XXIII Петербургская конференция
«Ультразвуковая дефектоскопия металлов
и перспективных материалов»

УЗДМ-2019

Ультразвуковой контроль от А до Я

(Памяти Анатолия Константиновича Гурвича)

Опыт ультразвукового контроля сварных соединений из аустенитных сталей дефектоскопами с фазированными решетками

Н.В.Мелешко, Т.И.Попова, М.А.Марьин, С.В.Осипов
ООО «Микроакустика-М», НИУ «МЭИ»

Нормативные документы

- СТО 00220256-014-2008 «Инструкция по ультразвуковому контролю стыковых, угловых и тавровых соединений химической аппаратуры из сталей аустенитного и аустенитно-ферритного классов с толщиной стенки от 4 до 30 мм»

Разработчик: ОАО «НИИХИММАШ»

- ПНАЭ Г-7-032-91 «Унифицированные методики контроля основных материалов (полуфабрикатов), сварных соединений и наплавки оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Ультразвуковой контроль. Часть IV. Контроль сварных соединений из сталей аустенитного класса»

Разработчики: НПО «ЦНИИТМАШ», НПО «Прометей», Научно-технический цент по ядерной и радиационной безопасности Госатомнадзора РФ

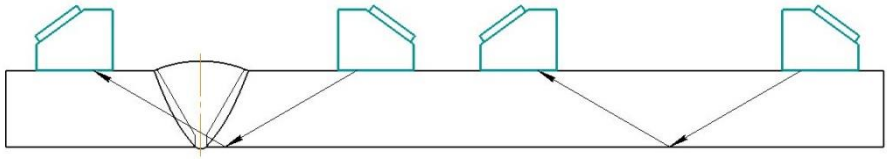
- ГОСТ Р 50.05.04-2018 «Унифицированные методики. Ультразвуковой контроль сварных соединений из стали аустенитного класса»

Разработчик: Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом»

СТО 00220256-014-2008 (4÷30 мм)

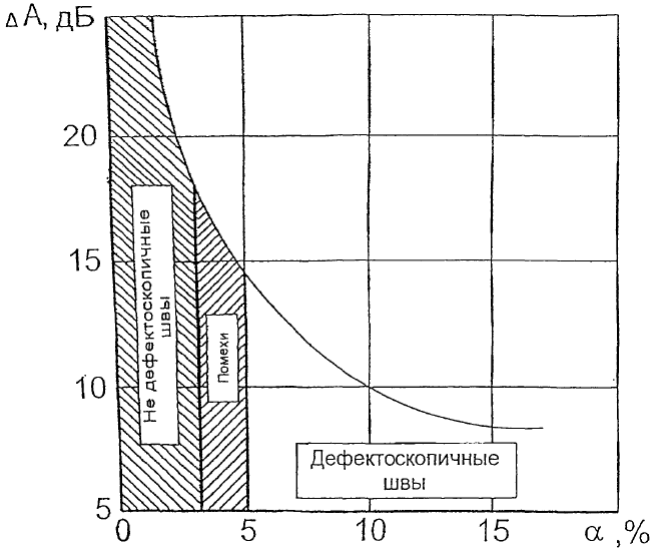
•Оценка структурного состояния металла стыкового шва и ОШЗ в дБ проводится путем измерения относительного затухания

$$\Delta A = A^{осн} - A^{св}$$

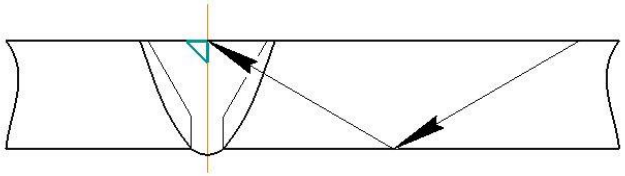


ЗТМ двумя ПЭП, УЗ пучок должен проходить через максимальную ширину поперечного сечения шва

•На акустические свойства сварного шва оказывает влияние содержание в нем ферритной фазы, т.к. главной особенностью совместной кристаллизации двух фаз в сварочной ванне является измельчение и дезориентация структуры металла шва, что изменяет затухание



•Выбор параметров контроля зависит от результатов измерения *ΔA* и содержания ферритной фазы



•НО должны изготавливаться из той же марки стали, что и ОК, а искусственный отражатель выполняется на сварном шве по центральной оси со снятым усилением

СТО 00220256-014-2008

1.Область применения

Настоящий стандарт распространяется на методику ультразвукового контроля стыковых, угловых и тавровых сварных соединений сосудов и аппаратов, предназначенных для применения в технологических установках химической, нефтехимической, нефтеперерабатывающей, нефтяной, газовой и других смежных отраслях промышленности, изготовленных из сталей аустенитного и аустенитно-ферритного классов марок 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т, 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т, 10Х17Н13М2Т, а также сталей зарубежного производства, например, стали 304, 304L, 321, 316 и других, близких по химсоставу указанных выше сталей, порядок его проведения, регистрацию дефектов и оценку качества сварных соединений.*

Данный стандарт может быть использован как при изготовлении, ремонте, реконструкции, монтаже, так и при техническом диагностировании, освидетельствовании и экспертизе промышленной безопасности оборудования.

Стандарт распространяется на доступные для контроля стыковые, угловые и тавровые сварные соединения, выполненные всеми видами автоматической, полуавтоматической, ручной электродуговой и аргонодуговой сварки, изготовленные в соответствии с ПБ 03-576-03,ПБ 03-584-03, ГОСТ Р 52630-2006, ОСТ 26-291-94, ГОСТ Р 50599-93, ОСТ 26.260.3-2001.

Доступными для контроля считаются сварные соединения, имеющие околошовную зону, позволяющую перемещать преобразователь в пределах, обеспечивающих прозвучивание всего сечения шва центральным лучом.

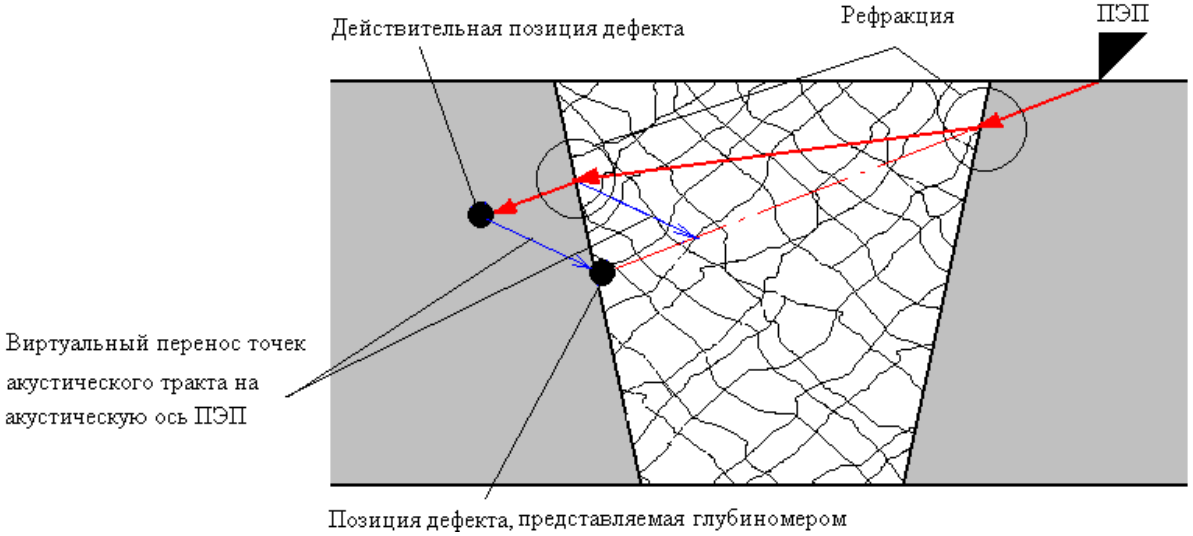
Стандарт не распространяется на контроль швов сварных соединений тангенциальных патрубков с корпусом или днищем, угловых сварных швов с укрепляющим кольцом, сварных соединений с конструктивным(остающимся) непроваром между свариваемыми деталями, на контроль швов, выполненных сваркой с одной стороны без подкладных колец (планок).

ПНАЭ Г-7-032-91 (10÷60 мм)

Методика предварительной оценки контролепригодности:

•влияние анизотропии наплавленного металла;
•квазиизменение угла ввода

Рефракция – изменение направления звукового потока на диффузной границе зон одного и того же материала с разными акустическими свойствами (в т.ч. скорость звука).



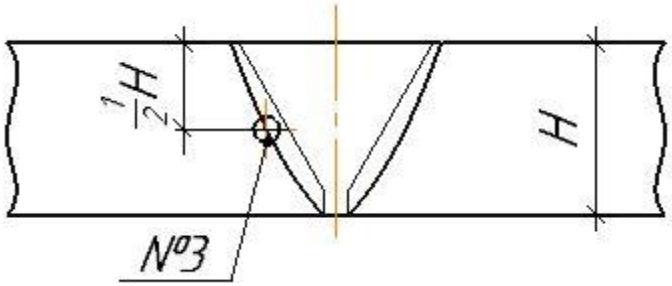
В результате дефектоскоп покажет дефект (если выделит его эхосигнал из помех) значительно выше его реальной позиции.

