



Оригинал данной статьи находится [здесь](#).  
Ниже представлен перевод НТЦ «Эксперт»

**Новый калибровочный образец, предназначенный для выявления отклонений параметров ультразвуковых систем контроля качества, использующих детекторы с фазированной решёткой. Параметры образца соответствуют требованиям стандартов ISO.**

Daniel CHAUVEAU<sup>1</sup>, Ed GINZEL<sup>2</sup>, Eric SJERVE<sup>3</sup>,  
Pierre CALMON<sup>4</sup>, Colin BIRD<sup>5</sup>, Michael MOLES

<sup>6</sup>†<sup>1</sup> Institut de Soudure, Villepinte, France

<sup>2</sup> Material Research Institut, Waterloo, Canada

<sup>3</sup> IRISNDT, Edmonton, AB, Canada

<sup>4</sup> CEA LIST, Saclay, France

<sup>5</sup> Doosan Babcock Limited, Renfrew, Renfrewshire, UK

<sup>6</sup> Olympus Scientific Solutions Americas, Waltham, USA -

†(Deceased)

Адрес электронной почты для связи: d.chauveau@isgroupe.com

**Предисловие.** С момента появления и широкого распространения в промышленности устройств, имеющих в своём составе фазированные решетки, характер проведения процедур ультразвукового контроля качества материалов претерпел значительные изменения. В настоящий момент существуют международные стандарты, регламентирующие выполнение процедур ультразвукового контроля качества материалов при помощи оборудования, включающего в свой состав устройства с фазированными решётками, однако аналогичных стандартов, регламентирующих процессы калибровки оборудования при помощи специальных калибровочных образцов, до сих пор не существует. В связи с этим проблема калибровки инструментов, работа которых основана на применении фазированных решёток, решается эксплуатирующими организациями частным порядком, зачастую бессистемно.

Таким образом, изначально вопрос ставился так: соответствует ли существующий калибровочный образец, удовлетворяющий требованиям стандарта ISO 2400, нуждам калибровочных регламентов, установленных для ультразвуковых инструментов, использующих фазированные решётки, или же существует необходимость в разработке другого устройства?

Как выяснилось, образец, удовлетворяющий требованиям стандарта ISO 2400, не может обеспечить всех запросов пользователей ультразвукового оборудования с фазированными решётками. Поэтому подкомиссией VC Международного института сварки (МИС, International Institute of Welding) был запущен проект по разработке калибровочного образца для удовлетворения нужд отраслей, использующих ультразвуковые [дефектоскопы с фазированными решетками](#). В настоящее время вопрос о принятии данного калибровочного образца поставлен на голосование в ISO, по результатам

которого, как ожидается, появится новый международный стандарт 19675 (старый стандарт ISO 2400 при этом также останется в силе). Ниже будут описаны основные этапы проекта МИС по разработке нового калибровочного образца, а также обозначены предполагаемые области его использования и основные характеристики.

## 1. Введение

В течение многих лет для целей калибровки ультразвукового промышленного оборудования было принято использовать калибровочный образец ПW1, также известный как V1, и в последнее время часто называемый просто ISO 2400. Этот калибровочный образец полностью удовлетворяет базовым нормативным требованиям, предъявляемым к устройствам, используемым в ходе проведения стандартных калибровочных процедур для ультразвуковых систем, таких, например, как калибровка скорости распространения звуковой волны и времени задержки сигнала в призме для материалов различной толщины. Калибровочный образец также способен выполнять дополнительные функции, такие как определение точки выхода луча, определение угла отклонения луча от нормали, а также служить эталоном при установке пороговых уровней чувствительности систем в соответствии с требованиями AWS D1.

---

<sup>1</sup> ПW МИС (Международный институт сварки) — это международная организация, основной сферой интересов которой являются вопросы, связанные с технологическими приёмами сварки. Под его эгидой действует ряд технических комиссий, в сфере внимания которых находятся различные аспекты сварных технологий. Комиссия V рассматривает вопросы, связанные с применением технологий неразрушающего контроля качества, а также технологий контроля качества сварных швов, а ее подкомиссия VC — методы исследований сварных швов с применением ультразвукового оборудования. МИС входит в число организаций, официально признанных стандартизирующей организацией ISO. МИС является уполномоченной организацией, которая может быть привлечена в проекты, связанные со стандартизацией материалов, оборудования и процедур.

## 2. История создания оригинального калибровочного образца МИС

Калибровочный блок МИС изначально был разработан под руководством Комиссии V Международного института сварки. В 1955-1956 годах были получены два варианта конструкции эталонного образца: один от голландской делегации (см. Рис. 1а) и второй — от британской (см. Рис. 1б). Подкомиссия VC провела сравнительное исследование возможностей каждого из этих образцов. Эксперты подкомиссии провели серию тестов, результаты которых [1, 2, 3] продемонстрировали преимущество калибровочного образца, предложенного делегацией Нидерландов. Этот образец предоставлял расширенный список возможностей для практического применения, по сравнению с британским вариантом, возможности которого были документированы в спецификации BS 2704 в 1956 году.

