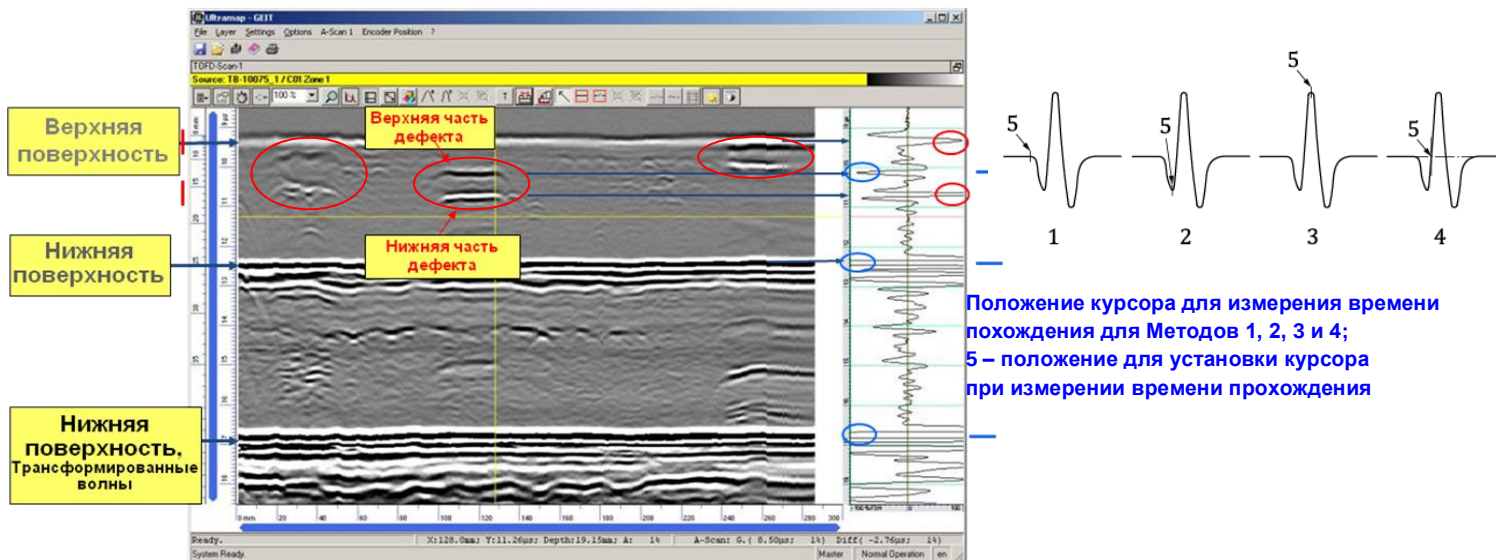
С начала 2000 года, благодаря своим преимуществам по отношению к традиционному, метод ультразвукового контроля становится лидирующим как в Европе, так и в Америке.

Преимущества метода TOFD

У метода TOFD есть главные преимущества перед традиционной ультразвуковой дефектоскопией:

1. Возможность достижения более высокой точности при проведении измерений, как правило, ± 1 мм, а при повторном обследовании $\pm 0,3$ мм.

Выявление и распределение по времени сигналов малой амплитуды, дифрагированных от краёв дефектов, являются основанием для определения положения и измерения размеров дефектов, что имеет мало общего с амплитудной характеристикой.



Вид D-скана на экране компьютера

2. Высокая вероятность обнаружения дефектов.

Проект финансировался в 2006 году управлением по охране здоровья и технике безопасности HSE (Health and Safety Executive). Было проведено сравнение полученных данных в виде вероятности обнаружения дефекта (POD) и вероятности обнаружения ложного дефекта (FCR) результаты которых сведены в таблицу.

Таблица также включает похожие данные, полученные во время выполнения голландского проекта KINT связанного с критериями приемки и проводимым Голландским Обществом Проверки качества и Неразрушающего контроля (Dutch Quality Surveillance and Non-Destructive Testing Society).

