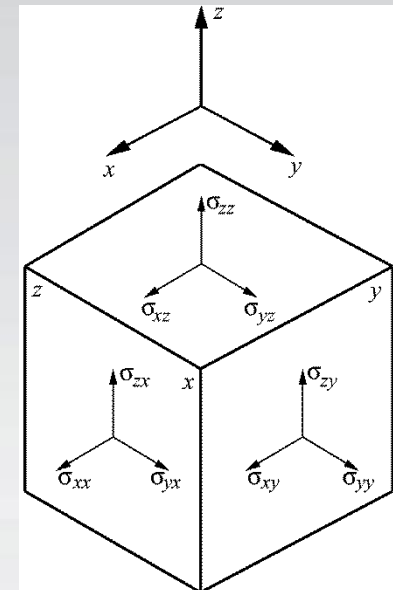


Возможности и способы измерения глубины КРН ультразвуковым методом неразрушающего контроля

Авторы от АКС-Сервис и АКС:

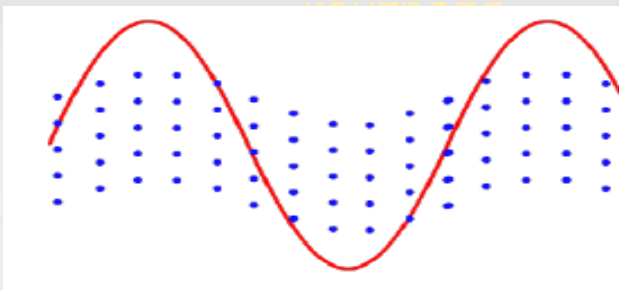
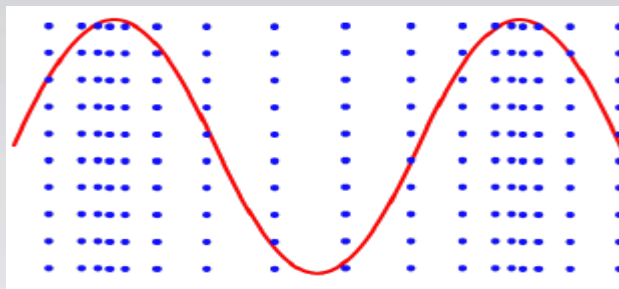
Силин В.В.- технический директор АКС-Сервис

Самокрутов А.А. д.т.н. – генеральный директор АКС



➤ Физические основы

- ✓ Распространение упругих колебаний в жидких и твердых средах, имеющих объемную и сдвиговую упругость
- ✓ Наличие эффектов для УЗ волн:
 - отражения
 - дифракции
 - интерференции
 - рассеяния и поглощения
 - трансформация типов волн



➤ Методология

- Преимущественное использование импульсных колебаний
- Решение задач обнаружения и измерения размеров дефектов
- Информативные параметры:
 - время задержки эхосигнала
 - амплитуда, фаза и коэффициент затухания

➤ Достоинства метода

- Высокая чувствительность
- Универсальность по материалам
- Безопасность
- Относительная дешевизна
- Широкая область применения



Контроль металлов



Аэрокосмическая отрасль



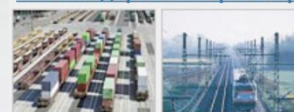
Контроль в строительстве



Стекольная отрасль



Железнодорожный транспорт



Производство изделий из полиэтилена и пластика



✓ ПЭП - пьезоэлектрические преобразователи с жидкостным контактом

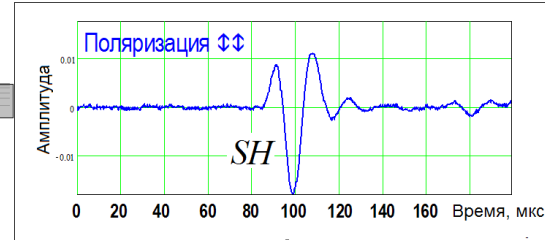
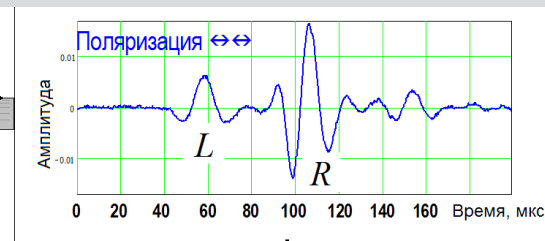
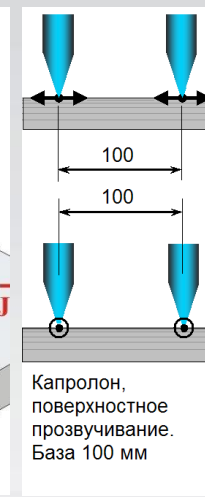
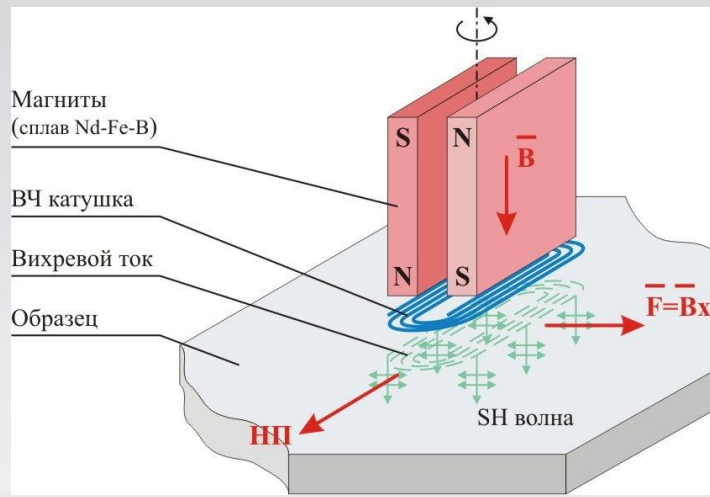
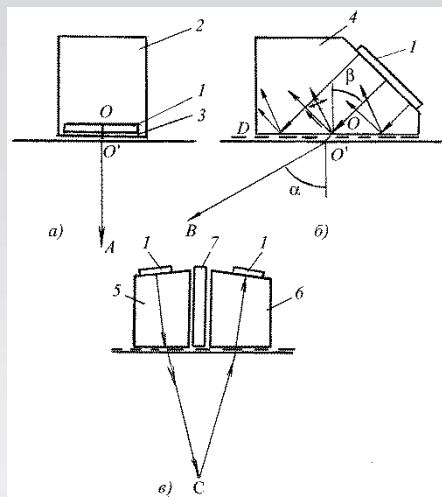
- › Продольные волны
- › Поперечные волны с вертикальной поляризацией
- › Необходимость использования жидкости
- › Широкий диапазон частот 0,01 – 30 МГц
- › Универсальность по материалам
- › Широко используемая технология

