

ОТЧЕТ
по результатам ультразвукового обследования
«ЦАРЬ – КОЛОКОЛА»
Троице Сергиевой Лавры г. Сергиев
Посад



МОСКВА
Ноябрь, 2006 года.

Общие положения

1. Основание проведения работы

- договор о творческом сотрудничестве между НУЦ « Сварка и Контроль» МГТУ и Троице Сергиевой Лаврой Московской Патриархии. Работы выполнялись с привлечением специалистов и оборудования ООО «Акустические Контрольные Системы».

2. Цель работы

- продление срока службы изделия.

3. Задачи

3.1 – определение возможностей средств контроля.

3.2 – оценка акустических свойств материала.

3.3 – определение методов УЗК пригодных для данного объекта.

3.4 - оценка результатов действия ударной нагрузки на тело колокола.

3.5 – поиск дефектов в местах приложения ударной нагрузки.

Объект исследования

« ЦАРЬ» - колокол (см. рис. 1.)



Рис.1. Общий вид Царь – колокола.

Место расположения объекта исследований



Рис.2. Общий вид колокольни и места колокола.

Описание объекта контроля

"Царь-колокол" был поднят на второй ярус пятиярусной Лаврской колокольни - самой высокой в России, на 18-метровую высоту в 2004 году. Колокол полностью копирует своего предшественника, сброшенного с колокольни Троице-Сергиевой лавры в 1930 году. Вес "Царь-колокола" - 72 тонны, высота - 4,55 метра, диаметр 4, 5 метра.

Характеристика материала объекта

Бронза (олово – 16%, медь – 84%).

Скорость распространения ультразвуковых колебаний [1] –

Cl – 3500 – 3800 м/сек.

Ct – 2300 – 2500 м/сек.

δ – затухание ультразвуковых колебаний в материале ≥ 100 дБ/м.

H – толщина стенки изделия 400 мм.

Оборудование для исследований

Ультразвуковые дефектоскопы –

A1214 ЭКСПЕРТ – ООО «АКС» Россия.

A1212 МАСТЕР – ООО «АКС» Россия.

А1220 МОНОЛИТ - ООО «АКС» Россия.
РДМ – 33, – Молдавия.
УТ – 4Т, - Молдавия.

Ультразвуковые преобразователи –

Тип П111 на частоту 55 кГц; 0,25; 0,5; 1,25; 1,8; 2,5; 5,0 – МГц.
стандартные.

Тип П121 на частоту 0,5; 1,25; 2,5 - МГц, угол ввода 30 – 65 град,
стандартные.

РС ПЭП типа П122 и П 133 – специальные.

Антенная решетка М2502 -55 кГц

Акустическое контактное вещество –

типа АКВ -1, глицерин.

Фотоаппаратура-

Тип NIKON, D-50.

Этапы работы

1 Внешний осмотр изделия (см. рис.3.)



Рис.3. Проведение внешнего осмотра.

Внешнему осмотру была подвергнута вся внутренняя поверхность изделия, на которую воздействовала ударная нагрузка.

2. Разметка изделия

2.1 Определение «О» точки.

За «О» точку отсчета принято место на внутренней поверхности колокола, где « проявилось» воздействие ударной нагрузки на тело колокола и выявлены поверхностные дефекты (см. рис. 4).