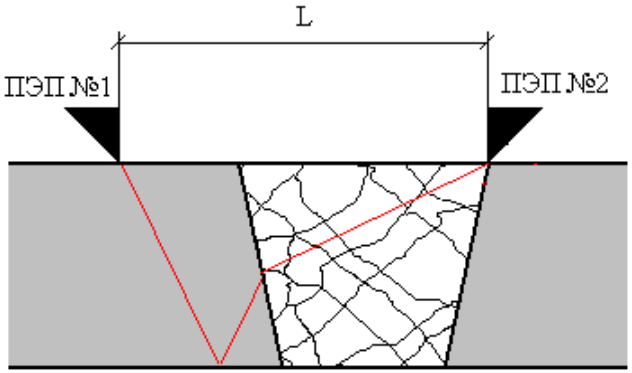
ПНАЭ Г-7-032-91 (НО)

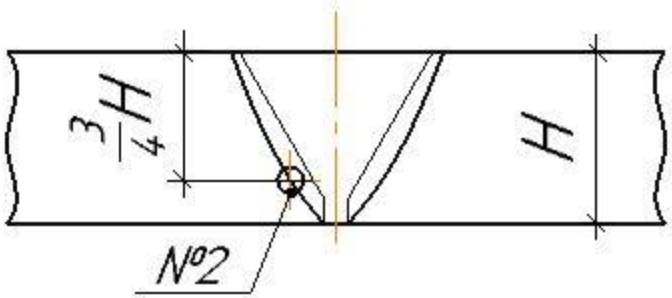
П112-2,5; П122-2,5-60; П122-1,8-70 (продольные и головные волны)

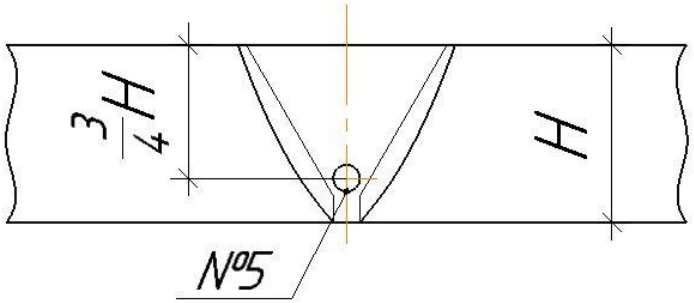
Контролепригодность:

- соотношение полезный сигнал-помеха (БЦО №3 Ø3 мм на глубине Н/2 по кромке);
- изменение угла УЗ луча при прохождении наплавленного металла (для толщин 20÷60 мм)









Настройка чувствительности:

- для толщин 10÷19,5 мм прямыми и наклонными ПЭП (БЦО №2 Ø3 мм на глубине 3/4Н по кромке)
- для толщин 20÷60 мм наклонными ПЭП (БЦО №3 Ø3 мм на глубине Н/2 по кромке)
- для толщин 20÷60 мм прямыми ПЭП (БЦО №5 Ø3 мм на глубине 3/4Н в центре)

ГОСТ Р 50.05.04-2017 (4,5÷100 мм)

Настоящий стандарт распространяется на УЗК сварных соединений из сталей… «аустенитного класса» оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок (АЭУ) и других элементов атомных станций (АС)…

…контролю подвергаются стыковые сварные соединения с номинальной толщиной свариваемых ОК от 4,5 до 100 мм включительно с радиусом кривизны околошовной наружной поверхности

- не менее 100 мм для продольных швов и
- не менее 25 мм для кольцевых.

При контроле трубопроводов диаметром менее 300 мм следует использовать притертые ПЭП.

ГОСТ Р 50.05.04-2017 (основные параметры)

Номинальная толщина сварного соединения, мм	Тип волны	ПЭП
От 4,5 до 10,0 включ.	Поперечная	С или РС
Св. 10,0 до 20,0 включ.	Поперечная и/или продольная, головная	С или РС, ПГВ
Св. 20,0 до 40,0 включ.	Продольная	С или РС
Св. 40,0 до 100,0 включ.	Продольная	РС

Номинальная толщина сварного соединения	Частота, МГц	Угол ввода, град	
		прямым лучом	однократно-отраженным лучом
От 4,5 до 10,0 включ.	4,0÷6,0	70°÷75°	70°÷75°
Св. 10,0 до 20,0 включ.	2,5÷5,0	60°÷70°	60°÷70°
Св. 20,0 до 40,0 включ.	1,5÷2,5	45°÷50° и 60°÷65°	Не допускается
Св. 40,0 до 100,0 включ.	0,5÷2,0	40°÷45° и 55°÷60°	Не допускается

Для проведения УЗК АСС с номинальной толщиной стенки более 10,0 мм и до 20,0 мм включительно применяется ПЭП, возбуждающий и принимающий головные волны частотой 1,8 МГц.

Для АСС с номинальной толщиной стенок от 20,0 мм до 100,0 мм контроль приповерхностного слоя (от 1,0 до 15,0 мм) рекомендуется выполнять головными волнами.

ГОСТ Р 50.05.04-2017 (НО)

НО должен:

•быть изготовлен из основного металла, что и контролируемое АСС;

•иметь СС, выполненное по той же технологии;

•иметь номинальную толщину стенки, соответствующую номинальной толщине стенки ОК;

•повторять геометрию контролируемого ОК.

Номинальная толщина стенки, мм	Диаметр БЦО, мм	Глубина расположение центра БЦО в НО	
		По центру АСС	По линии сплавления
1	2	3	4
От 4,5 до 10,0 включ.	2,0	$H/2$	$H/2$
Более 10,0 до 20,0 включ.	3,0	$H/2$ и $2H/3$	$H/2$ и $2H/3$
Более 20,0 до 40,0 включ.	4,0	$H/4$, $H/2$ и $3H/4$	$H/4$, $H/2$ и $3H/4$
Более 40,0 до 100,0 включ.	5,0	$H/5$, $2H/5$, $3H/5$ и $4H/5$	$H/5$, $2H/5$, $3H/5$ и $4H/5$
Примечание - H - номинальная толщина стенки.			

Опорный уровень для наклонных ПЭП определяется отдельно для каждого БЦО (по линии сплавления до наплавленного металла АСС;
по центру АСС;
через наплавленный металл АС).

Усиление шва должно быть удалено и выровнено с поверхностью основного металла в следующих случаях:

•при номинальной толщине АСС 40 мм и более;

•для оборудования цилиндрической формы и трубопроводов с диаметром более 350,0 мм и номинальной толщиной стенки 40,0 мм и более;

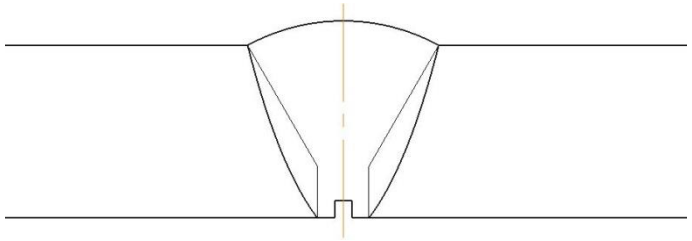
•если одна из сторон недоступна для УЗК и УЗК однократно отраженным лучом невозможен;

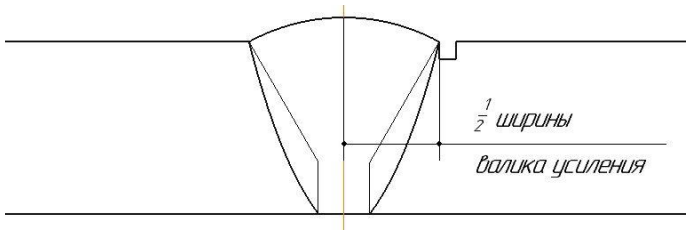
•если ширина усиления не позволяет прозвучивать корень шва прямым центральным лучом.

НО до 10 мм

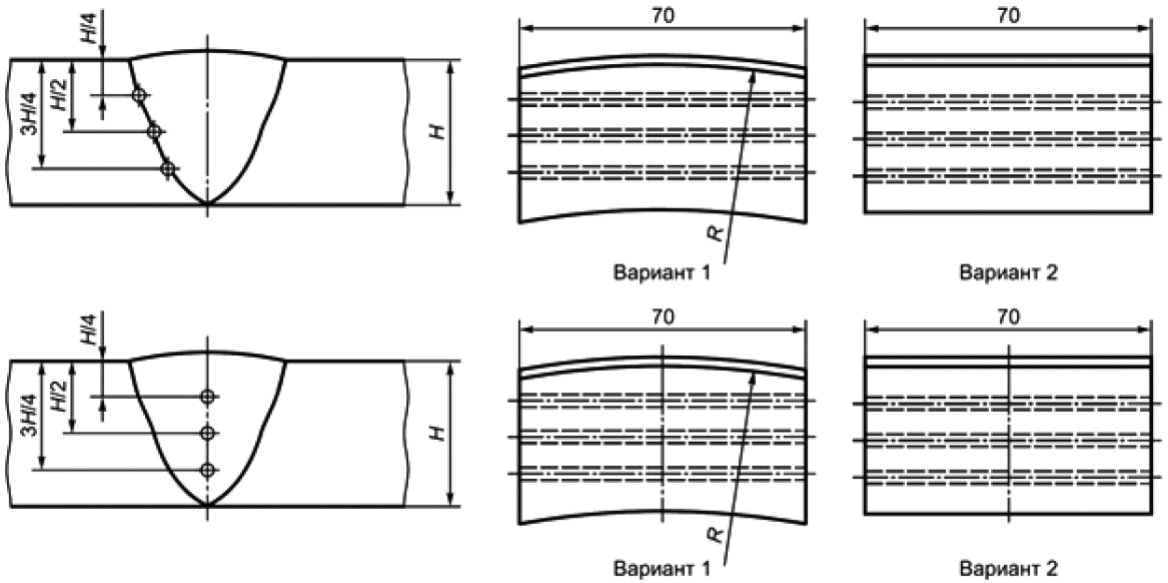
Для АСС с номинальной толщиной от 4,5 до 10,0 мм включительно в НО допускается использовать угловые отражатели (паз, зарубка). Отражатели в этом случае выполняются на наружной и внутренней поверхности образца со снятым усилением корня АСС.

Отражатели располагаются на оси АСС на внутренней и наружной поверхностях и по линии сплавления на наружной поверхности.