Таблица

Европейский проект TOFDPROOF			Европейский проект KINT	
Метод	Вероятность обнаружения дефекта (POD)	Вероятность обнаружения ложного дефекта (FCR)	Вероятность обнаружения дефекта (POD)	Вероятность обнаружения ложного дефекта (FCR)
TOFD	70-90%	<10%	82,4%	11,1%
RT	60-70%	нет данных	60,1%*	10,8%*
UT	55-65%	нет данных	52,3%	22,7%

* Использовалось только γ -излучение.

3. Возможность выявления дефектов практически любой ориентации.

По причине расхождения дифрагированных сигналов во всех направлениях, метод TOFD чувствителен фактически к любому типу дефектов независимо от их ориентации.

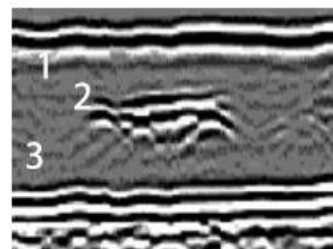
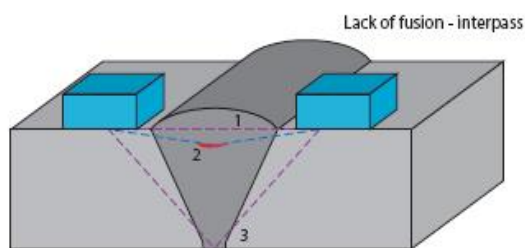


Образование волн дифракции

Поэтому технология TOFD менее чувствительна к ориентации дефекта и дефекты, ориентированные неблагоприятным образом к направлению распространения луча при проведении контроля традиционным эхо-импульсным методом, хорошо обнаруживаются методом TOFD.

К дефектам, ориентированным неблагоприятным образом к направлению распространения луча для традиционного эхо-импульсного метода можно отнести, например, вертикальные трещины и несплавления, а также дефекты, имеющие горизонтальную ориентацию, например, расслоения, несплавления между проходами параллельные поверхности ввода.

Высокую вероятность обнаружения дефектов при проведении контроля методом TOFD можно продемонстрировать на примере обнаружения отсутствия несплавления между проходами или межваликового несплавления.

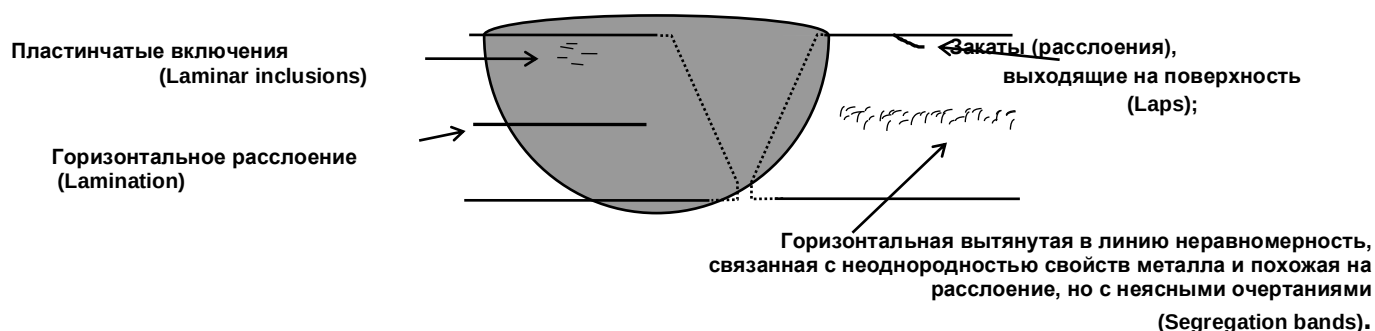


Отсутствие сплавления между проходами

При контроле TOFD межваликовое несплавление или плоский параллельный дефект виден как сплошная линейная индикация (2). При использовании традиционного эхо – импульсного метода контроля дефекты такого типа не обнаруживаются наклонным ПЭП, а только прямым ПЭП 0^0 .

Происходит приём части рассеянной энергии ультразвукового пучка от дефекта в виде сигналов малой амплитуды, дифрагированных от её краев, которые будут выведены на экране в корректном относительном положении.