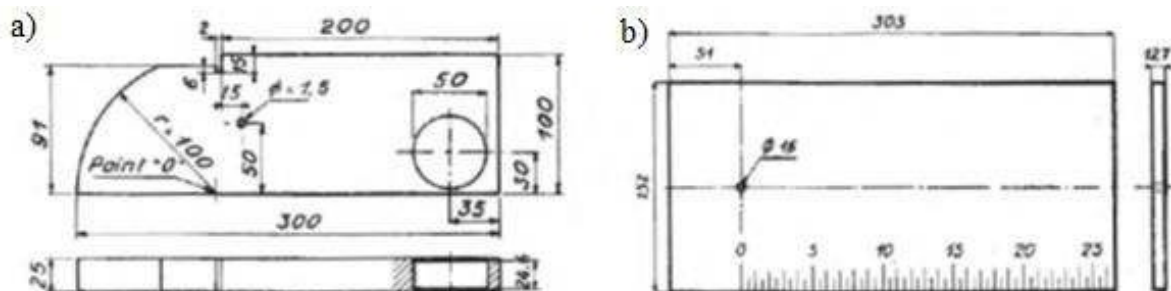


Рис.1: Первоначальные варианты конструкции калибровочных образцов института ПW  
Конструкция оригинального калибровочного образца принятого МИС, позднее

легла в основу разработок многих других образцов, которые были признаны эталонными и стали стандартными во многих странах мира (стандарты NF A09-310, BS 2704, DIN 54120, NEN 2510, JIS Z 2345, AWS D1.1 и др.). Ф. Х. К. Хотчкисс [4] провел широкомасштабное сравнение различных моделей, выделив различия между ними и описав возможные преимущества каждого. Также он описал проблемы, связанные с антизотропными свойствами конструкционных материалов. Из результатов этих исследований вытекает, что различия в настройках оборудования (в частности, наклонного преобразователя), выполненных при помощи различных калибровочных образцов, вызваны не только различиями в геометрической конфигурации калибровочных образцов, но и акустическими свойствами конструкционных материалов, такими как коэффициент поглощения звуковой волны и анизотропия. Т. П. Лёрч и др. [5] представили результаты измерений, выполненных для 18-ти образцов, изготовленных из стали различных марок. Исследователи обнаружили отличия в скорости распространения и затухания звуковых волн, однако отметили, что эффект, в целом, выражен незначительно. Тем не менее, они одобрили следующие решения Европейского комитета по стандартизации:

- чётко определить тип стали, используемой для изготовления калибровочных образцов;
- детализировать этапы обработки конструкционной стали, применяемой для изготовления калибровочных образцов;
- установить порядок проведения процедур, подтверждающих необходимые акустические качества конструкционных сталей (ультразвуковые исследования);
- определить допустимые диапазоны, в которые должны укладываться параметры конструкционных сталей в ходе проведения ультразвуковых исследований.

В настоящее время данные рекомендации включены в регламент стандарта ISO 2400 [6], первая редакция которого была опубликована в 1972 году (последняя ревизия от 2012 года), также они закреплены регламентом стандарта ISO 19675. Данный стандартный регламент предполагает последовательные процедуры аустенитизации при температуре 920 °С в течение 30 минут, резкого охлаждения в воде, закаливания путем нагревания до 650 °С в течение трех часов и последующего охлаждения в воздушной среде без обдува. При надлежащем выполнении этих процедур конструкционная сталь калибровочного образца приобретает изотропные характеристики, а расхождения параметров, отмеченные Т. П. Лёрчем, невозможно зарегистрировать инструментально. К сожалению, как выяснилось в настоящий момент, конструкционный материал некоторых модификаций калибровочных образцов, из списка заявленных соответствующими стандарту, не может продемонстрировать изотропных свойств. Поэтому в регламенты стандартов, регулирующих процедуры, связанные с использованием ультразвуковых устройств, снабжённых фазированной решёткой, потребовалось внести некоторые дополнения.

### **3. Предпосылки начала проекта по созданию калибровочного образца для ультразвуковых систем, использующих фазированные решётки**

Ориентировочно, в 2009 году в комиссии V при МИС начались обсуждения оборудования для ультразвукового контроля качества материалов с использованием преобразователей на основе фазированной решетки и, соответственно, калибровочного образца, удовлетворяющего требованиям МИС для ультразвуковых приборов на основе фазированных решёток. С момента появления и широкого распространения в промышленности устройств, имеющих в своём составе фазированные решетки, характер проведения процедур ультразвукового контроля качества материалов претерпел значительные изменения. В настоящий момент существуют международные

стандарты, регламентирующие выполнение процедур ультразвукового контроля качества материалов при помощи оборудования, включающего в свой состав устройства с фазированными решётками, однако аналогичных стандартов, регламентирующих процессы калибровки оборудования при помощи специальных калибровочных образцов, до сих пор не существует. В связи с этим проблема калибровки инструментов, работа которых основана на применении фазированных решёток, решается эксплуатирующими организациями частным порядком, зачастую бессистемно.