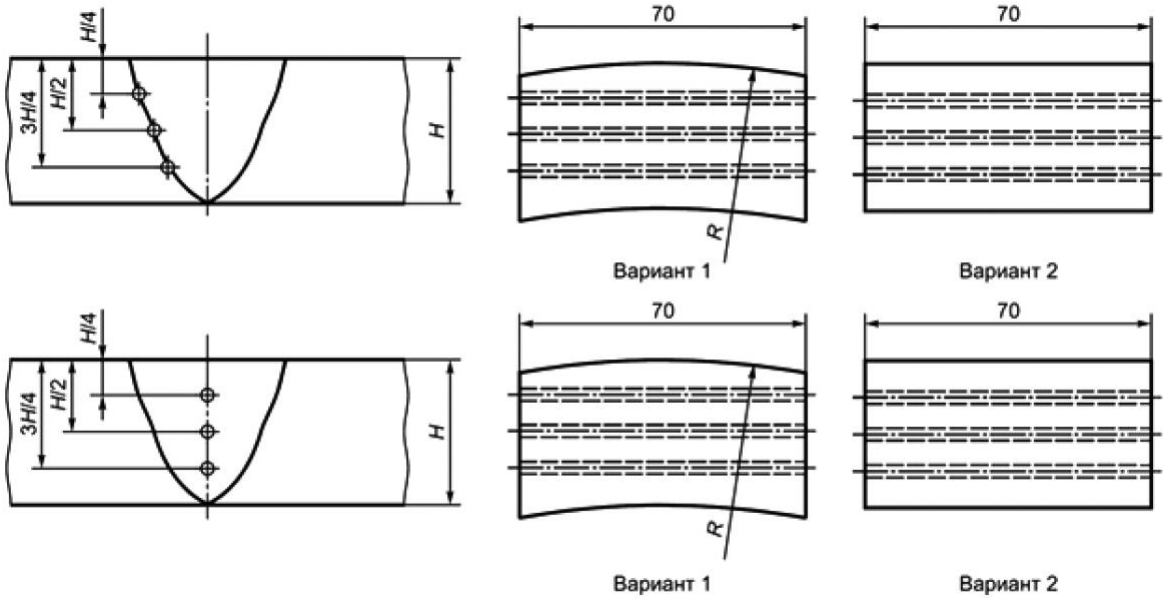




НО 10-20 мм



а - НО для УЗК АСС с усилением



б - НО для УЗК АСС без усиления для НП

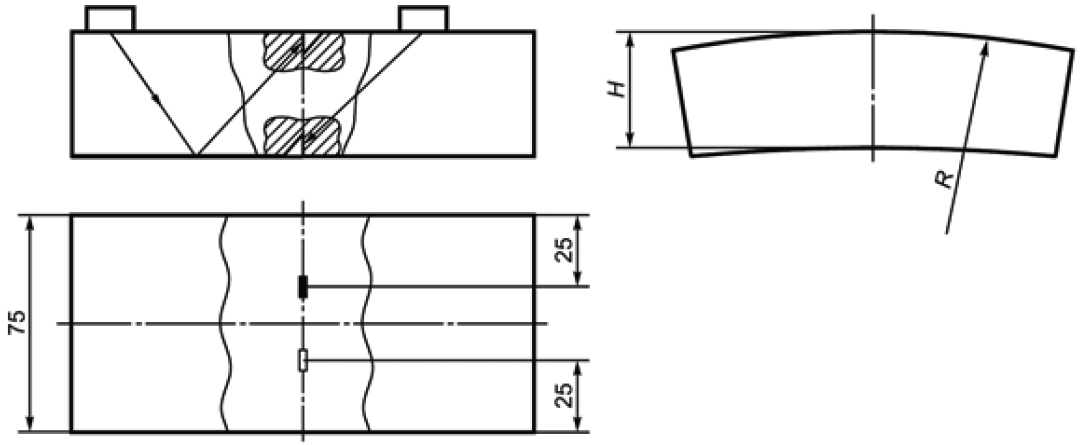
С какой стороны устанавливать ПЭП – чтобы получить сигнал от ближайших отверстий?

Контролепригодность

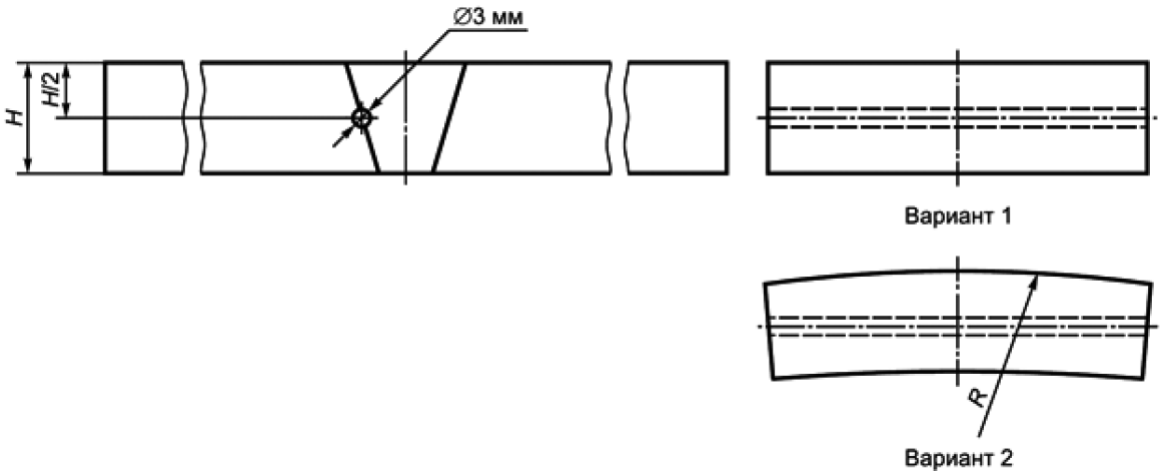
На НО для определения контролепригодности АСС усиление на наружной поверхности и выпуклость корня шва должны быть удалены.

В НО для определения контролепригодности АСС с номинальной толщиной стенки от 4,5 до 10,0 мм включительно должны быть выполнены зарубки или пазы с размерами 2,0х1,0 мм (длина х глубина).

В НО для определения контролепригодности АСС с номинальной толщиной стенки более 10,0 мм должны быть выполнены БЦО диаметром, указанным в таблице.



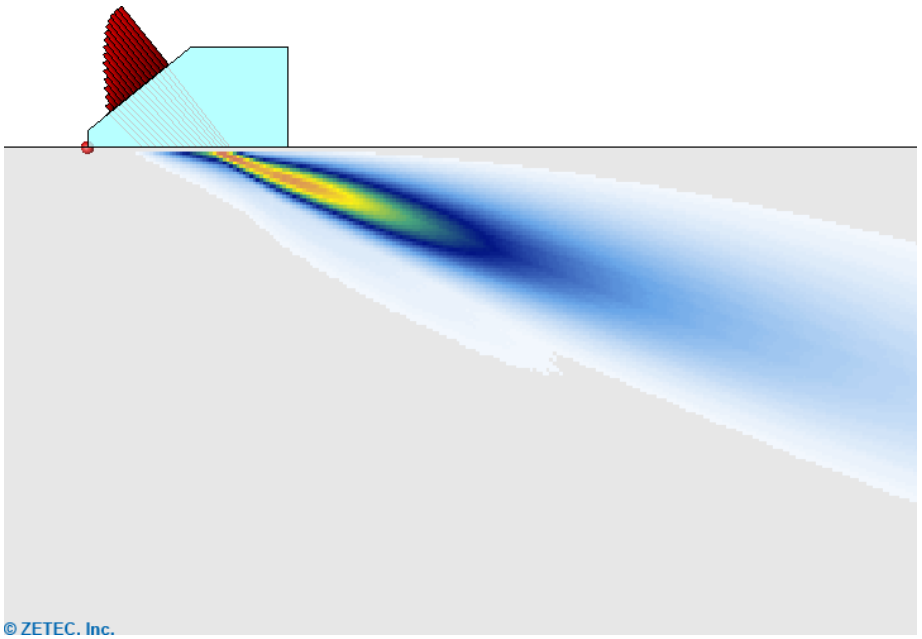
а - НО для АСС с номинальной толщиной стенки от 4,5 до 10,0 мм

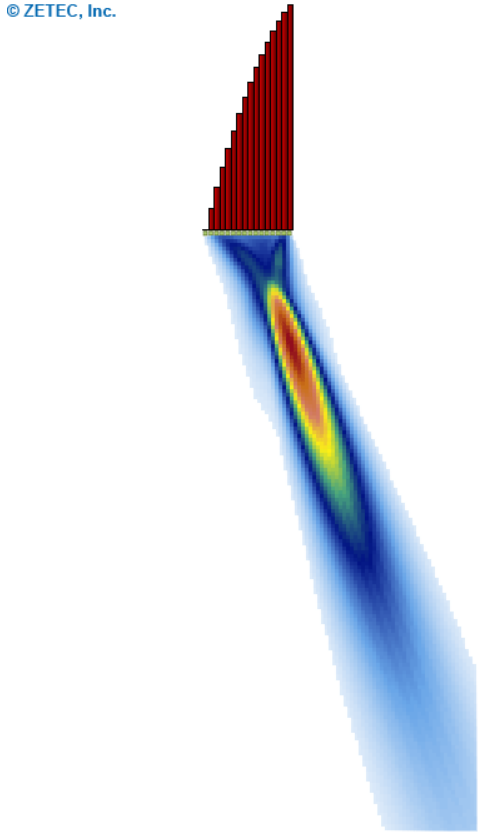


б - НО для АСС с номинальной толщиной стенки более 10,0 мм: вариант 1 - для УЗК листовых конструкций; вариант 2 - для УЗК трубопроводов и ОК цилиндрической формы

Секторное сканирование

Излучение производится одной и той же группой элементов с сохранением одного и того же фокусного расстояния, но последовательно под различными углами.





Преимущества ФР

•возможность изменять угол ввода;

•осуществлять различные типы сканирования;

•задавать законы фокусировки;

•возможность использования «одновременно» нескольких законов.

Отличие результатов от простого А-скан:

•сфокусированные лучи могут быть существенно более узкими, чем традиционные расходящиеся лучи, соответственно обеспечивают большую точность определения размеров дефектов;

•изображение, полученное с помощью фазированных решеток, содержат в себе множество А-сканов, записанных во всех точках контроля, соответственно этот объем информации предстает перед оператором как целостное изображение;

•акустический контакт при электронном сканировании лучше, чем при механическом сканировании обычным преобразователем;

•запись всего множества А-сканов позволяет впоследствии просмотреть любой из них для более точного принятия решения о размерах дефектов, а также для фильтрации и другой обработки изображений.

Измерения несплошностей ФР

•изображения, получаемые с помощью ФР, представляют собой результат преобразования множества А-сканов, полученных в точках траектории перемещения преобразователя (или луча);

•прибор сопоставляет значения амплитуды сигнала с определенной цветовой палитрой, при этом каждая точка А-скана, имеющая определенную амплитуду, заменяется точкой определенного цвета;

•измерение размера дефекта является по сути измерением расстояния между точками с различной амплитудой сигнала посредством перемещения измерительного курсора на изображении.

Следует учитывать при оценке результатов контроля:

•Является ли дефект диффузно или зеркально отражающим?

•Является ли образ на изображении результатом отражения или дифракции?