Поскольку TOFD метод не является амплитудным, то по этой причине отсутствует необходимость в контроле основного металла околошовной зоны прямым преобразователем с целью обнаружения ламинаций (расслоений) согласно EN ISO 10863 (п. 4)



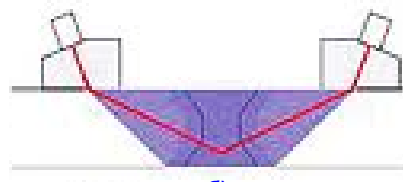
Расслоения (Laminations) – внутренние нарушения сплошности металла, ориентированные по направлению волокна. Возникают при прокате листа в результате расплющивания сравнительно крупных неметаллических включений и газовых пузырей.

4. Проведение контроля на потерю толщины в результате эрозии и/или коррозии с использованием метода TOFD (pr EN 17290:2018).

5. Высокая производительность контроля, так как сканирование проводится вдоль одной линии.



а)



б)

Схемы контроля с охватом контролируемого объема без учёта перемещения преобразователя:

а) проведение контроля сварного шва методами TOFD + PAUT;

б) схема контроля методом TOFD с охватом всего контролируемого объема сварного шва;

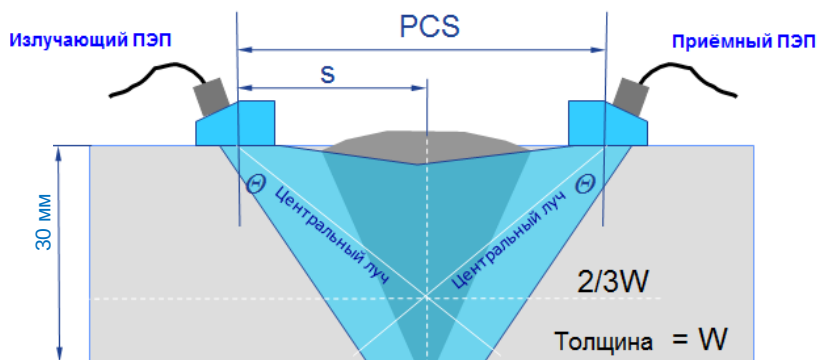
Коммерческие соображения делают скорость проведения контроля одним из важных факторов.

Скорость сканирования порядка 100 мм/с может являться обычной скоростью перемещения преобразователей для ручного контроля вдоль сварного шва, а для автоматизированного контроля могут быть использованы ещё более высокие скорости.

Необходимо помнить, что такая скорость контроля касается протяженных сварных соединений, осматриваемых за один проход с помощью блока преобразователей.

6. Большая величина охватываемого контролируемого объема.

Широкий охват контролируемого объема, который связан с большим угловым расхождением ультразвукового пучка.



Методом TOFD возможно проведение контроля сварных соединений толщиной более $20 \div 30$ мм без снижения скорости и разрешающей способности, что не является характерным для обычных методов ультразвукового контроля.

7. Документирование и хранение результатов контроля в виде А- и D-сканов с дальнейшей возможностью повторного их анализа.



В настоящее время системы TOFD обеспечивают сохранение всех соответствующих параметров на любом цифровом накопителе.

Данные могут быть найдены и повторно воспроизведены. Можно быть уверенным, что информация об обнаруженном дефекте может быть достоверно идентифицирована и пригодна для проведения сравнений при последующих периодических контролях, проводимых с целью обнаружения происходящих изменений.

Хранение цифровых данных позволяет разрабатывать методы способные облегчить проведение анализа связанного, например, с подавлением шумов, процессов распознавания образов дефектов, вычитание сигнала с его последующим выделением, а также множество другой цифровой обработки сигнала.

8. Практически полная идентичность при проведении воспроизводимости результатов контроля.



Сканирование, сварного соединения с использованием TOFD выполненное одним специалистом, будет практически идентично сканированию TOFD, выполненному другим специалистом с использованием подобные преобразователи и настройки аппаратуры. Это делает TOFD идеальным для отслеживания за развитием дефектов.