✓ ЭМА - электромагнитно-акустические преобразователи

- › Продольные волны
- › Поперечные волны с вертикальной (SV) и горизонтальной (SH) поляризацией
- › Бесконтактные, возможность сканирования
- › Ограниченный диапазон частот 0,2 – 5,0 МГц
- › Применимость – только для металлов с высокой проводимостью
- › Технология ограниченного применения

✓ СТК – преобразователи с сухим точечным контактом

- › Продольные волны
- › Поперечные волны с вертикальной и горизонтальной (SH) поляризацией
- › Контактные
- › Универсальность по материалам
- › Развивающаяся технология



Основные типы УЗ ручных приборов и сканеров-дефектоскопов производства АКС:

✓ УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ТОЛЩИНОМЕРЫ

- ▶ A1207, A1208, A1209, A1210 – ультразвуковые толщиномеры для контроля металлов и пластиков с жидкостным контактом
- ▶ A1270 – ЭМА толщиномер для металлов

✓ УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ДЕФЕКТОСКОПЫ

- ▶ A1211 Mini – миниатюрный ультразвуковой дефектоскоп
- ▶ A1212 MASTER / A1214 EXPERT – ультразвуковые дефектоскопы широкого применения
- ▶ A1550 IntroVisor – ультразвуковой томограф с фокусируемыми антенными решетками

✓ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ КОНТРОЛЯ БЕТОНА

- ▶ UK1401 – ультразвуковой тестер
- ▶ A1220 MONOLITH – ультразвуковой дефектоскоп
- ▶ A1040 MIRA – ультразвуковой томограф

✓ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СКАНЕРЫ-ДЕФЕКТОСКОПЫ

- ▶ A2075 SoNet – поиск КРН и дефектов тела трубы
- ▶ A2051 ScaUT – контроль сварных швов и околошовной зоны – в разработке
- ▶ A2072 IntroScan – внутритрубная дефектоскопия основного металла тела труб



- **Использование многоэлементных преобразователей (антенных решёток) в сочетаниями с алгоритмами пространственно-временной обработки данных (метод ЦФА):**
 - ✓ повышение чувствительности и разрешающей способности
 - ✓ прямое измерение размеров дефектов
 - ✓ повышение производительности контроля
 - ✓ автоматизация процедур отбраковки и минимизация влияния человеческого фактора на результаты контроля
- **Развитие безжидкостных технологий формирования и приёма УЗ колебаний – электромагнитно-акустической (ЭМА) и сухого точечного контакта (СТК):**
 - ✓ возможность выполнения контроля без предварительной подготовки поверхности
 - ✓ повышение воспроизводимости и достоверности методов УЗК
 - ✓ возможность использования при контроле поперечных горизонтально-поляризованных (SH) волн
 - ✓ расширение областей применений технологий УЗК
- **Развитие волноводного (направленных волн) метода контроля:**
 - ✓ реализация технологий и методик контроля без непосредственного доступа к поверхности контролируемого участка
 - ✓ повышение производительности контроля
- **Автоматизация процедур выполнения контроля:**
 - ✓ повышение производительности и достоверности контроля
 - ✓ расширение областей применения



Измерение глубины КРН с использованием метода цифровой фокусировки апертуры (ЦФА)

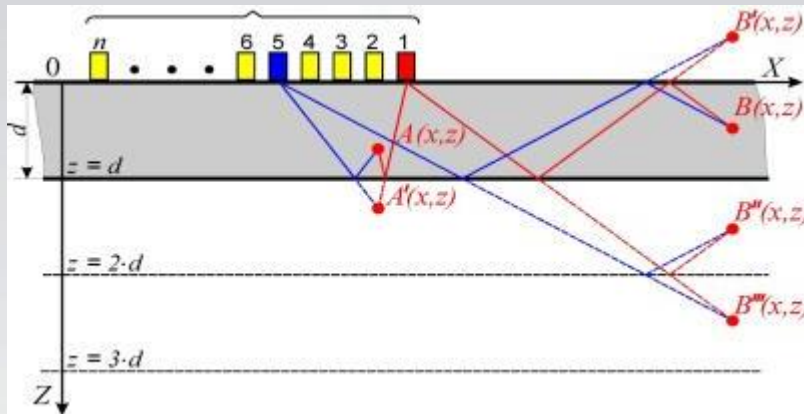
Особенности распространения УЗ волн в стенке трубы

- Распространение УЗ волн в пластине
- Множественность путей распространения от точки возбуждения до точки А
- Направление прихода сигнала в точку А (с верхней или нижней поверхности) зависит от четности числа отражений



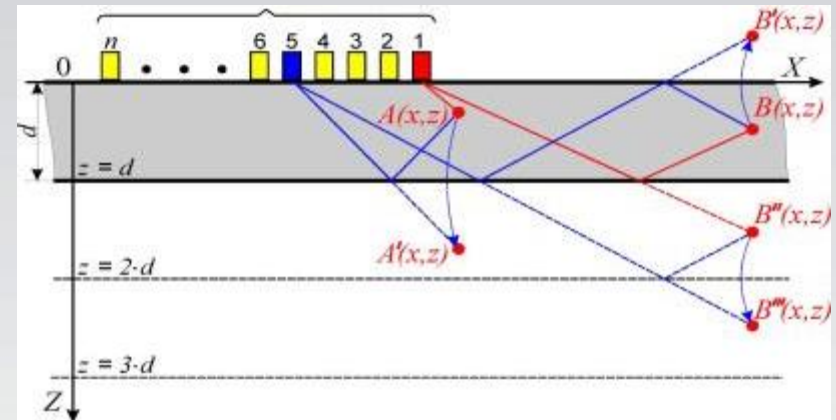
Четный SAFT

- Упрощает интерпретацию
- Увеличивает дальность
- Повышает чувствительность



Нечетный SAFT

- Визуализирует вертикально ориентированные дефекты с зеркально отражающей поверхностью
- Позволяет селективировать дефекты типа пора-трещина



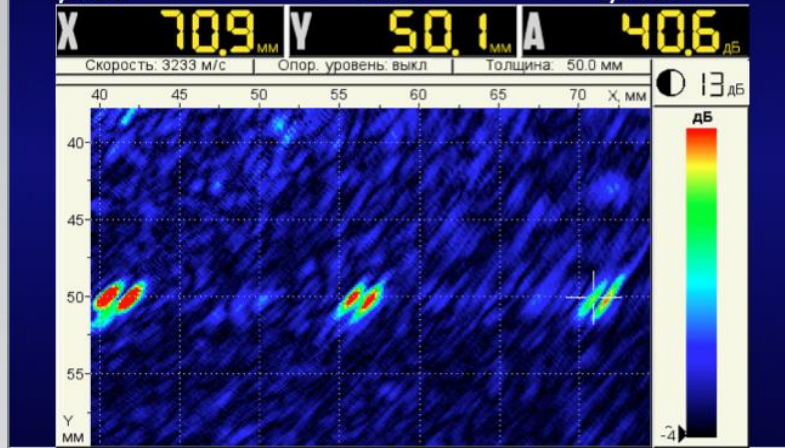
Мульти SAFT

- Учитывает все пути распространения эхосигналов
- Визуализирует все типы отражателей
- Повышает чувствительность

$$\dot{S}_{MM}(x, z) = \sum_{s=1}^n \sum_{r=1}^n \sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^M \dot{U}_{s,r}(t_{ij,s,r}) \cdot D_{is} \cdot D_{jr}$$