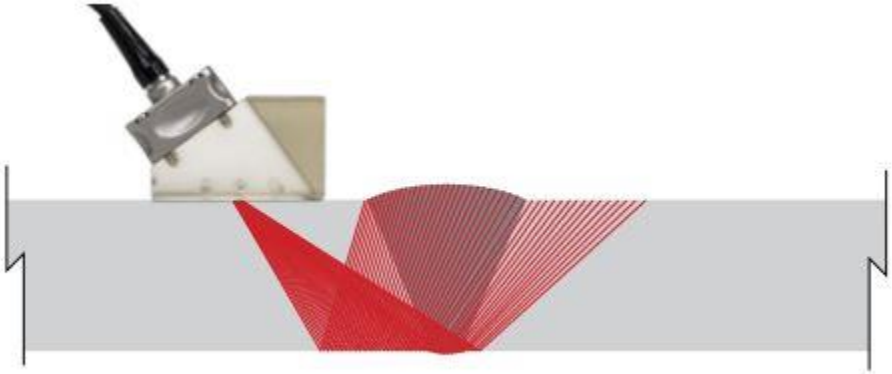
•Сформировано ли изображение в результате отражения волны, или ее трансформации?

•Какова ширина сфокусированного луча, которым получено изображение?

•Использована ли технология динамической фокусировки по глубине?

Контроль сварных соединений

По мере возбуждения элементов, использующих разные временные задержки (законы фокусировки), лучи направляются под разными углами и фокусируются на определенной глубине.



Этапы настройки

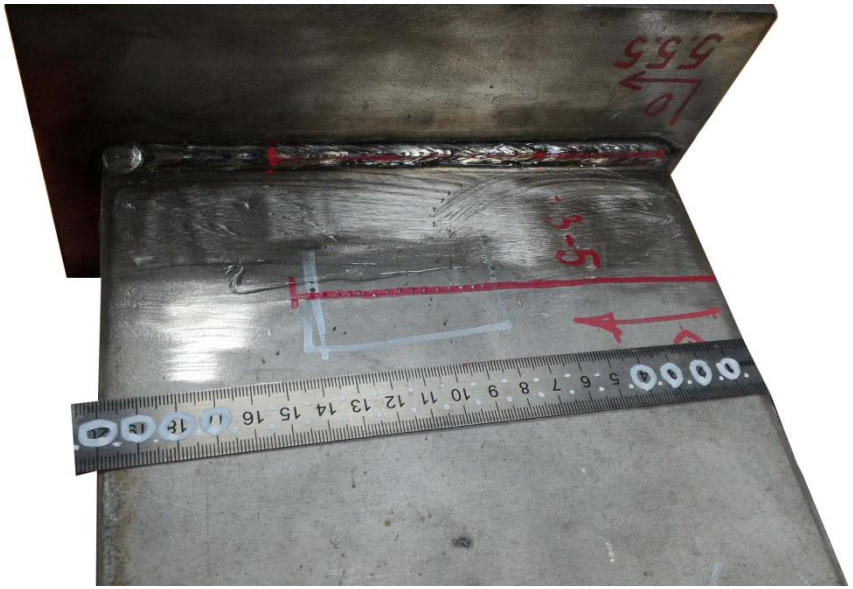
- Выбор объекта и сварки
- Настройка основных параметров
  1. Выбор ФР и призмы
  2. Выбор типа волны и типа сканирования
  3. Создание закона фокусировки
- Калибровка
  1. Калибровка скорости распространения звука
  2. Калибровка задержек в призме
  3. Калибровка угловой чувствительности
  4. Калибровка кривых ОЭПО (DAC – коррекция расстояние-амплитуда, ВРЧ – временная регулировка чувствительности, АРД – амплитуда-расстояние-диаметр)

Сварные соединения из стали 12Х18Н10Т толщиной 6 мм

Ультразвуковой контроль проводился:

- дефектоскопом OmniScan SX;
- линейной 16-элементной фазированной решеткой (ФР) частотой 5 МГц (5L16);
- призмой (SA10N55S), формирующей поперечные волны при секторном сканировании в диапазоне углов от 40° до 75°.

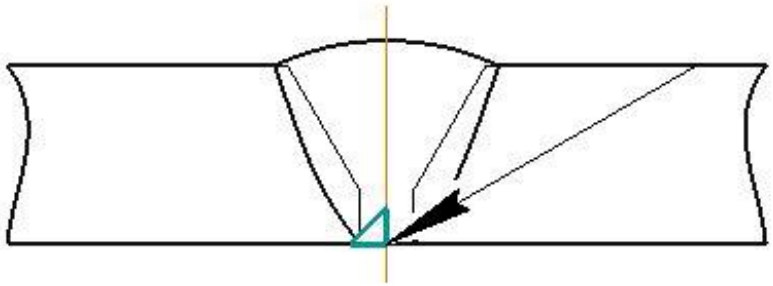
Фокусное расстояние выбирается равным двойной толщине сварного соединения.

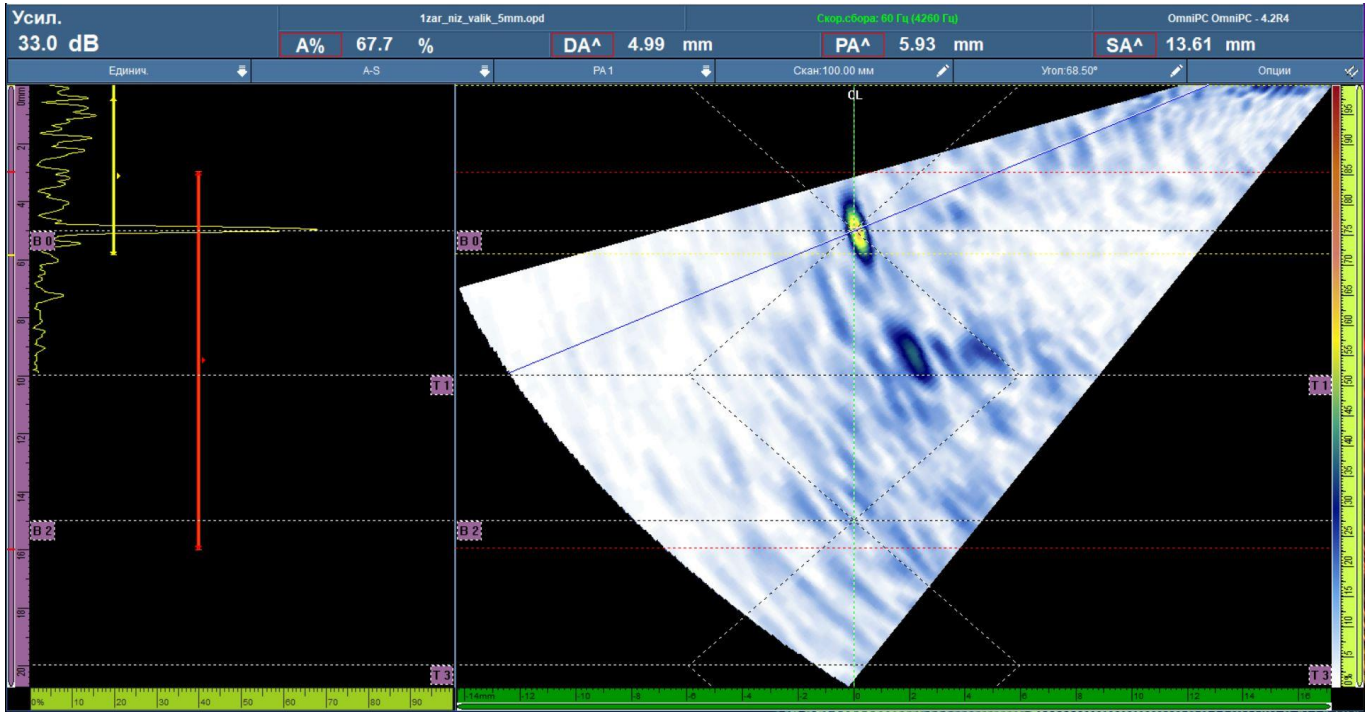


При эквивалентной чувствительности $S_{экв}$=2 мм^2, для угла ввода 63° размер зарубки равен 1,5×2,7 мм (скорость принята 3100 м/с).

Проверка контролепригодности

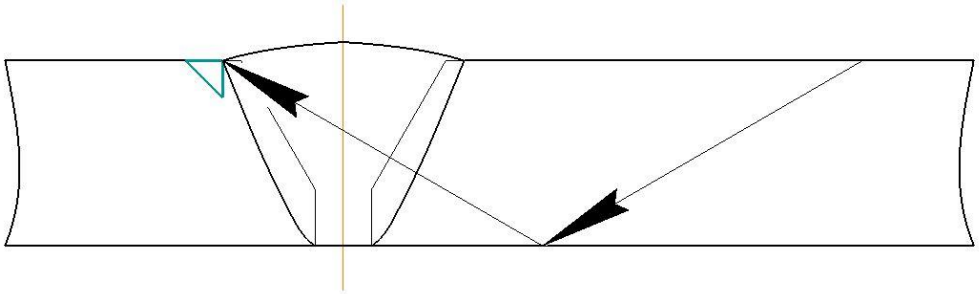
Зарубка на оси сварного соединения на нижней поверхности при снятом нижнем валике