Таким образом, изначально вопрос ставился так: соответствует ли существующий калибровочный образец, удовлетворяющий требованиям стандарта ISO 2400, нуждам калибровочных регламентов, установленных для ультразвуковых инструментов, использующих фазированные решётки, или же существует необходимость в разработке другого устройства? Как выяснилось, образец, удовлетворяющий требованиям стандарта ISO 2400, не может обеспечить всех запросов пользователей ультразвукового оборудования с фазированными решётками. Поэтому комиссией V Международного института сварки был запущен проект по разработке калибровочного образца для удовлетворения нужд отраслей, использующих ультразвуковые дефектоскопы с фазированными решетками.

В рабочую группу вошли представители многих стран. Работа группы продолжалась более пяти лет, при этом большая часть технической информации передавалась посредством сервисов на основе интернет-технологий. Ежегодные отчеты рабочей группы комиссии V представлялись на заседаниях МИС и получали одобрительные оценки. Отчет о ходе работы был также представлен на последней конференции по вопросам применения технологий неразрушающего контроля, прошедшей в Канаде.

#### **4. Проектирование и разработка конструкции калибровочного образца для ультразвукового оборудования, имеющего в своём составе фазированные решётки**

##### 4.1 Технические условия и цели

На первом этапе проектирования был очерчен круг интересов рабочей группы и определены цели. Основной целью проекта стало создание практичного и доступного калибровочного образца для обслуживания ультразвуковых дефектоскопов, использующих фазированные решётки, который также мог бы иметь обратную совместимость с калибровочными образцами, изготовленными в соответствии с требованиями стандартов, принятых во многих странах, и обеспечивать базовый функционал при калибровке традиционных машин.

Базовые функции, которые должен выполнять калибровочный образец, предназначенный для работы с оборудованием, содержащим фазированные решётки, были определены следующим образом: представлять собой эталон с нормированной скоростью распространения звуковой волны в своём теле, обеспечивать возможность калибровки времени задержки сигнала в призме преобразователя, а также возможность измерения реального угла ввода луча. Прочие требования к образцу были сформулированы следующим образом:

- Небольшие габариты и вес, приемлемая стоимость
- Соответствие параметров нормативам, указанным в регламентах стандартов
- Конструкция устройства должна обеспечивать проведение калибровочных мероприятий для устройств на основе фазированных решёток, регламент которых устанавливается, в том числе, смежными стандартами ISO [8],
- Доступность проверки (на соответствие стандарту) акустических характеристик калибровочного образца конечным пользователем без необходимости использования

специального оборудования.

Таким образом, стало очевидно, что характеристики калибровочного образца, предназначенного для поверки ультразвуковых систем, использующих фазированные решётки, должны удовлетворять требованиям стандарта ISO, что обеспечило бы повсеместное использование его в промышленности. Международный Институт Сварки является членом организации ISO, и имеет возможность установления отраслевых стандартов в рамках процедуры Route II.

Очевидно также, что калибровочный образец должен удовлетворять требованиям и иных массовых стандартов, распространённых в мире. Основными разработчиками стандартов и требований являются такие организации, как ISO, EN и ASME. Каждая из этих стандартизирующих организаций имеет индивидуальный подход к выработке требований к оборудованию, связанному с работой ультразвуковых систем на основе фазированных решёток, в общем случае, ASME никак не регламентирует свойства калибровочных образцов, однако, устанавливает параметры оборудования и техпроцессов, значения которых подлежат нормированию. В связи с этим, специализированная рабочая группа организации ASME приняла решение о передаче права на разработку калибровочного образца специалистам Международного Института Сварки. Стандарты EN, регламентирующие характеристики калибровочных образцов, являются более жёсткими и детальными, при этом имеют предписывающий характер. Европейский Комитет по Стандартизации (CEN) разработал три стандарта, включающих требования к оборудованию, использующему фазированные решётки. Все три этих отраслевых стандарта входят в виде отдельных частей в общий стандарт ISO 18563. Часть 3 [8] упомянутого стандарта является наиболее актуальной для описания требований, предъявляемых к устройствам данного типа, как можно видеть, регламентом предусмотрены дополнительные параметры, значения которых должны быть нормированы (эти требования отсутствуют в регламентах ASME), они перечислены ниже:

- Конкретная разбивка каналов передачи сигнала и нормирование изменения их относительной чувствительности,
- Нормирование некоторых параметров звукового излучателя, например, характеристик боковых лепестков диаграммы излучения, а также угол отклонения основного лепестка от номинального значения,
- Одновременный контроль значений параметров точки входа звукового луча и угла его преломления в материале,
- Верификация визуализированного образа, а также проверка алгоритмов визуализации, которые, главным образом, применяются при получении S-сканов.