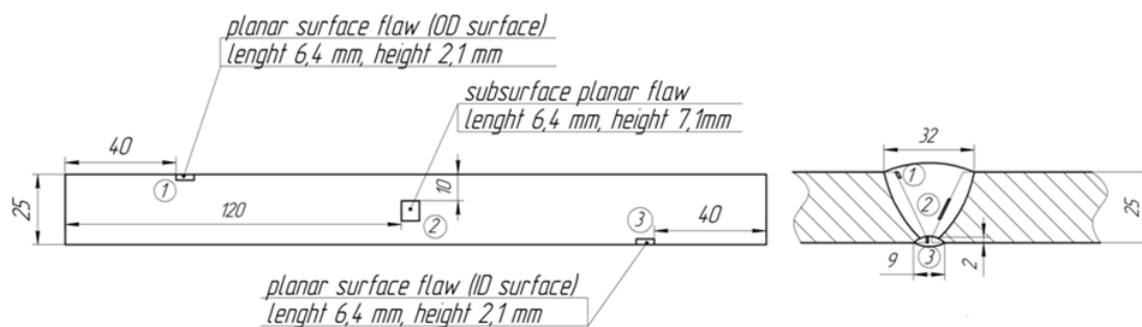
Так как данные TOFD могут быть собраны и накоплены в компьютерном файле для дальнейшего исследования, то в этом случае имеется возможность снизить требования к специалисту, перемещающего преобразователи. Большинство настроек для проведения контроля могут выполняться специалистом 2 или 3-го уровня, а сбор данных проводится специалистами 1-го уровня квалификации.

Метод TOFD, особенно с использованием энкодера, обеспечивает проведение измерений в реальных единицах, например, миллиметрах, которые являются намного более полезными для инженеров, чем измерения в децибелах или эквивалентных им шкалах.

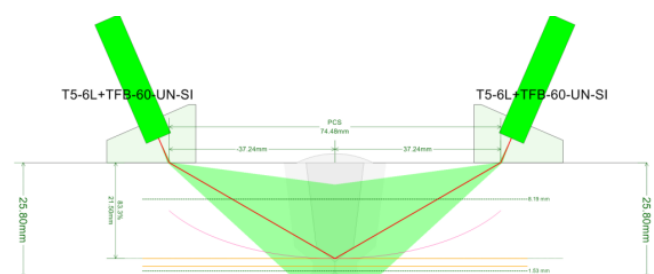
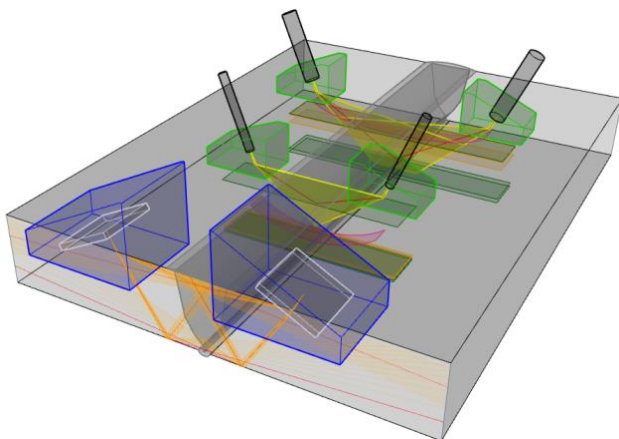
9. Согласно решению комитета Американского общества инженеров-механиков (ASME) возможна замена радиографии (RT) на ультразвук (UT-TOFD + UT-PA).

Например, в соответствии с ASME Code Case 2235-9 допускается замена контроля сварных швов толщиной от 13 мм (1/2 дюйма) и более.