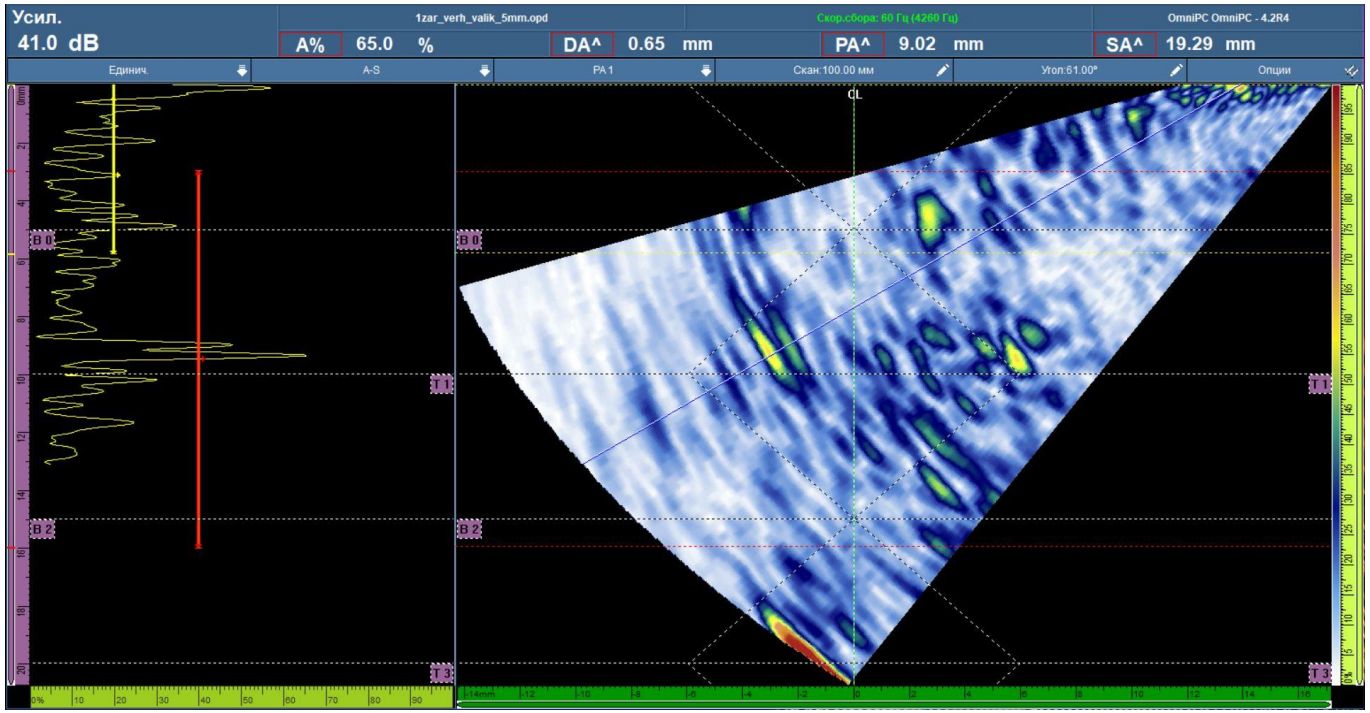




Проверка контролепригодности

Зарубка на границе зоны контроля на верхней поверхности при снятом нижнем валике

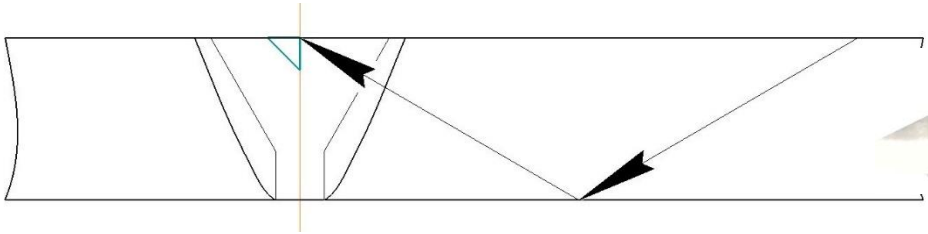


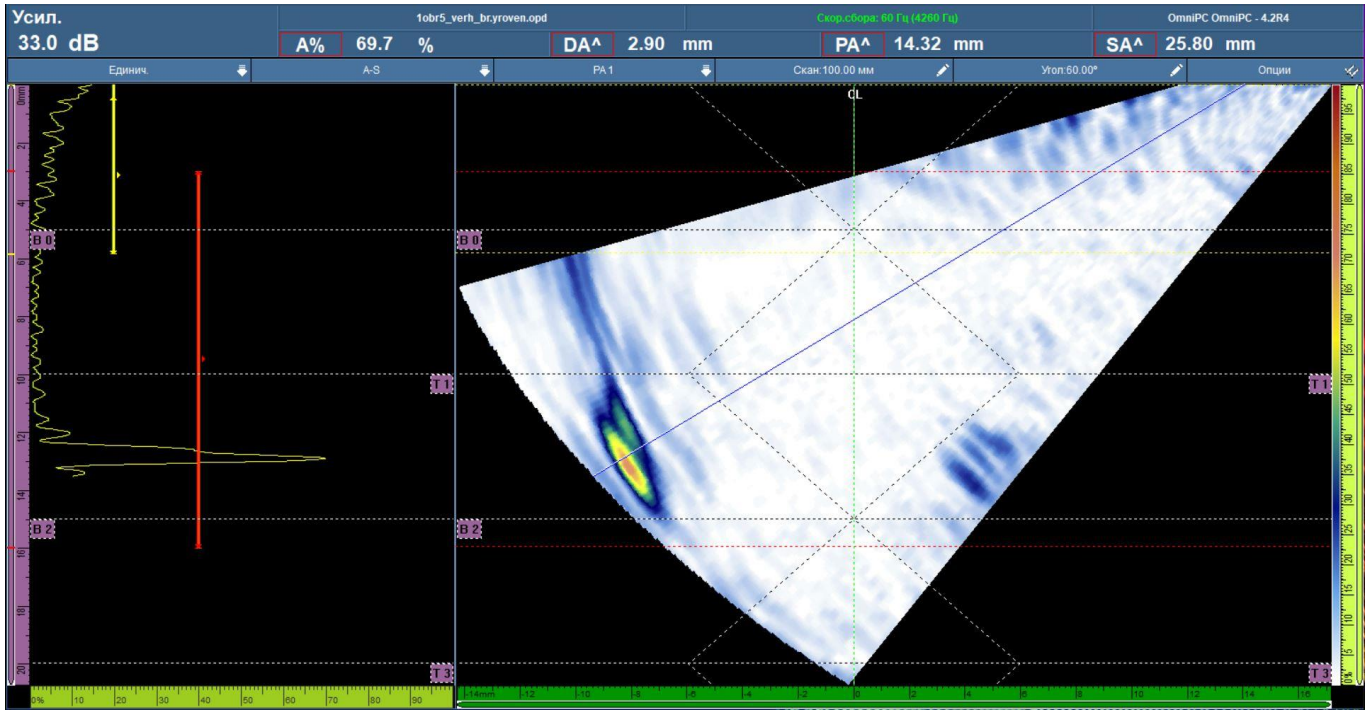


Сварное соединение признано контролепригодным, т.к. амплитуда сигналов от отражателей превышает уровень шумов более чем на 6 дБ (в 2 раза).

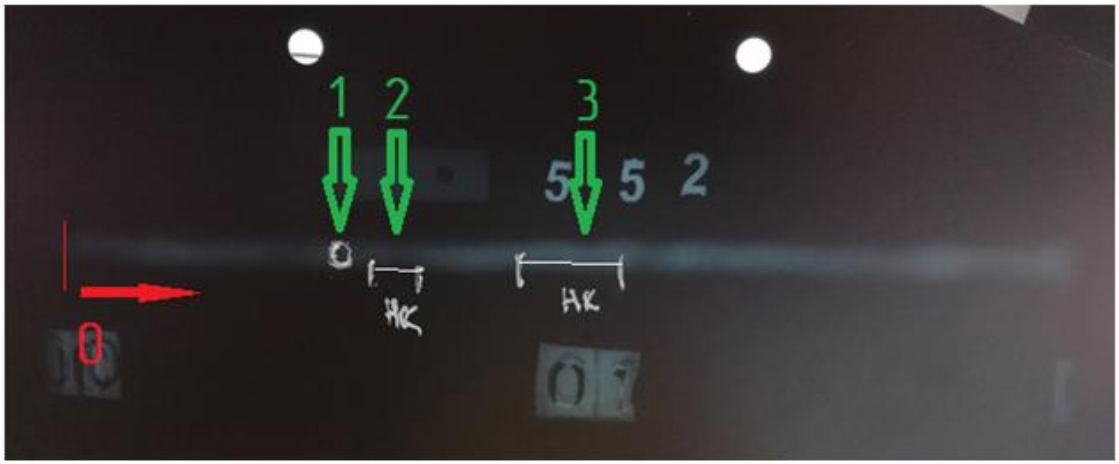
Настройка чувствительности

Зарубка на сварном шве по центральной оси сварного шва со снятыми валиками усиления