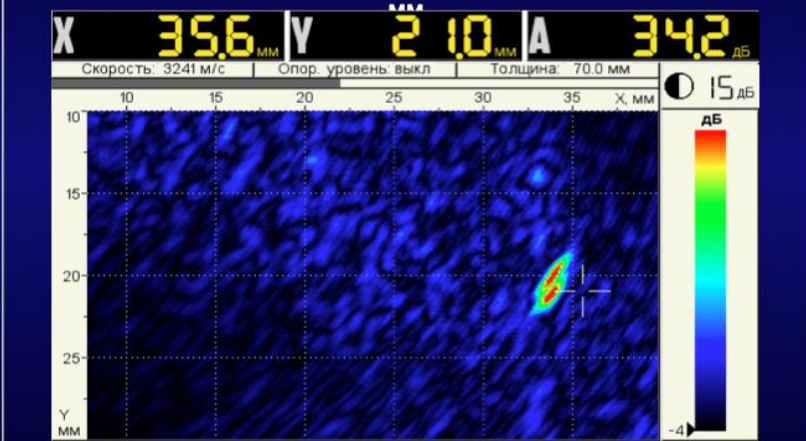
Разрешение по фронту

3 пары рисок на донной поверхности образца из стали 20.
Длина рисок 5 мм, глубина 0,1 мм, расстояние между рисками:
1,5 мм 1 мм 0,5 мм

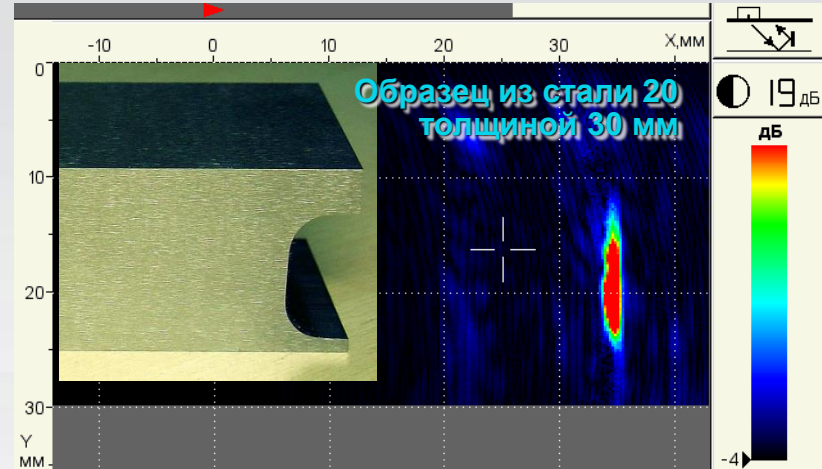
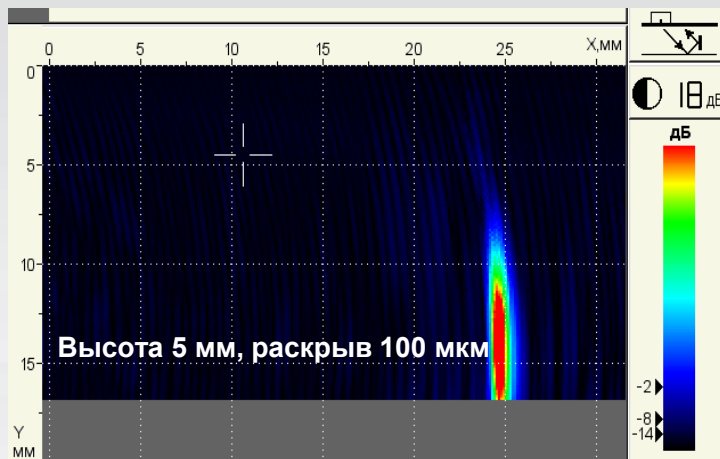


Разрешение по глубине

2 риски на вертикальной поверхности образца из стали 20.
Длина рисок 5 мм, глубина 0,1 мм, расстояние между ними 1 мм

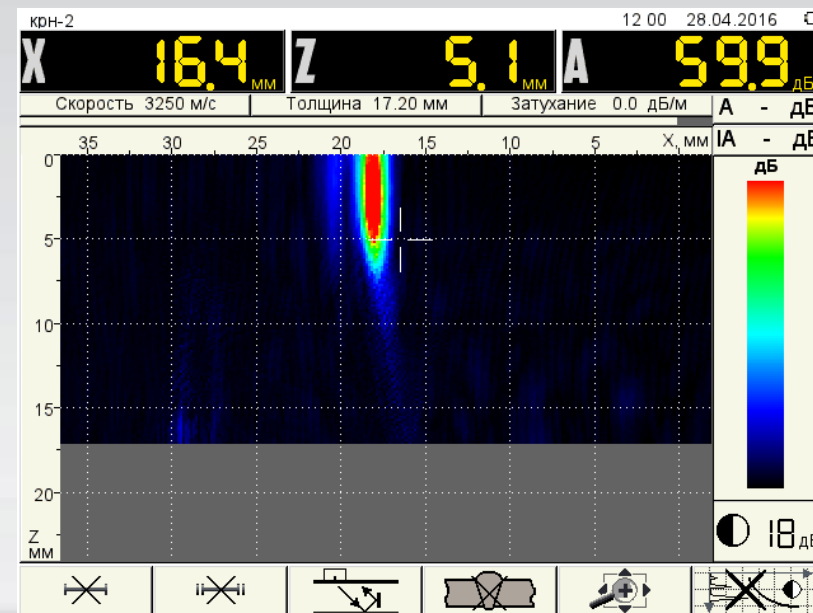
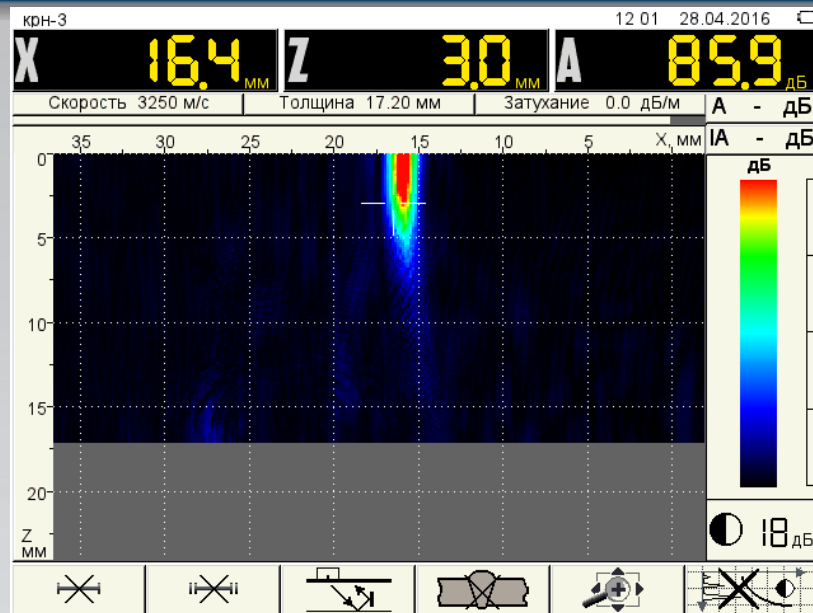