#### 4.2 Иные соображения

В ходе разработки данного калибровочного образца был высказан ряд соображений по поводу расширения его функциональных возможностей. При практической эксплуатации оборудования, имеющего в своём составе фазированную решётку, может потребоваться проведение измерительных и калибровочных мероприятий, прямо не установленных в стандартных регламентах. В качестве примеров подобных действий можно привести процедуры определения угловой разрешающей способности, угловой чувствительности, установка пороговых значений чувствительности оборудования, установка уровня режекции помех, углов отклонения луча, и т.д.

При обсуждении возможностей расширения функционала калибровочного



образца быстро выяснилось, что на практике, изготовление универсального прибора является трудновыполнимой задачей, поскольку каждая из дополнительных функций требовала для работы своего уникального набора инструментов. Более того, специфичные особенности конкретных машин могли требовать совершенно разных подходов к измерению одних и тех же характеристик, например, результат измерения угловой разрешающей способности является функцией от угла падения звукового луча, его пути в толще материала, а также размера и топографического расположения отражателей. При этом, если для задания пути и угла распространения звукового луча был использован набор боковых отверстий (SDH) определённого диаметра и расположенных на определённом расстоянии друг от друга, то полученная информация содержит лишь данные о разрешающей способности, которое оборудование обеспечивает в узком диапазоне сдвига фаз, что сильно ограничивает проведение измерений данного рода. Подобные проблемы сопровождают процедуры измерений каждого из специфичных параметров ультразвуковой системы, что делает невозможным создание универсального инструмента, обладающего расширенным набором возможностей для измерения дополнительных характеристик, в принципе. По этой причине никакие дополнительные возможности в конструкцию калибровочного образца на этапе разработки не вводились. Упомянутые выше измерительные процедуры должны выполняться при помощи специализированного оборудования, которое должно быть разработано с учётом всех актуальных технических требований.

Тем не менее, конструкция данного калибровочного образца позволяет проводить нормирование пороговых уровней чувствительности оборудования. Для этой цели может применяться ряд вертикальных отверстий (SDH), имеющихся в теле образца, хотя изначально, они были введены в конструкцию по другим соображениям (для определения таких параметров, как угол падения луча, линейность изображения по вертикали, проверка правильности визуализации, и т.д.). Тем не менее, при помощи этого ряда отверстий (их диаметр составляет 3 мм) возможно выполнение операций по калибровке уровней чувствительности оборудования: требования европейских регламентов при этом выполняются полностью, а требования инструкций организации ASME в ограниченном объёме.

## 5. Конструкция калибровочного образца

### 5.1 Основные этапы проектирования

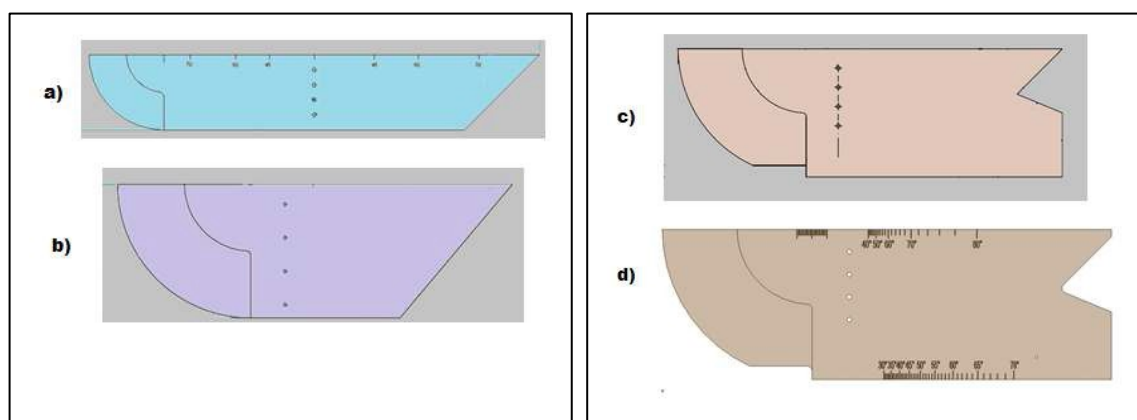


Рис. 2: Основные этапы проектирования калибровочного образца для систем ультразвукового контроля качества с фазированной решёткой (PAUT)

Первый вариант устройства (а) был предложен на рассмотрение подкомиссии VC разработчиком Colin Bird. В ходе обсуждения быстро было принято решение об увеличении высоты образца с 50 мм до 100 мм (b). Затем претерпела изменение наклонная часть образца, её геометрия была трансформирована таким образом, чтобы торцевая сторона образца получилась нескошенной, длиной 100 мм, и позволяла проводить измерение скорости распространения звуковых волн по трём основным направлениям (c). После этого в конструкцию образца были добавлены некоторые дополнительные элементы, а также элементы разметки (d).