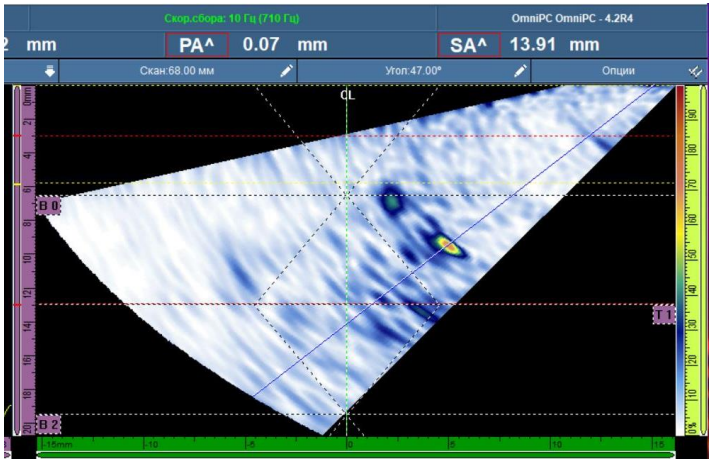


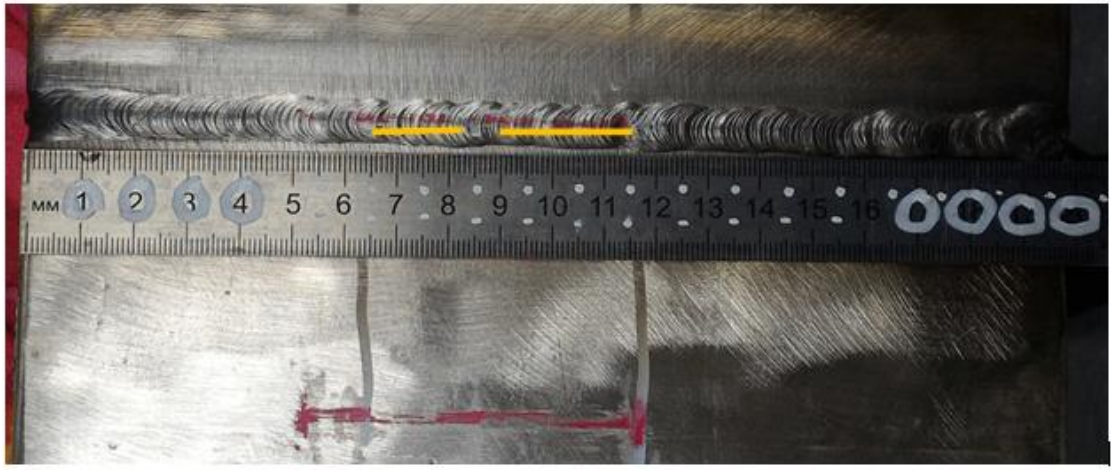


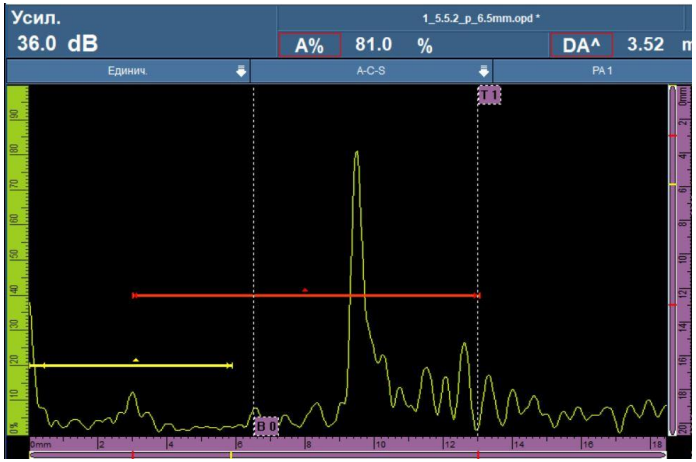
Проведение контроля

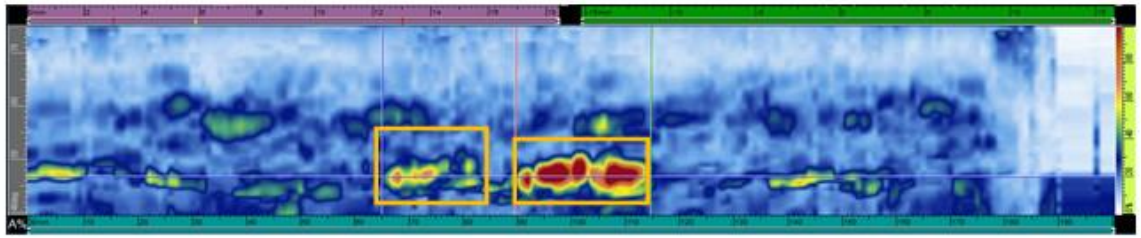


101 мм (от 90 до 115 мм)

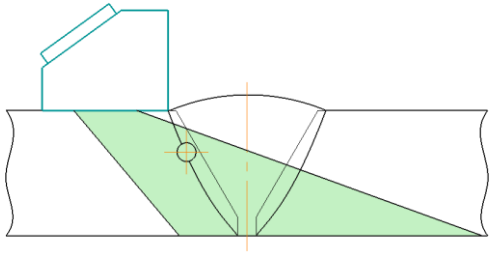


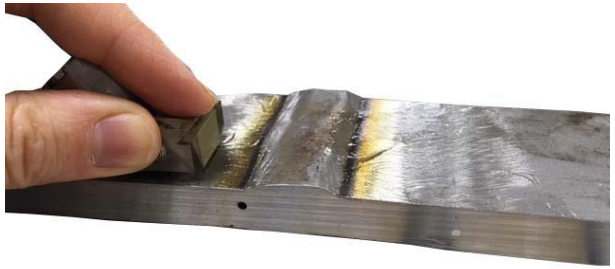


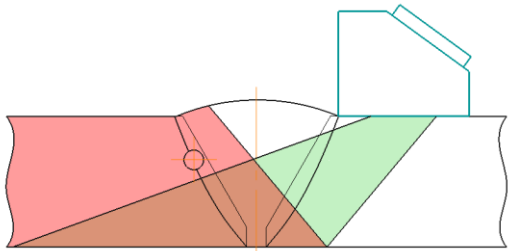


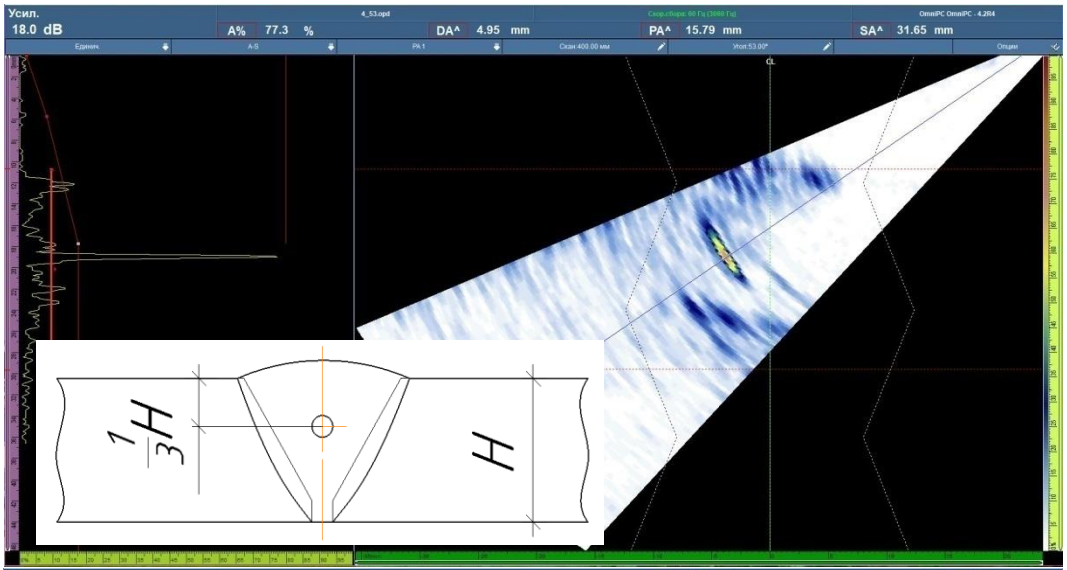


Сварные соединения толщиной 12 мм (контролепригодность)









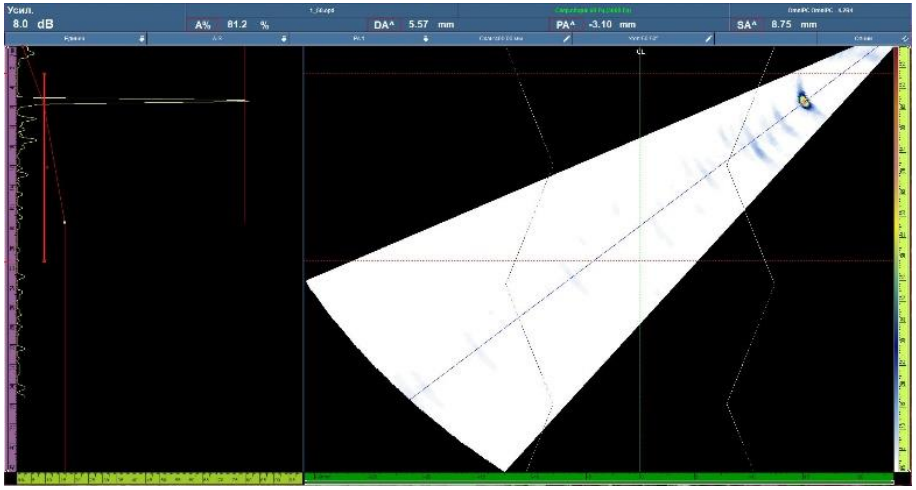
Сварные соединения толщиной 12 мм

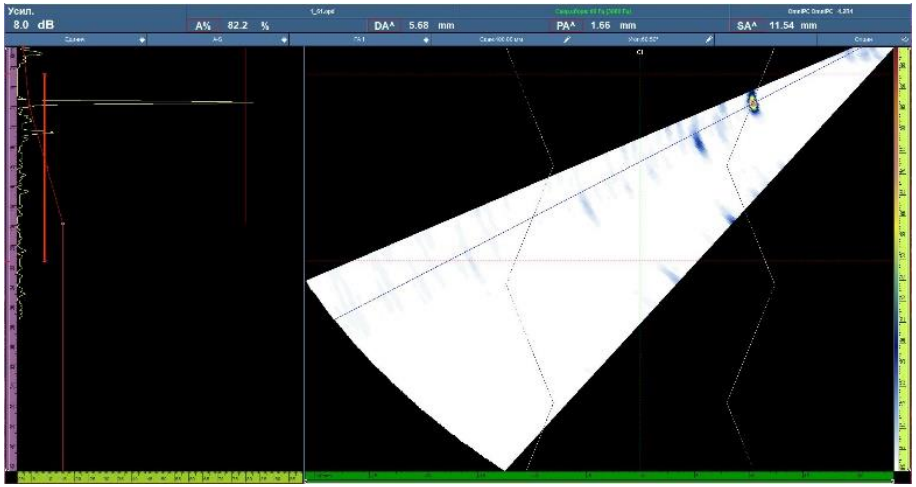
Калибровка скорости

по сигналам от БЦО Ø2 мм на глубине 6 мм в основном металле прямым и однократно отраженным лучами под углом 63º

Калибровка задержек в призме и угловая чувствительность

сигналу от БЦО Ø2 мм на глубине 6 мм в основном металле



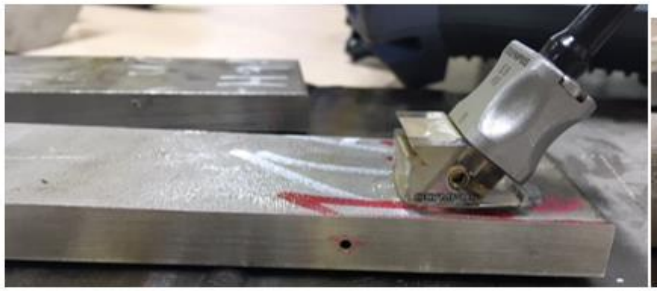


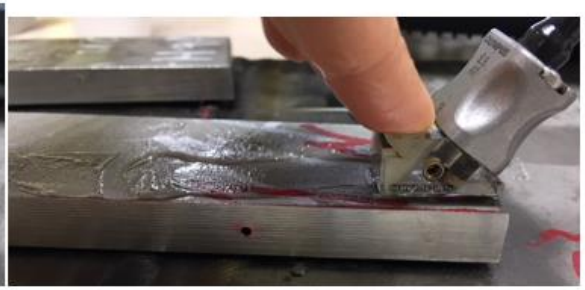
В результате калибровки угловой чувствительности амплитуды сигналов, полученные от БЦО Ø2 мм, во всем диапазоне углов стали равны 80% от вертикальной шкалы экрана.