Реконструкция образов плоскостных дефектов (зеркально отражающих УЗ) с
возможностью прямого измерения высоты по их УЗ изображению



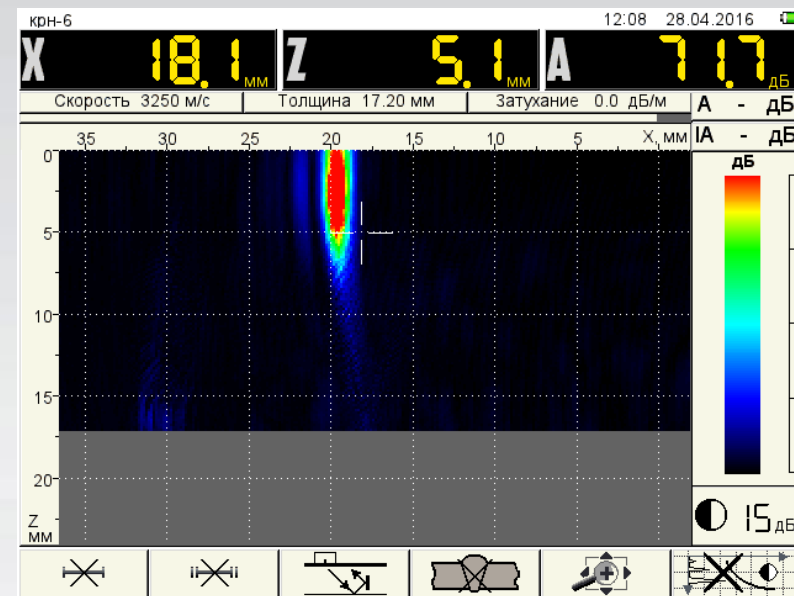
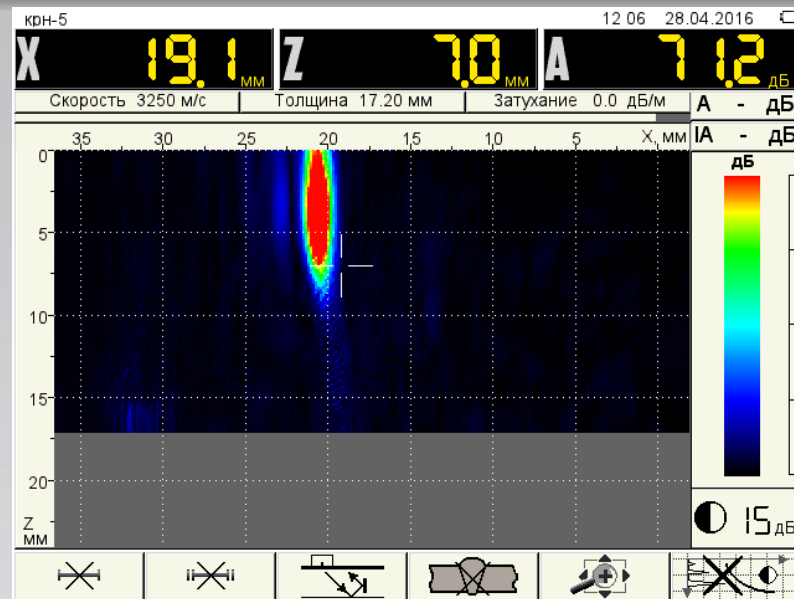


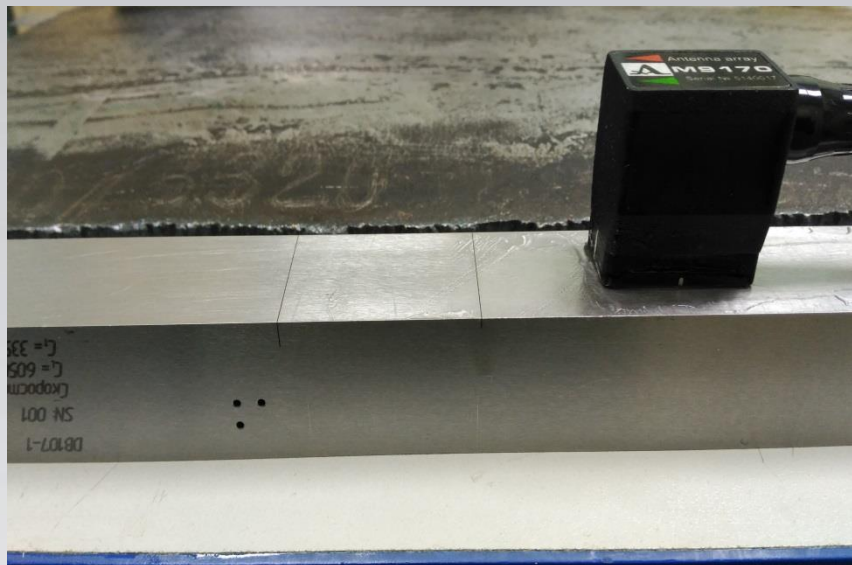
Образец толщиной 17,2 мм с переменной глубиной пропила от 3 до 5 мм