Регламент стандарта ISO 19675 в настоящий момент проходит стадию окончательного голосования (FDIS), с большой вероятностью этот стандарт окончательно будет принят организацией ISO в 2016 году.

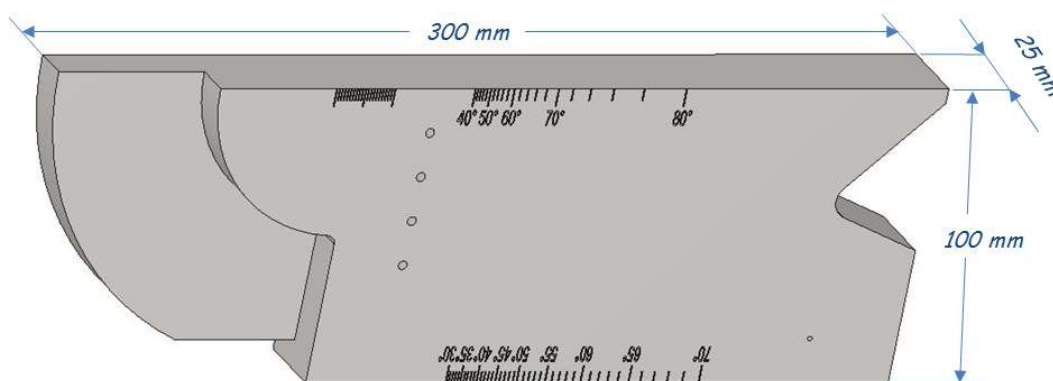


Рис. 3: Чертёж калибровочного образца для УЗ систем с фазированной решёткой, представленный на рассмотрение ISO/FDIS 19675

На первый взгляд, калибровочный образец для ультразвуковых систем с фазированной решёткой, представленный Международным Институтом Сварки, очень похож на предыдущую модель, предназначенную для калибровки обычных УЗ систем. Однако, данная модификация образца позволяет проводить гораздо большее число измерений и калибровочных процедур, чем его предшественники. Неоценимую помощь в ходе разработки данного прибора оказала технология моделирования свойств и параметров материалов, что позволило значительно ускорить процесс валидации требуемых параметров.

## 5.2 Моделирование параметров

Насколько известно специалистам, принимавшим участие в разработке данного калибровочного образца, он является первым устройством такого рода, при проектировании которого широко использовалось программное обеспечение, позволяющее моделировать поведение ультразвуковых волн в различных материалах. При проведении данных исследований был использован пакет ПО CIVATM, разработанный французской компанией SEA. Пакет ПО CIVATM обеспечивает расчёт поведения ультразвуковых волн в материале по сложной модели распространения, в основе которой лежат полуаналитические методы, базирующиеся на синтезе функции импульсного отклика, что позволяет моделировать как процессы взаимодействия волны с дефектными участками материала, так и проводить трёхмерный анализ его анизотропных свойств. Моделирование параметров осуществлялось в два этапа, по заранее разработанному членами рабочей группы плану. На первом этапе была определена общая конфигурация устройства и положение отражателей, соответствующее концепции высокоуровневого калибровочного образца. Основной целью данных работ являлась разработка базовой

конструкции, обеспечивающей выполнение всех запланированных функций при обязательной простоте использования и минимуме погрешностей измерения. Отдельным примером процесса проектирования может служить расчёт модели отражения звуковых волн от вертикальных отверстий, имеющихся в толще образец, для определения оптимальной конфигурации и топологии их расположения, что позволило наделять образец функцией быстрой калибровки оборудования при получении S- сканов, при этом влияние паразитных отражений звуковых волн практически сведено к нулю, см Рис. 4. На этом этапе проектирования были определены внешние габариты калибровочного образца.

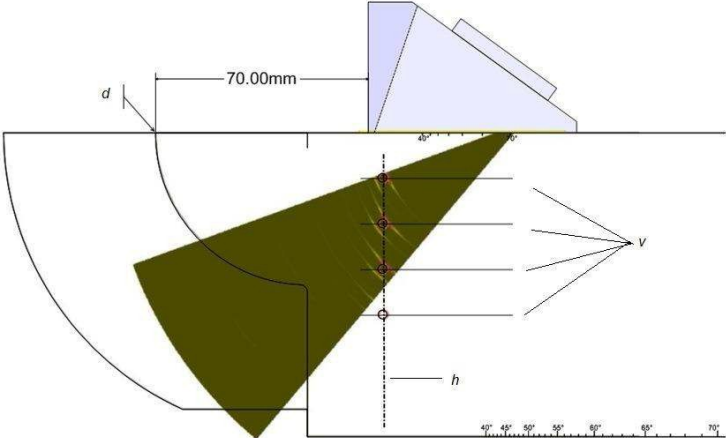


Рис. 4. Моделирование отражения звуковых волн от вертикальных отверстий при получении S-сканов