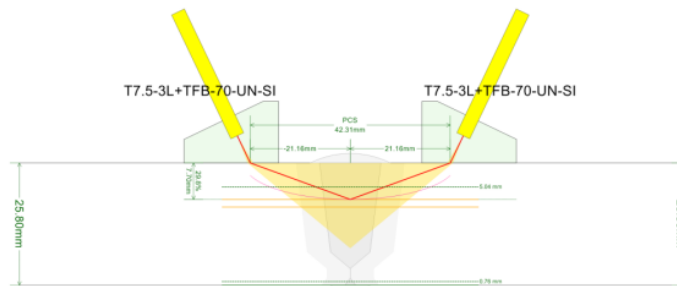
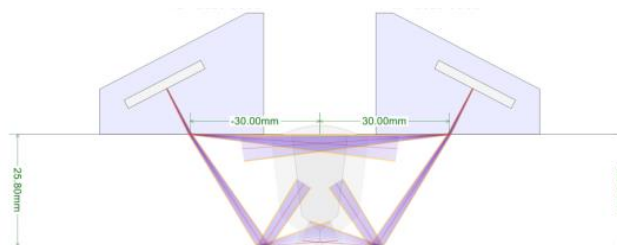
Одним из основных требований является наличие демонстрационного образца с имплантированными дефектами заданного размера в зависимости от толщины объекта и расположенных по всему сечению шва.



Демонстрационный образец (Demonstration block) предназначен для подтверждения пригодности процедуры или проведения проверки возможностей выбранных методов с подтверждением выявления и правильным измерением имплантированных дефектов, которые расположены по всему сечению шва.



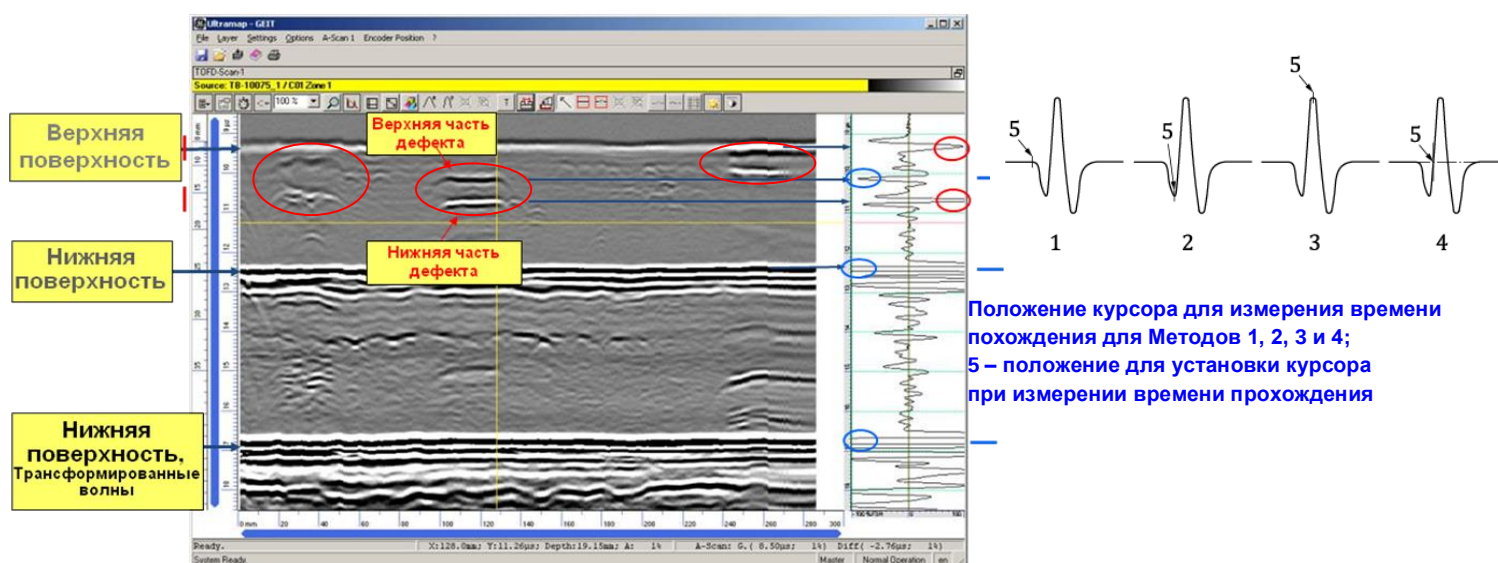
При этом должен быть предусмотрен контроль мертвых зон TOFD другими методами, например, магнитопорошковым контролем (MT), вихревыми токами (ET), или ультразвукового контроля с использованием головных волн или др.