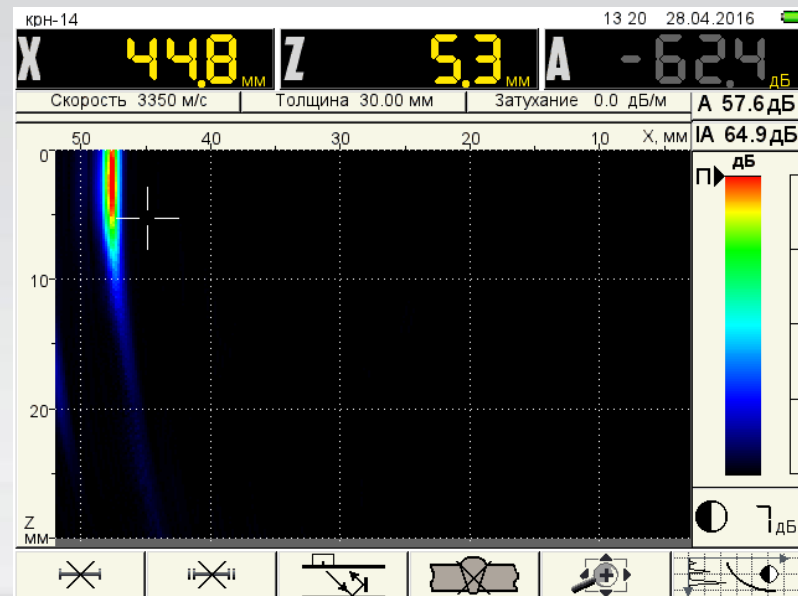
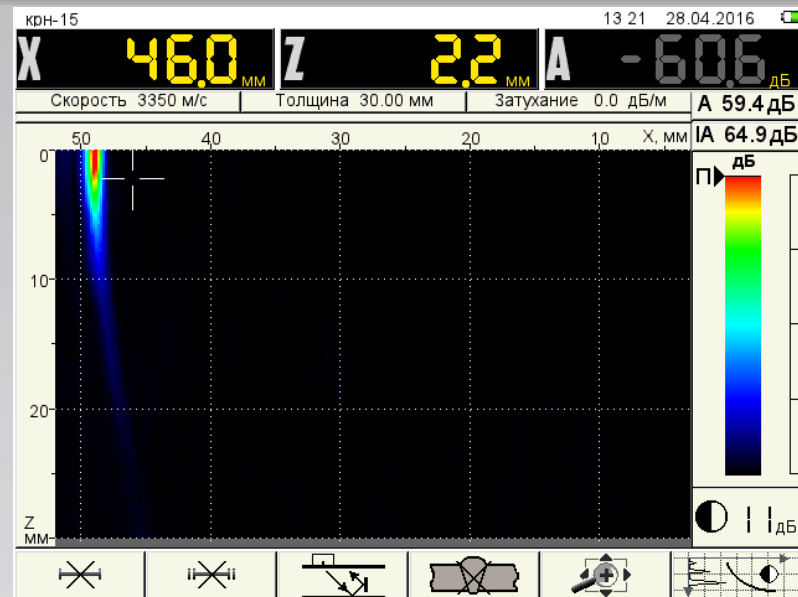


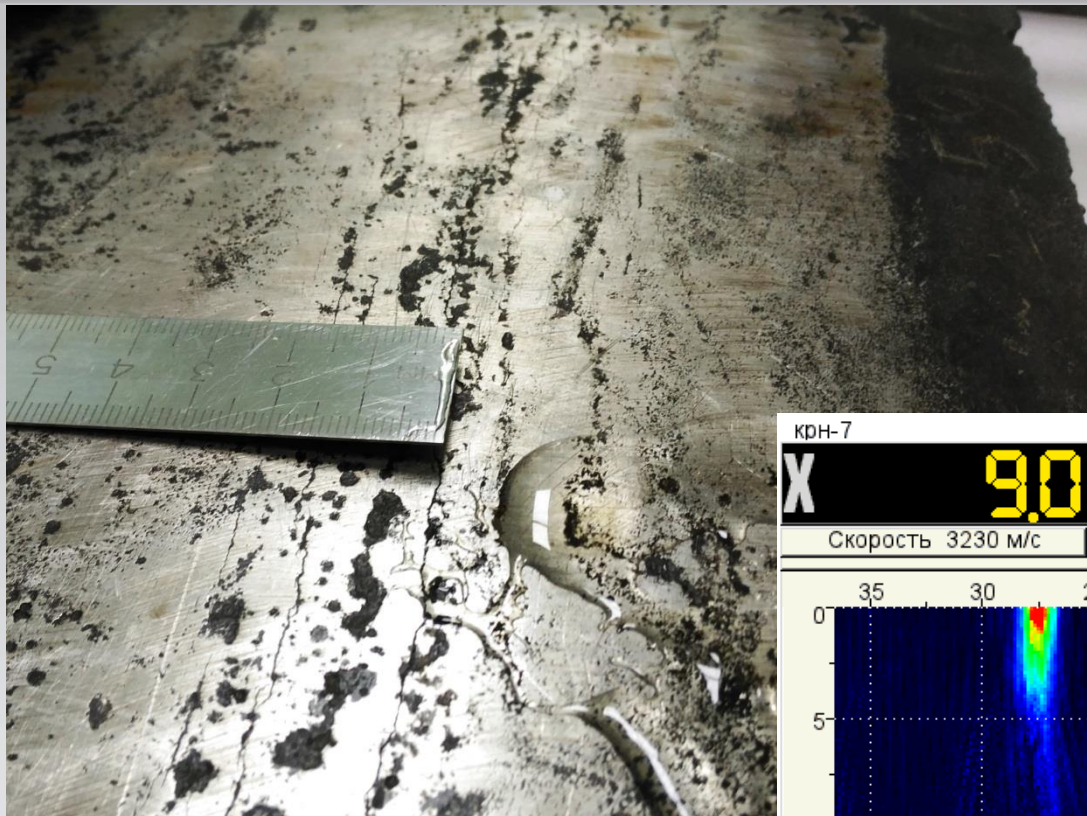
Образец толщиной 17,2 мм с переменной глубиной пропила от 5 до 7 мм