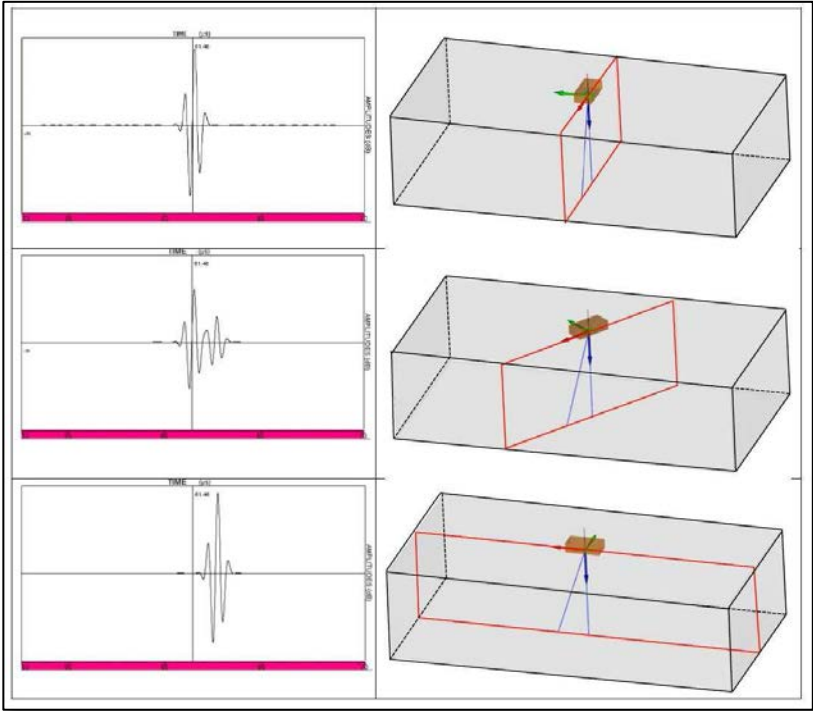


Рис. 5. Смоделированная иллюстрация эффекта двойного преломления поперечных волн в анизотропных средах, наблюдаемая при вращении зонда вокруг неподвижной оси



## 6. Использование калибровочного образца

В материалах, опубликованных Международным Институтом Сварки, объяснялось [9] каким образом традиционный калибровочный образец должен применяться для проверки основных функций оборудования, работа которого основана на регистрации отражённых звуковых импульсов. Комиссия V решила сохранить существующую практику и дух документа, выпустив два приложения к стандарту ISO 19675, которые в сжатом виде содержат основные сведения, касающиеся методов использования нового калибровочного образца, внешний вид которого представлен на Рис. 6.



Рис. 6: Новый калибровочный образец для ультразвуковых систем с фазированной решёткой, изготовленный в соответствии с требованиями стандарта ISO 19675

**Приложение А** является нормативным документом, и описывает процедуры проверки анизотропных свойств конструкционных материалов, а также содержит инструкции для производителей оборудования, касающиеся методов определения скорости распространения звуковых волн в материалах (значения этих параметров должны быть зафиксированы в сопроводительных документах, входящих в комплект поставки калибровочного образца).

**Приложение В** содержит справочную информацию. В нём рассматриваются отличия нового калибровочного образца, предназначенного для проверки параметров систем, использующих фазированную решётку от образца, изготавливаемого по регламентам стандарта ISO 2400, а также описываются дополнительные возможности, доступные при использовании нового прибора: определение времени задержки сигнала в призме, определение параметров боковых лепестков диаграммы направленности, оценка параметров активного элемента системы, а также иных элементов, настройка параметров чувствительности, верификация параметров визуализации, и т.д.