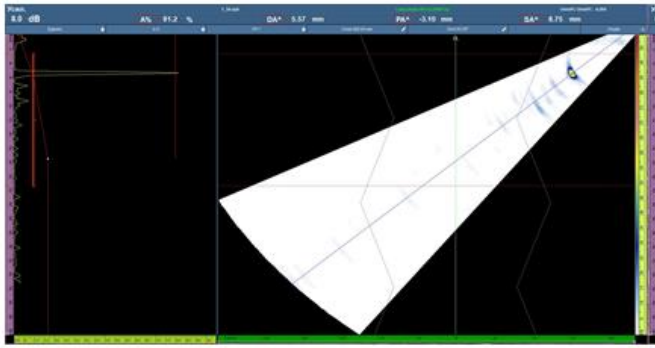
Сварные соединения толщиной 12 мм

Настройка ВРЧ

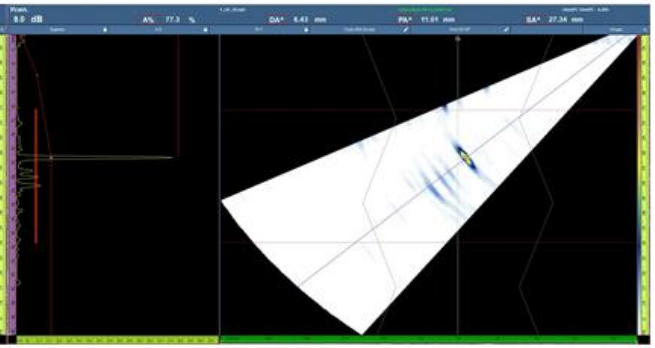
по сигналам от БЦО Ø2 мм на глубине 6 мм в основном металле (на прямых лучах) и на глубине 18 мм в основном металле (на однократно отраженных лучах) во всем диапазоне углов



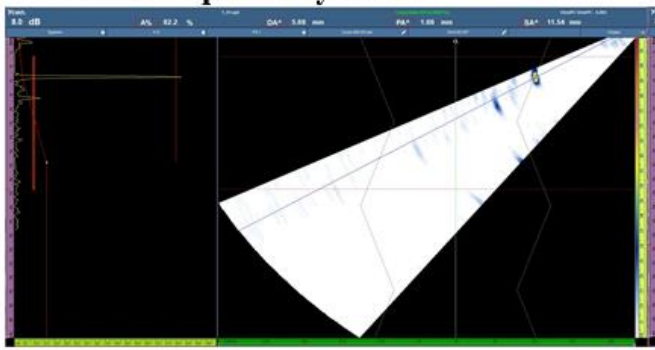




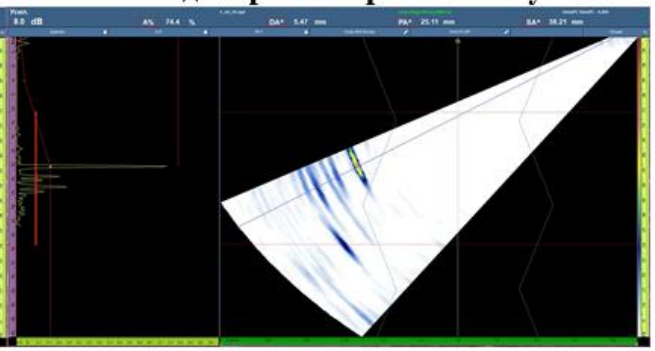
Сигнал на прямом луче 50°



Сигнал на однократно отраженном луче 50°



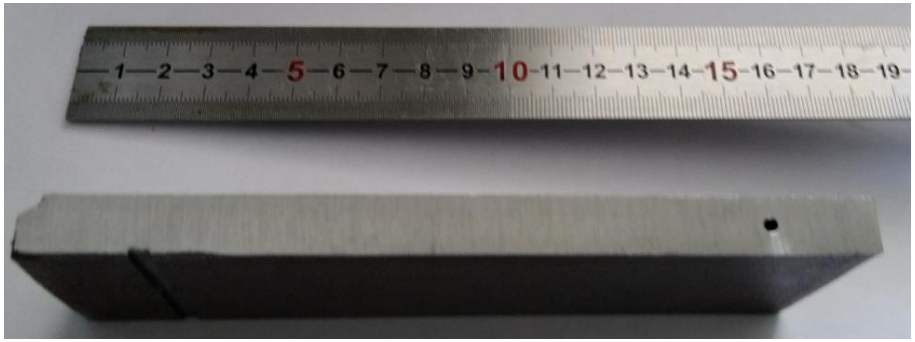
Сигнал на прямом луче 61°

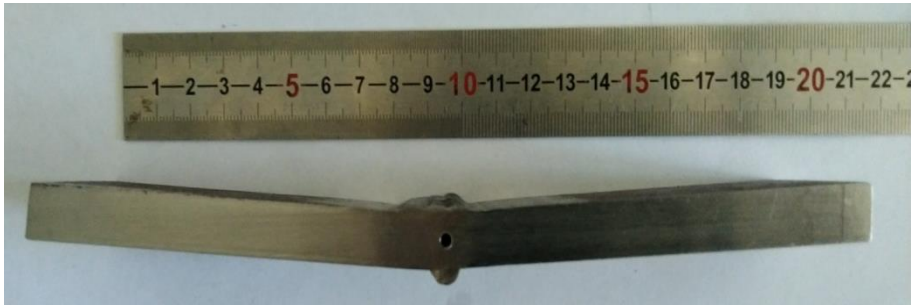


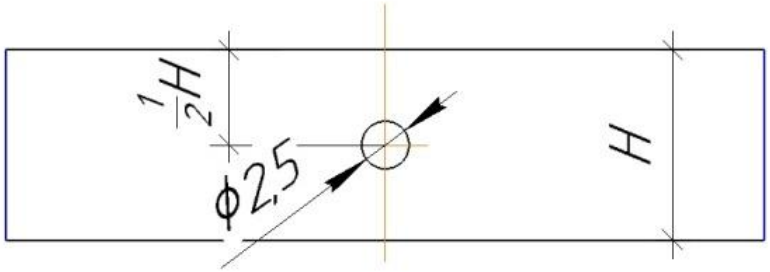
Сигнал на однократно отраженном луче 61°

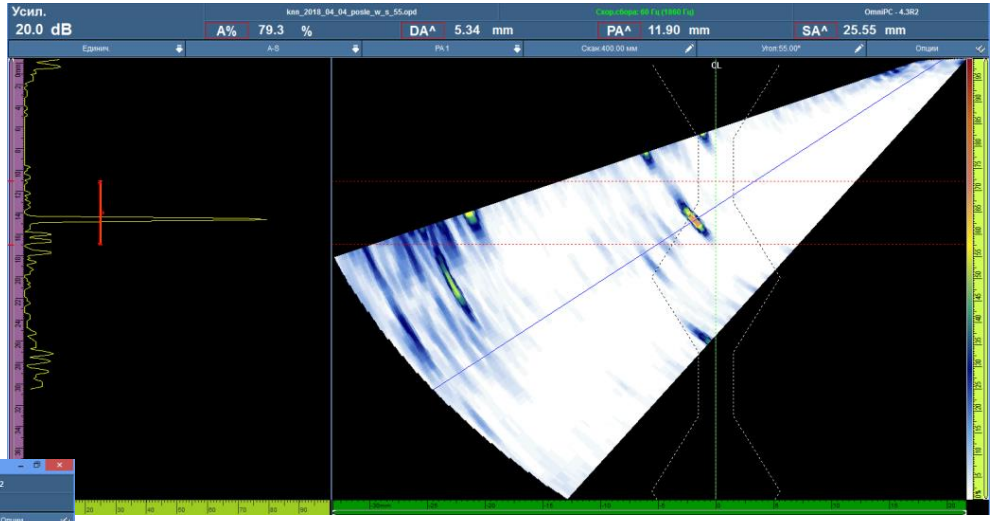
В результате калибровки ВРЧ амплитуды сигналов, полученные от БЦО Ø2 мм на глубинах 6 и 18 мм, во всем диапазоне углов, стали равны 80% от вертикальной шкалы экрана.

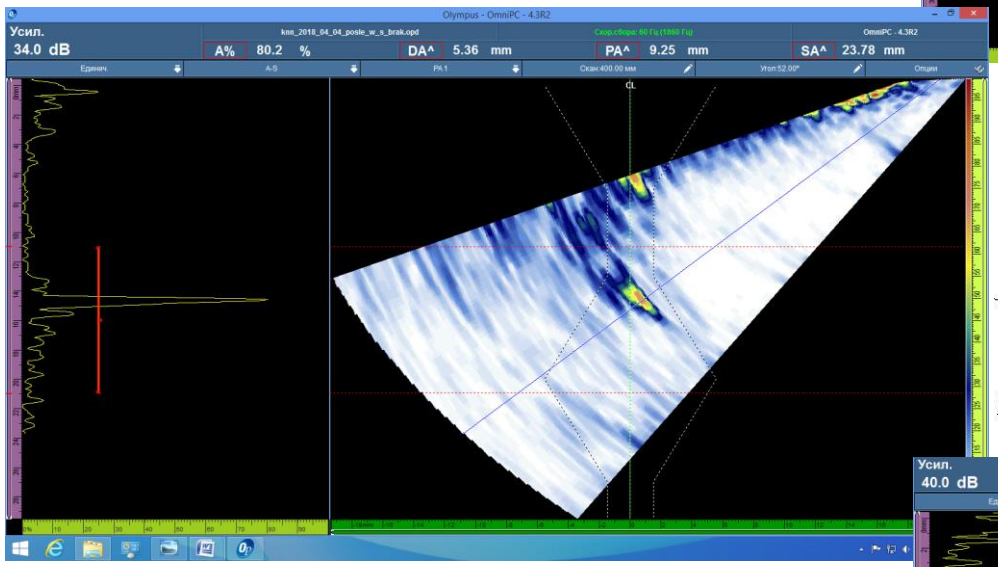
Опыт настройки и контроля сварных соединений из никелевых сталей