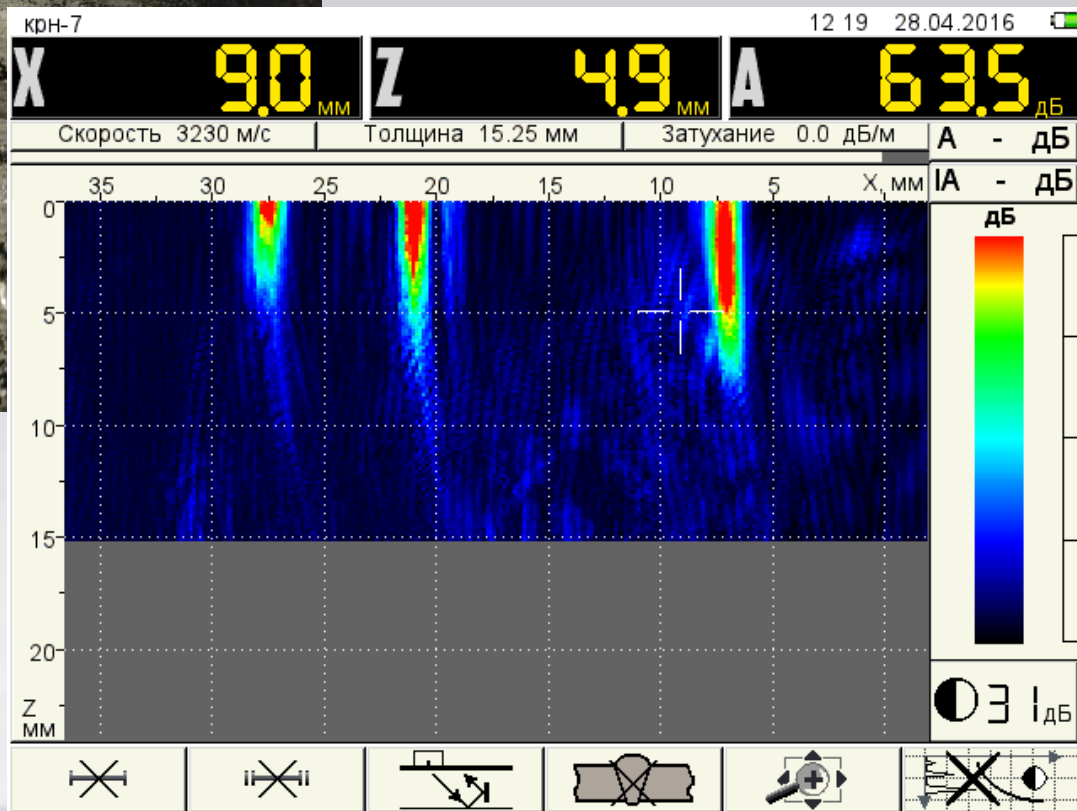


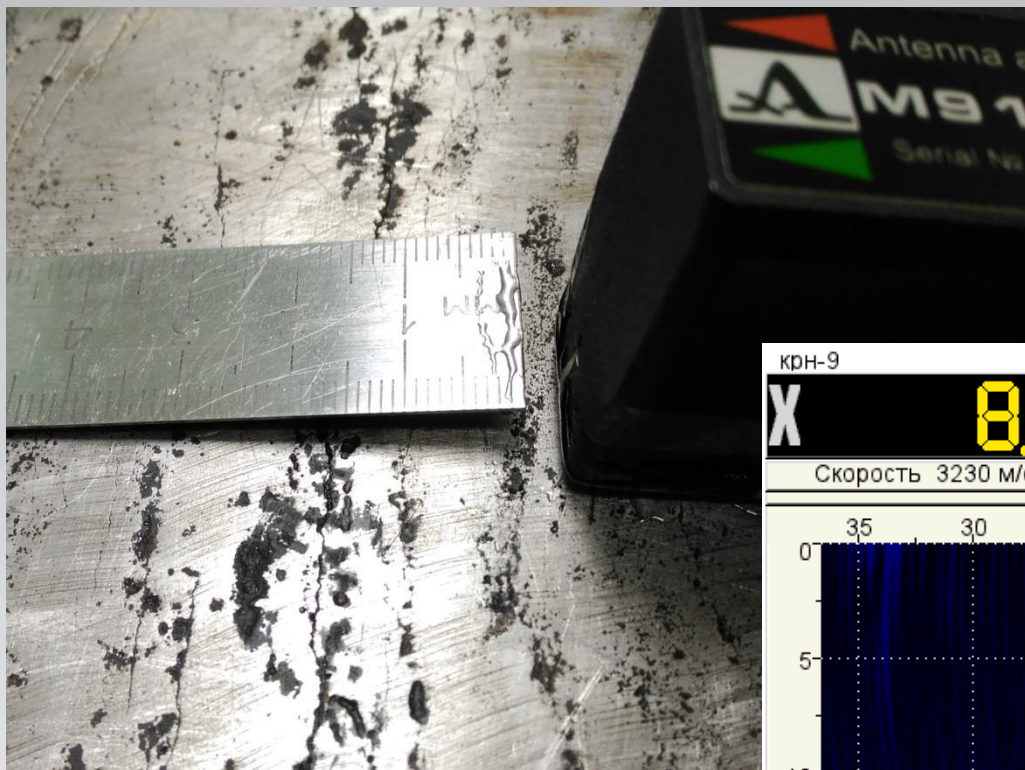
Образец толщиной 30,0 мм с двумя пропилами глубиной 2 и 5 мм