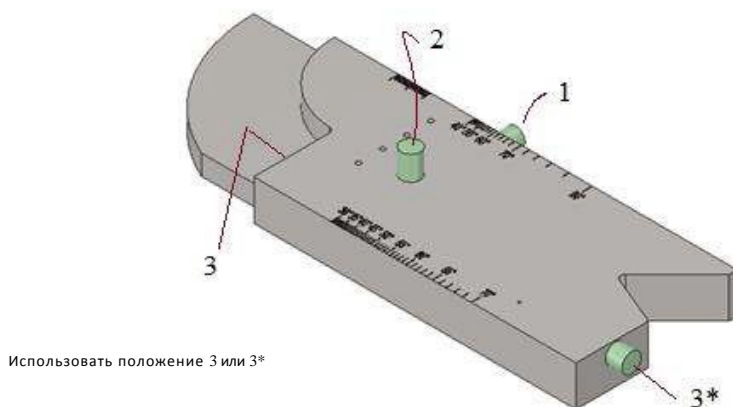


Рис. 7: положение зондов при проверке анизотропных свойств материала образца

## Проверка анизотропных свойств материала калибровочного образца (Приложение А)

При соблюдении производителем требований к техпроцессам и материалам, изложенным в документе ISO 19675, соответствующей термической и механической обработке поверхности калибровочного образца, предназначенного для работы с системами, использующими фазированную решётку, он должен демонстрировать выраженную анизотропию, при этом скорость распространения звуковых волн в его теле должна укладываться в заданный стандартом интервал ( $V_{L0} = 5920 \text{ м/с} \pm 30 \text{ м/с}$  и  $V_{T0} = 3255 \pm 15 \text{ м/с}$ ). Новый калибровочный образец, предназначенный для тестирования систем на основе фазированной решётки, обладает очень важным качеством: покупатель этого изделия может самостоятельно провести проверку на соответствие его характеристик стандартным требованиям. Данное свойство вытекает из того факта, что определение скорости распространения звуковых волн в теле калибровочного образца возможно проводить по трём ортогональным направлениям.

Для проведения данных исследований требуется наличие зонда с узконаправленным излучателем продольной волны, а также зонда с излучателем поперечных волн. Зонды должны иметь возможность работы в широком диапазоне частот, а их излучатели должны иметь не более 12.5 мм в диаметре. При креплении зондов должна быть использована рекомендуемая производителем контактная мастика. Излучатели следует разместить в местах, указанных на Рис.7, регистрацию показателей временной задержки следует производить в интервале от линии регистрации донного сигнала до линии появления первого дубоения эха. При регистрации показаний отражения поперечной волны зонд следует вращать вокруг своей оси на угол, превышающий  $90^\circ$ , и сравнивать время прохождения медленных и быстрых мод волны. Время прохождения всех трёх волновых мод фиксируется, после чего вычисляется скорость распространения волны в материале для каждой из них. В том случае, если материал обладает анизотропными свойствами, будет заметен лёгкий эффект двойного преломления звуковых волн, который обуславливается разделением быстрых и медленных мод поперечных волн. В калибровочном образце, изготовленном из материала со слабым анизотропным эффектом, выявить разницу в приходе фронтов быстрых и медленных мод волн возможным не представляется.

## Способы применения прибора (Приложение В)

- ❖ Измерение угла отклонения акустической оси от нормали (использование в качестве датчика отклонения луча в зонде)

Первым шагом этой процедуры является составление схемы прозвучивания образца с определением закона формирования фронта звуковой волны для исследуемого наклонного излучателя. После этого определяется точка выхода луча путём перемещения преобразователя в пределах окружности радиусом 100 мм по моменту регистрации максимального значения отражённого сигнала. На призме преобразователя следует сделать отметку тонким маркером в виде линии, в том месте, где центр радиуса окружности пересекается с гранью призмы. Затем зонд следует перемещать до тех пор, пока не будет достигнут максимум отражённого сигнала от самого нижнего, либо самого верхнего глухого отверстия диаметром 3 мм, имеющегося на калибровочном образце набора, см. Рис. 8.

Считайте значение угла с маркированной шкалы, имеющейся на поверхности калибровочного образца (градация с шагом  $0.5^\circ$ ) – цифра покажет фактическое значение угла преломления акустического луча.

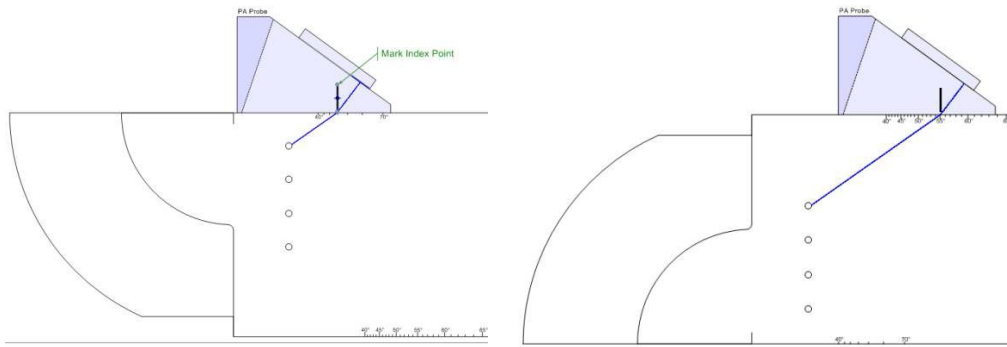


Рис. 8: Определение реального значения угла преломления луча зонда

❖ Определение правильности расположения элементов преобразователя

Процедура В-сканирования позволяет наглядно оценить правильность работы алгоритма задержки сигналов в системе с фазированной решёткой. При этом представляются данные об амплитуде и времени прихода донного сигнала для каждого элемента, составляющего решётку. В том случае, когда первый элемент преобразователя зонда расположен ближе к концу калибровочного образца, предназначенного для работы с УЗ-системами с фазированными решётками, для него будет выполняться условие наиболее быстрого возврата отражённого импульсного сигнала, а для всех последующих элементов будет наблюдаться монотонное увеличение этого параметра. На Рис. 9 показан результат проведения В-сканирования для зонда с преобразователем, состоящим из 64 элементов и получением графической картины отражения сигнала от V-образной выемки, имеющейся на одной из граней калибровочного образца. Время прихода сигнала для каждого последующего элемента преобразователя несколько выше, чем для предыдущего, что свидетельствует о правильной конфигурации компонентов зонда.