Анализ результатов контроля качества сварных швов, по данным TOFD и радиографии, показывает, что метод TOFD обеспечивает возможность проведения измерений глубины залегания дефекта, а также информацию высоте дефекта.

Ограничения метода TOFD

1. Величина амплитуды эхо-сигнала не используется методе TOFD для определения величины дефекта.



Вид D-скана на экране компьютера

Характеристика дефектов для метода TOFD не столь детализирована как при использовании эхо - импульсных методов.

Отсутствует простой амплитудный порог для того, чтобы выбрать дефекты, заслуживающие наибольшего внимания с целью их регистрации.

Приёмы методов, основанных на измерении амплитуд, оказываются в большинстве случаев непригодными при проведении контроля методом TOFD.

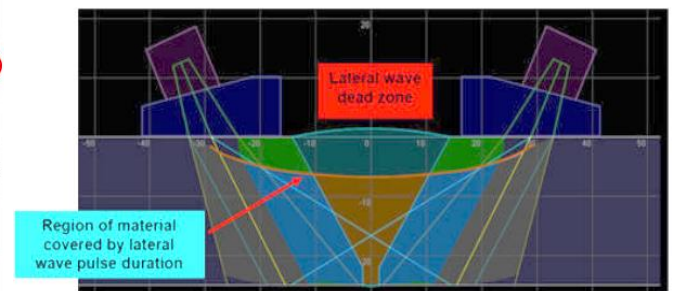
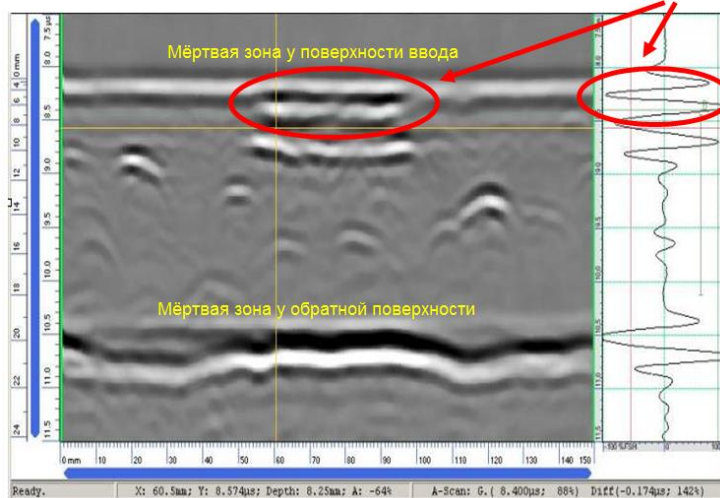
2. Слабые сигналы от дифрагированных волн.

Обычно амплитуда дифрагированных сигналов при контроле TOFD на 20-30dB ниже, чем сигналы, получаемые при контроле с зеркальным отражением при использовании эхо-импульсного метода. Поэтому в большинстве случаев имеется тенденция выполнения настроек вблизи максимальных возможностей усиления аппаратуры. Электрические помехи - типичная проблема для многих систем TOFD и для снижения этих помех, обычно используют предусилители, расположенные недалеко от преобразователей или комбинации генератор/предусилитель.

3. Наличие «Мёртвых зон» у поверхности ввода и обратной поверхности.

Самое общепризнанное ограничение TOFD связано с потерей информации по причине наличия мёртвой зоны.

Нижняя часть Боковой продольной волны (Lateral wave) и верхняя часть сигнала от дефекта не разделяются.



Функция (фильтр) дефектоскопа, используемая для удаления LW- волн может увеличить объём информации, связанной с приповерхностной зоной.

Removal of lateral waves may increase the information about the OD ligament.

Особенно следует отметить наличие такой зоны у поверхности ввода, а также подобная зона встречается у противоположной стенки при отражении сигнала от обратной стенки.

Считают, что метод TOFD действительно страдает от наличия близко расположенного к поверхности ввода такого эффекта, связанного с латеральной волной (lateral wave), но это не представляет серьёзной проблемы, если не требуется проведение оценки размеров дефектов, выходящих на поверхность. При этом подчёркивается, что дефекты, выходящие на поверхность или близко расположенные к поверхности дефекты, можно считать критическими.