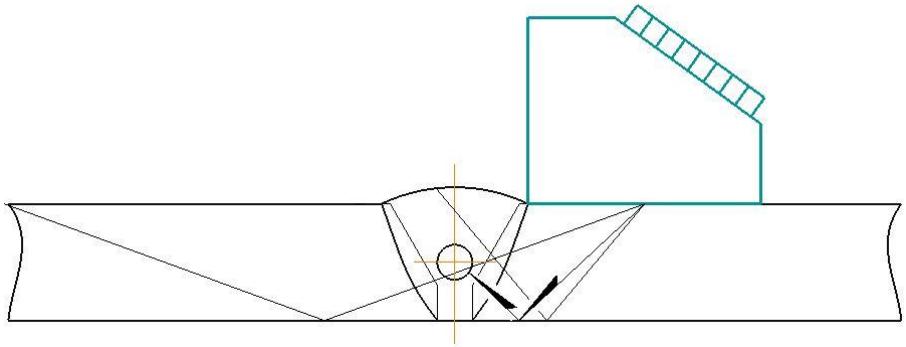


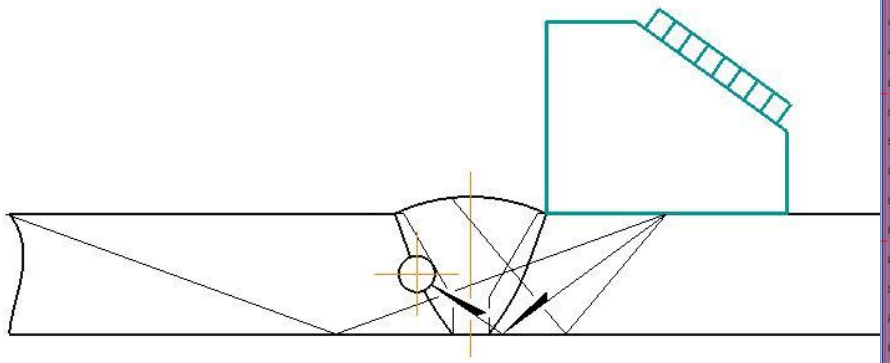


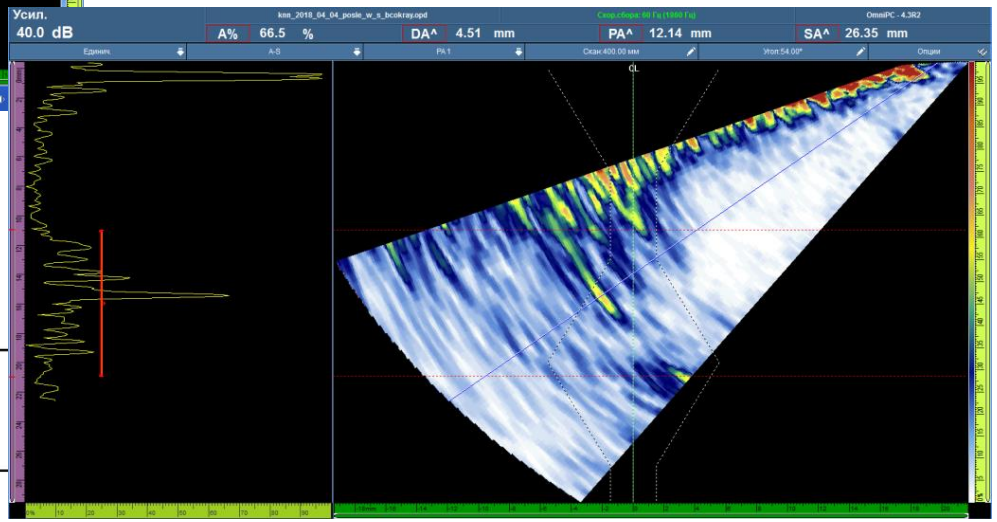

1/2H
ϕ2,5
H

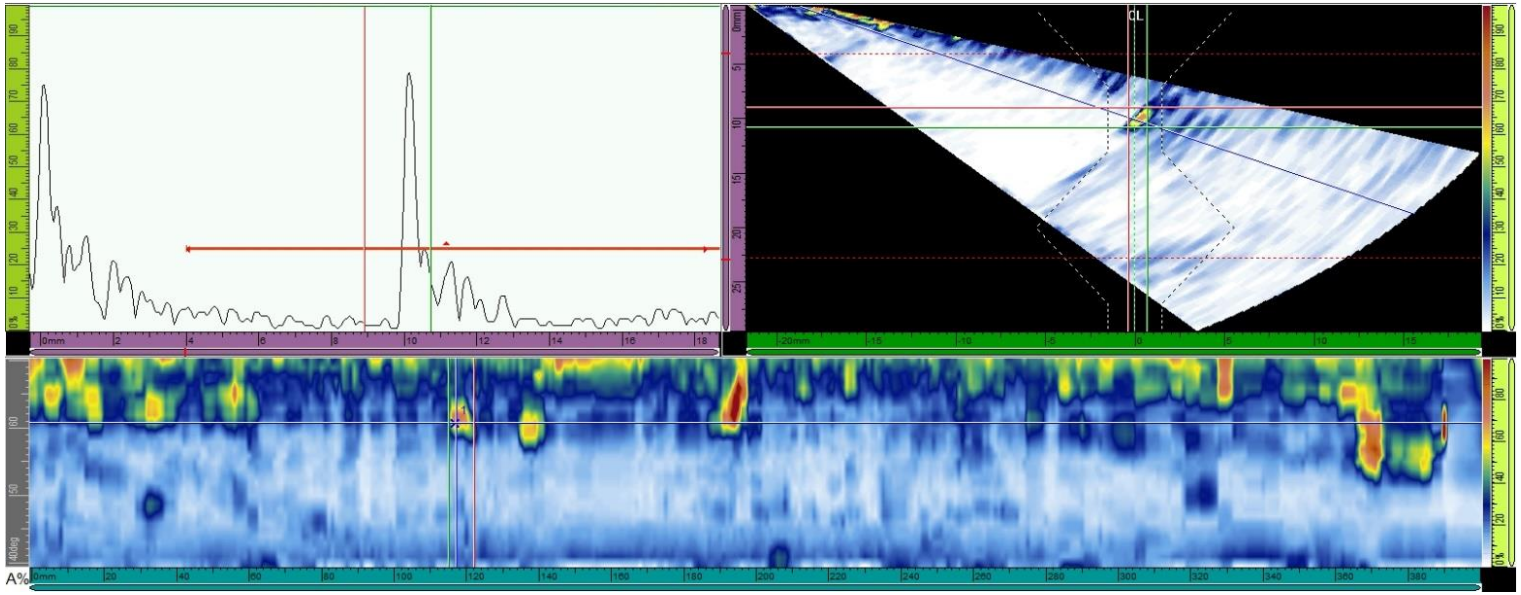

Усил.
20.0 dB
knn_2018_04_04_posle_w_s_55.opd
Скор.сбора: 60 Гц (1860 Гц)
OmniPC - 4.3R2
A% 79.3 %
DA^ 5.34 mm
PA^ 11.90 mm
SA^ 25.55 mm
Единич.
A-S
PA1
Скан:400.00 мм
Угол:55.00°
Опции
CL

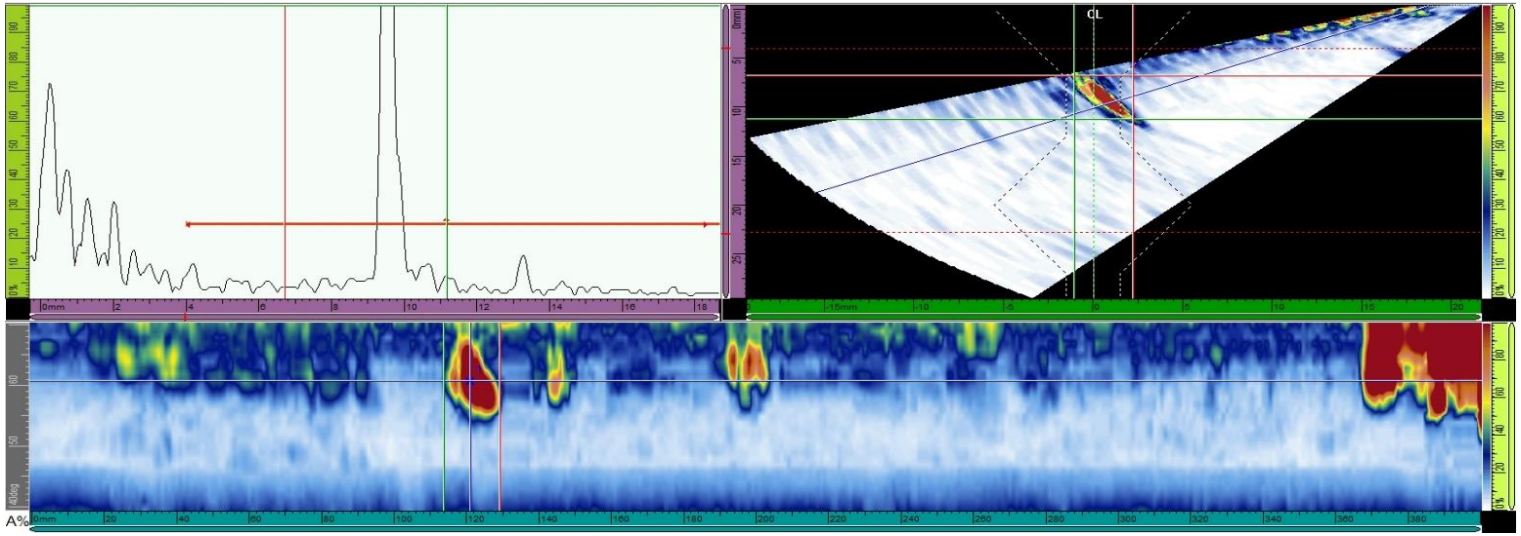

Olympus - OmniPC - 4.3R2
Усил.
34.0 dB
knn_2018_04_04_posle_w_s_brak.opd
Скор.сбора: 60 Гц (1860 Гц)
OmniPC - 4.3R2
A% 80.2 %
DA^ 5.36 mm
PA^ 9.25 mm
SA^ 23.78 mm
Единич.
A-S
PA1
Скан:400.00 мм
Угол:52.00°
Опции
CL






Усил.
40.0 dB
knn_2018_04_04_posle_w_s_bcokraj.opd
Скор.сбора: 60 Гц (1860 Гц)
OmniPC - 4.3R2
A% 66.5 %
DA^ 4.51 mm
PA^ 12.14 mm
SA^ 26.35 mm
Единич.
A-S
PA1
Скан:400.00 мм
Угол:54.00°
Опции
CL


CL
A%


CL
A%

Выводы

Перед проведением контроля аустенитных сварных соединений необходимо:

•убедиться в контролепригодности сварного соединения;

•определить среднюю скорость ультразвука в сварном соединении;

•получить (сравнить) амплитуды от отражателей (БЦО) в НО, расположенных по центру и по кромке сварного соединения.

УЗК позволяет выявить наиболее опасные плоскостные дефекты типа непроваров, трещин.

При УЗК тавровых сварных соединений выявляемость несплошностей лучше, чем при РК.

Спасибо за внимание