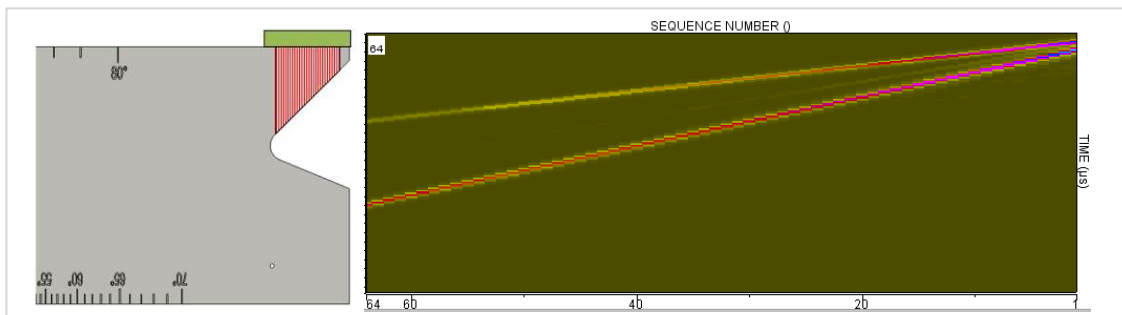


Рис. 9: Размещение зонда на поверхности калибровочного образца и полученный при этом В-скан при правильном расположении элементов преобразователя

## 7. Заключение

В настоящее время данный проект, целью которого является разработка калибровочного образца для ультразвуковых систем контроля на основе фазированной решётки, является практически завершённым. Финальным шагом станет включение описываемого устройства организацией ISO в регламенты соответствующих стандартов, которые будут выпущены, как ожидается, в 2016 году. Специалисты рабочей группы, задействованные в настоящем проекте, надеются на то, что созданный ими калибровочный образец станет удобным инструментом и найдёт широкое применение в отраслях, связанных с эксплуатацией ультразвукового оборудования, содержащего фазированные решётки.

## Благодарности

Авторы настоящего документа выражают благодарность всем членам рабочей группы Международного Института Сварки, членам комиссии V, а также другим специалистам, вовлечённым в проект: Krishnan Balasubramanian (Индия), Philippe Benoist (Франция), Rick Cahill (США), Gerd Dobmann (Германия), Robert Ginzler (Канада), Weina Ke (Франция), Nicolas Leymarie (Франция), Steve McCarley (Канада), Guiseppe Nardoni (Италия), Udo Schlengermann (Германия)

## Литература

- [1] Commission V – Essais, mesures et contrôle des soudures – Rapport IIW/IIS -23-59 – Emploi des blocs d'étalonnage destinés au contrôle des appareils d'examen par les ultrasons- Soudage et techniques connexes, N° 03/04, pp. 149-156, 1959.
- [2] Commission V - Testing, Measurement and Control of Welds - Report IIW/IIS 23-59 - Use of Reference Blocks for Checking Ultrasonic Inspection Apparatus - Br.welding Journal., pp. 230-237, April 1960.
- [3] M. Evrard - Intérêt des blocs d'étalonnage dans le contrôle non destructif par les ultrasons. Les Mémoires Scientifiques de la Revue de Métallurgie, Vol. 56, N°. 2, pp. 111-123, 1959.
- [4] F.H.C Hotchkiss – Guide to designs of IIW type blocks – Welding in the world, Vol. 30, N°7/8, pp158-173, 1992.
- [5] Terence P. Lerch, Martin C. Renken, and Christopher M. Fortunko – Ultrasonic properties of IIW type reference blocks, part1: measurements of primary properties. – Mat. Evaluation, pp. 1075-1079, Sept. 2000.
- [6] ISO 2400, Non-destructive testing – Ultrasonic testing – Specification for calibration block No. 1
- [7] Daniel Chauveau, Ed Ginzler, Pierre Calmon, Michael Moles and Eric Sjerne - IIW Phased Array Calibration Block - NDT in Canada 2015 Conference.
- [8] ISO 18563-3, Non-destructive testing - Characterization and verification of ultrasonic phased array equipment – Part 3: combined system.
- [9] IWW (Institute of Welding) Ultrasonic Working Group – Recommended procedure for the determination of certain ultrasonic pulse-echo equipment characteristics by the IIW calibration block – Welding in the world, Vol. 6, N°1, pp. 2-7, 1968.