А также является ещё достаточно спорным тот факт, смогут ли улучшить результаты в «мёртвой зоне» и обеспечить лучшую разрешающую способность традиционные ультразвуковые методы, основанные на отражении ультразвука от дефекта.

Если такие дефекты представляют интерес, то в этом случае предлагается сочетание метода TOFD с фазированными решётками (UT- PA), магнитопорошковым контролем (MT), вихревыми токами (ET), или ультразвукового контроля с использованием головных волн.

4. С использованием только одного непараллельного сканирования вдоль сварного шва не представляется определить местоположение индикации от дефекта по ширине шва, что также создаёт трудности при расшифровке индикаций в случае их наложения друг на друга.

Вид сбоку => D-скан:

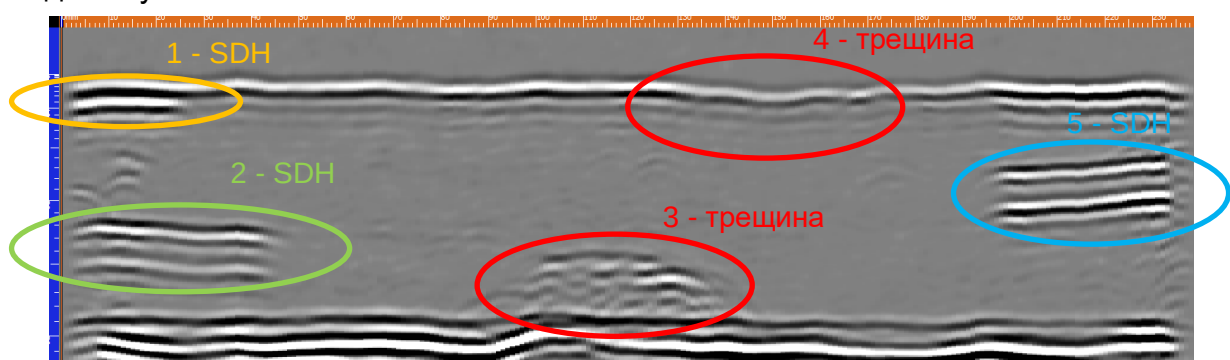
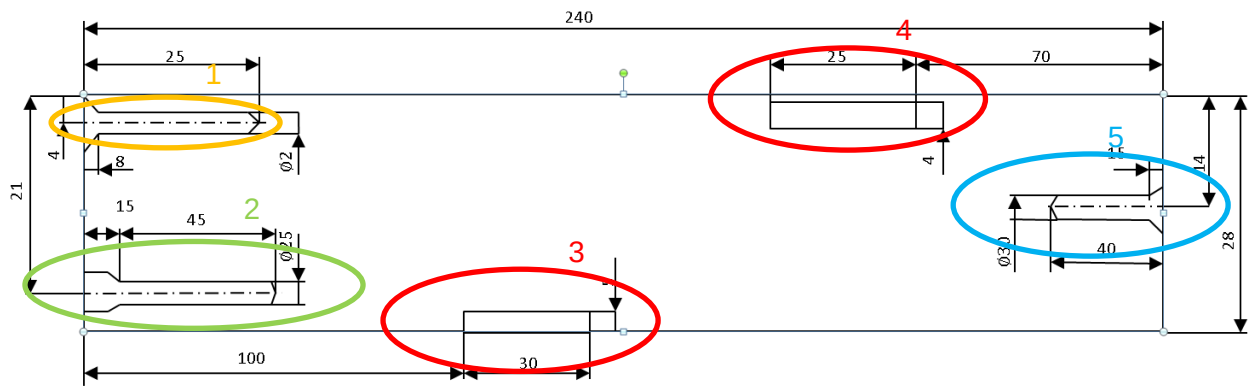
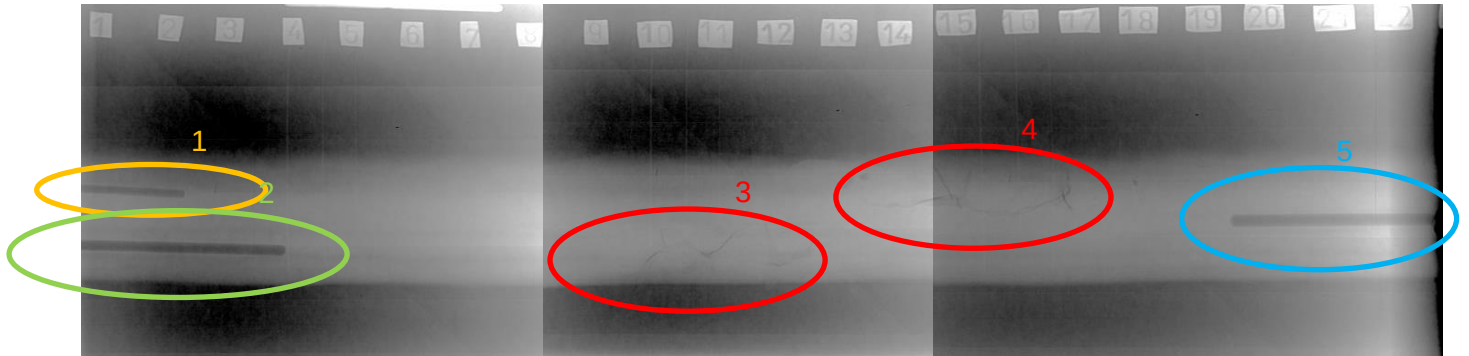