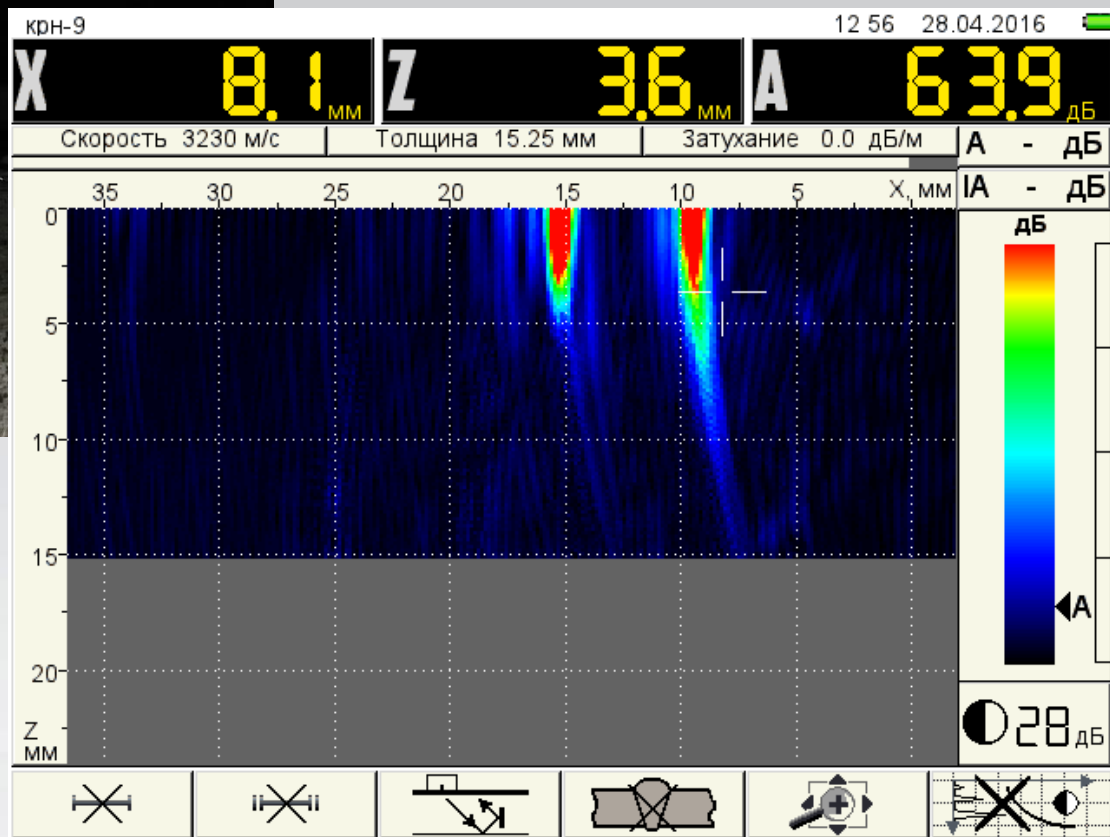


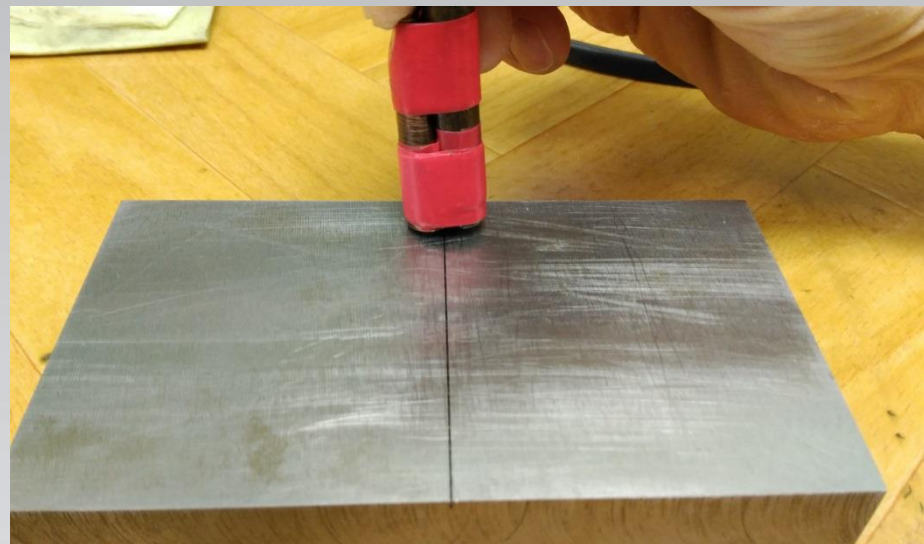
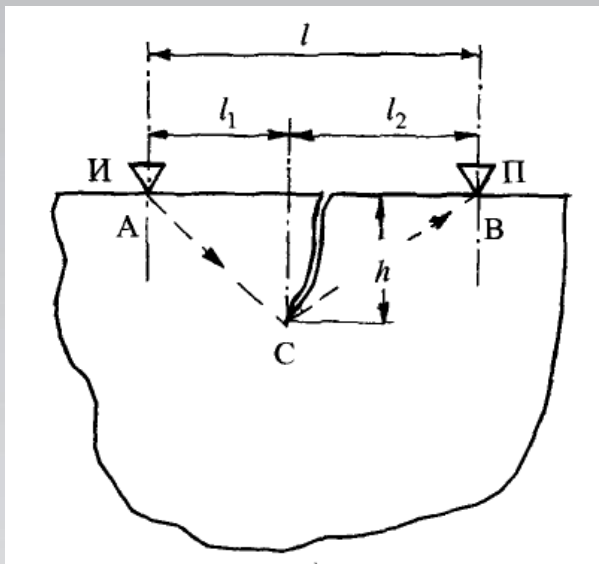
Темплет с КРН толщина 15,2 мм, три трещины





Темплет с КРН толщина 15,2 мм, две трещины



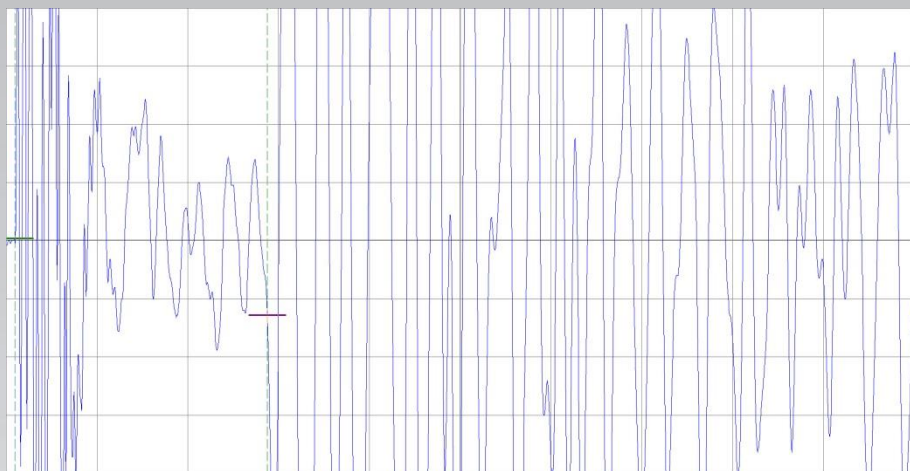


$$h = \frac{l}{2\chi} \sqrt{(\chi^2 - 1)(\chi^2 - b^2)},$$

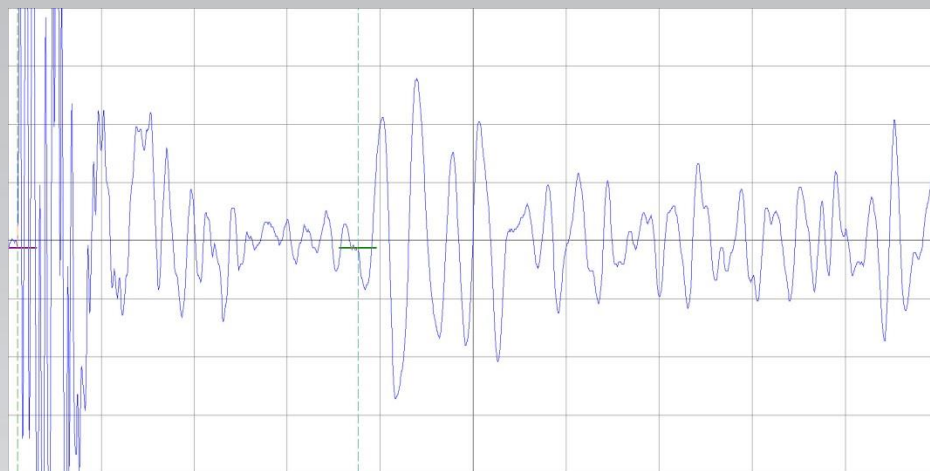
где $\chi = t/t_0 = (AC + CB)/AB$, t и t_0 – соответственно время прохождения УЗ-импульса между преобразователями в дефектной и бездефектной зонах; l – расстояние между преобразователями; $b = |l_2 - l_1|/l$ – параметр, характеризующий положение трещины относительно преобразователей.