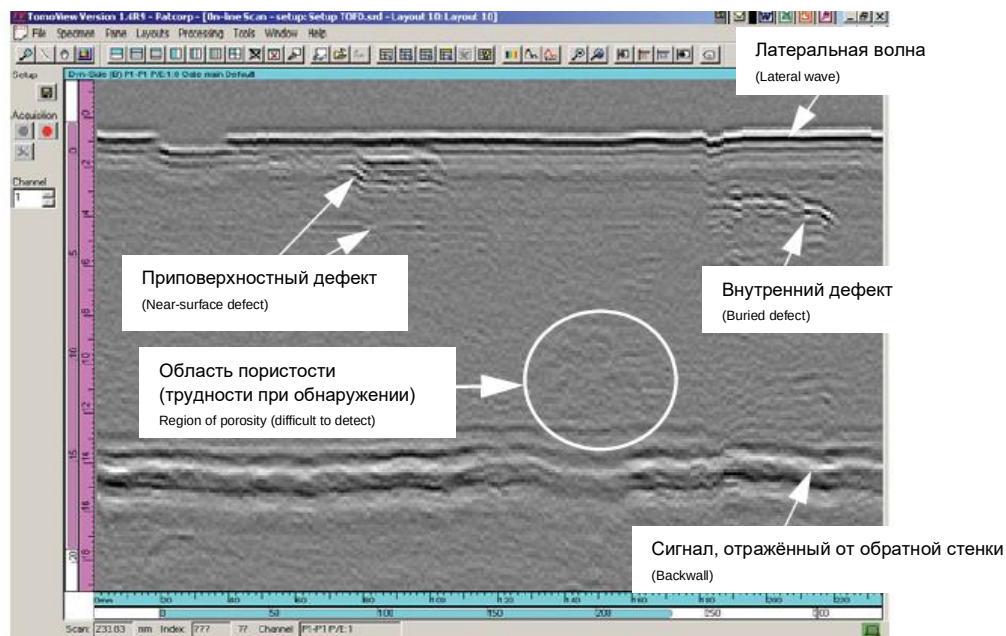
Схема расположения искусственных дефектов по высоте в сварном шве:



Вид сверху, радиографический снимок:



5. Если специалист проводящий контроль не имеет опыта, то в этом случае анализ может вызывать затруднения => Обучение + Практика.



Образы дефектов на развёртке экрана монитора при контроле методом TOFD

Все полученные данные при контроле TOFD должны быть визуально проанализированы для того, чтобы выбрать заслуживающие наибольшего внимания с целью их регистрации.