Макет преобразователей с СТК.
Рабочая частота 2,5 МГц !!!
SH волна





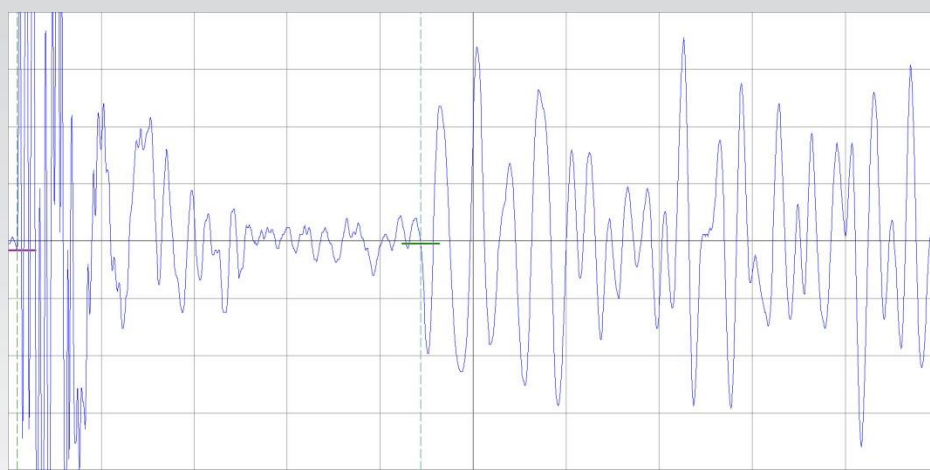
Бездефектный участок, $t = 2,78$ мкс



Трещина глубиной 3,5 мм, $t = 3,66$ мкс

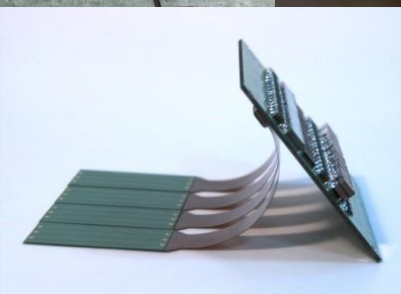
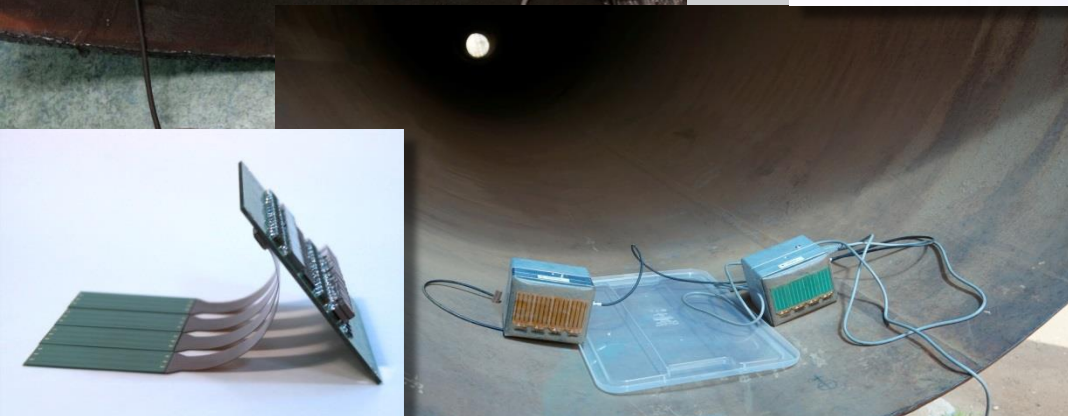


Трещина глубиной 2 мм, $t = 2,91$ мкс



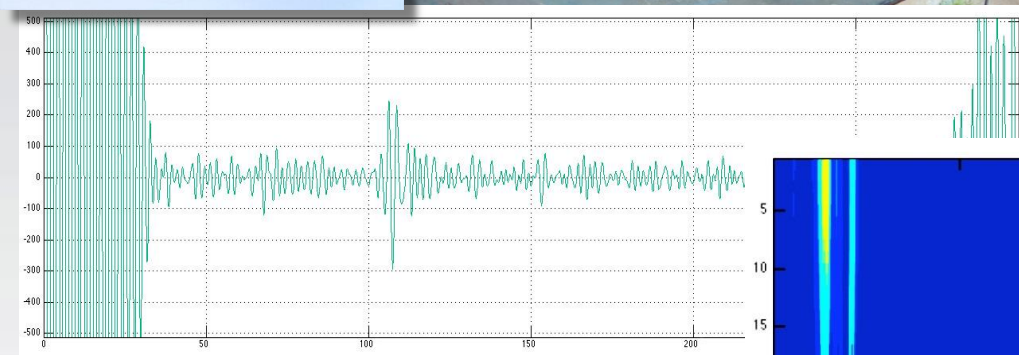
Трещина глубиной 5,0 мм, $t = 4,34$ мкс



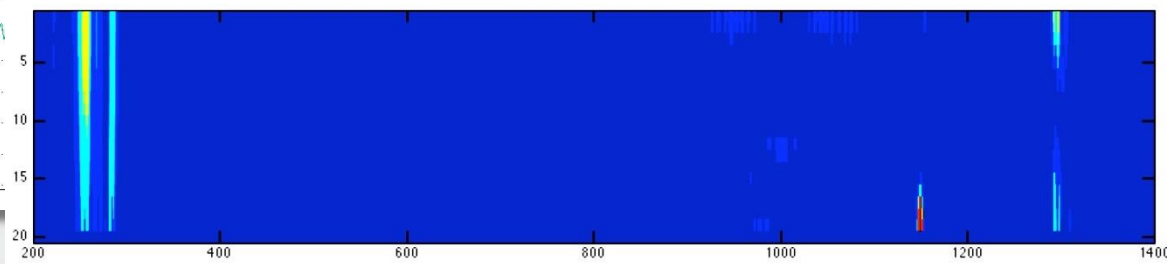


Основные результаты первого этапа разработки прототипа ЭМА АР

- Разработаны приёмные и передающие 16-ти элементные ЭМА антенные решетки, использующие SH тип волн и работающие на частоте 500 кГц
- За счёт применения технологии импульсного подмагничивания отсутствует эффект налипания ферромагнетиков на рабочую поверхность ЭМА преобразователя
- Для реальных дефектов типа КРН получены эхо-сигналы и после их цифровой фокусировки сформированы образы сечений стенки трубы, позволяющие оценить тип и высоту дефекта
- Данная технология позволит решить задачу УЗ контроля сварных швов без применения контактной жидкости



Осциллограмма эхосигнала от пропила, наклонённого под углом 45° к продольной оси трубы. Масштаб по горизонтали 50 мкс/дел.



Томограмма пропила глубиной 2,0 мм на сегменте Ду1400 толщиной 18 мм и длиной 1000 мм



Измерение глубины КРН

➤ Метод ЦФА

- Нельзя точно измерить глубину трещины, если АР установлена на трещину
- Проектирование специализированной АР с увеличенной апертурой и более низкой рабочей частотой для визуализации всего очага КРН с установкой АР в бездефектном участке
- Можно использовать серийно выпускаемый прибор A1550 IntroVisor
- Нужно использовать притертые АР под каждый диаметр трубы
- Относительная погрешность метода ожидается не более $0,1 \div 0,3$ мм

➤ Метод СТК

- Разработка и внедрение антенной решетки на базе преобразователей СТК с частотой 2,5 МГц
- Использование SH-волны
- Разработка ПО для работы данного метода на базе прибора A1550 IntroVisor
- Относительная погрешность метода ожидается не более $0,1 \div 0,3$ мм
- Контроль производится непосредственно по очагу КРН

➤ Метод ЭМА АР

- Находится в стадии начального проектирования
- Погрешность измерения глубины КРН больше, чем в первых двух методах



**СПАСИБО
ЗА ВНИМАНИЕ!**