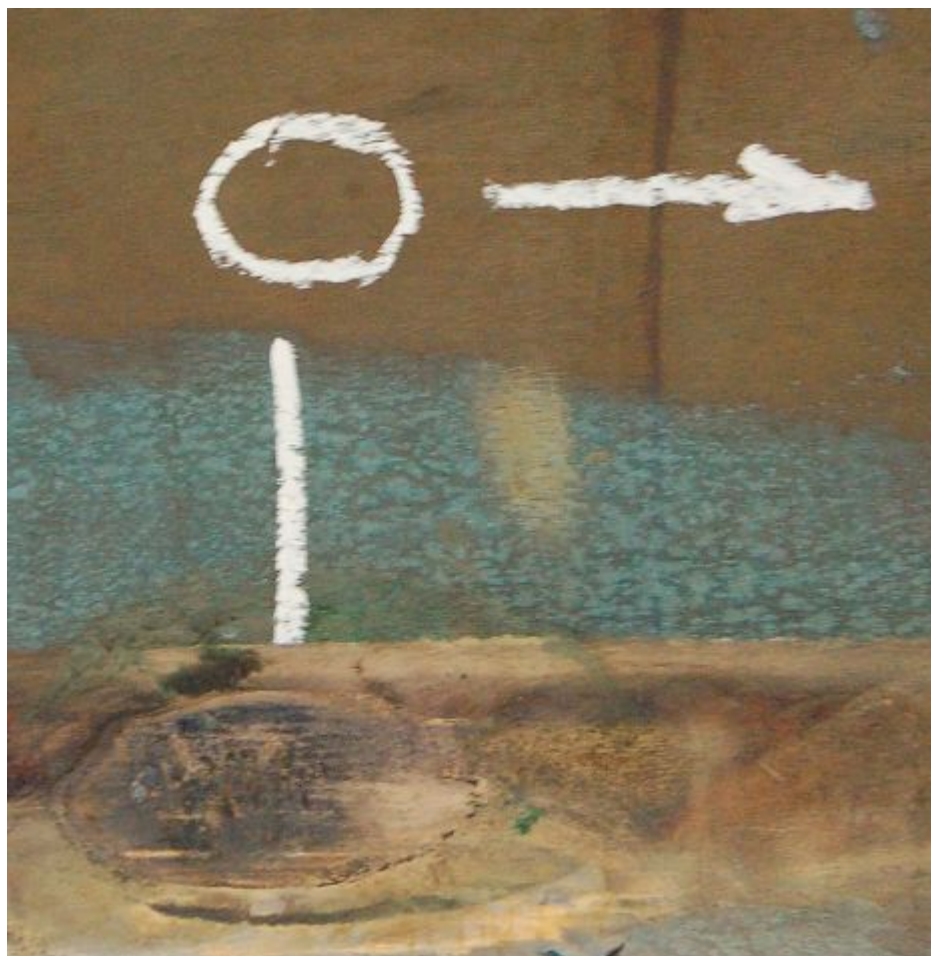


Рис.4. «О» точка отсчета координат. Существующая ударная зона.



Рис. 5. Положение нулевой точки.
Нулевая точка ориентирована точно на восток.



Рис.6. Положение первого участка.
Ориентация 1- го участка - 135 градусов от «О». Предполагаемая новая ударная зона.



Рис.7.Положение второго участка.

Ориентация второго участка - 180 градусов от «О», строго на запад.
Существующая ударная зона.



Рис.8. Положение третьего участка.
Ориентация третьего участка - влево, против часовой стрелки на расстоянии ≈ 45 град. от «О». Планируемая ударная зона.



Рис.9. Положение второй точки на внешней поверхности колокола.

3. Проведение ультразвуковых исследований

На первом этапе были опробован эхометод с внутренней стороны колокола в указанных выше точках при помощи высокочастотных дефектоскопов А1212 МАСТЕР, А1214 ЭКСПЕРТ и прямых преобразователей (ПЭП) с рабочей частотой 0,25; 0,5; 1 МГц и низкочастотный дефектоскоп А1220 МОНОЛИТ с прямым ПЭП частотой 55 кГц. Донный сигнал получить не удалось.

На следующем этапе была опробована теневая схема контроля с двумя ПЭП 0,25 и 0,5 МГц (Рис.10).



Рис. 10. Позиционирование ПЭП для получения максимального сигнала.



Рис. 11. Измерение амплитуды сигнала А, пути Н.

Сигнал прохождения был найден, и он хорошо выделялся над уровнем шумов. Таким образом теневой метод применим для данного объекта контроля. Но практически оказался очень сложным из-за того, что не было центрующего устройства для расположения ПЭП на одной оси и в зоне контроля на внешней стороне колокола мешали выпуклые надписи. ПЭП с диаметром 30 мм устанавливались только в ограниченных местах, поэтому были опробованы ПЭП с диаметром 20 мм и частотой 1 МГц. Проведение контроля оказалось возможным, при этом соотношение сигнал/шум стало +7 дБ. Таким образом были прозвучены указанные выше 4 зоны в каждой минимум было сделано три измерения и сняты показания значения аттенюатора при установке сигнала на стандартный уровень -50% экрана.

Таблица 1.

Результаты измерений уровня прошедшего сигнала Ао.

№ участка	О - существующий											
А дБ	28	28	28									
№	1 - планируемый											
А	29	29	31									
№	2 - существующий											
А	39	39	37	37	37	39	39	39	37	39	37	39
№	3 - планируемый											
А	31	25	29	37	0							
	Соотношение - сигнал/шум +7 дБ.											

Анализируя проведенные измерения, можно сказать следующее:
 - Амплитуда прошедшего сигнала на втором участке, который подвергся в течение длительного времени ударной нагрузке, почти в 4 раза (12 дБ) больше амплитуды, измеренной на аналогичном «О» участке.

Предварительный вывод –

Снижение амплитуды прошедшего сигнала на нулевом участке может быть связано с наличием в зоне нулевого участка поверхностных дефектов, которые «проявились» на поверхности изделия, после воздействия на них ударной нагрузки. Такая ситуация характерна для многих литых изделий после их проковки и изменения величины зерна кристаллической решетки изделия.

- Результаты измерений, проведенные на третьем участке, отличаются от измерений на первом участке по стабильности результатов

измерений, максимальный разброс - ΔA для этого участка составляет - $\Delta A = A_0 - A = 39 - 25 = 14 \geq 12$ ДБ.
 - Особое внимание следует обратить на последний замер, проведенный на третьем участке - $A=0$ ДБ, $\Delta A= 39$ Дб. Этот замер показывает, что возможно изделие в этом месте имеет дефект! Данный метод не позволяет определить ориентацию и форму дефекта.

На этих же участках изделия, проводились исследования качества поверхностного слоя металла колокола. Эти исследования проводилось при наклонном падении ультразвуковых колебаний в исследуемое место и приеме волн, возникающих при дифракции волны на дефекте (см. рис. 12, 13). Образование таких волн подробно рассмотрено в работах по дефектоскопии[1; 2;3], они применяются при измерении высоты внутренних дефектов[4], они используются для обнаружения подповерхностных дефектов, определения типа дефекта [5] и измерения дефектов, размер которых больше длины волны (0,5 -1,0 мм).

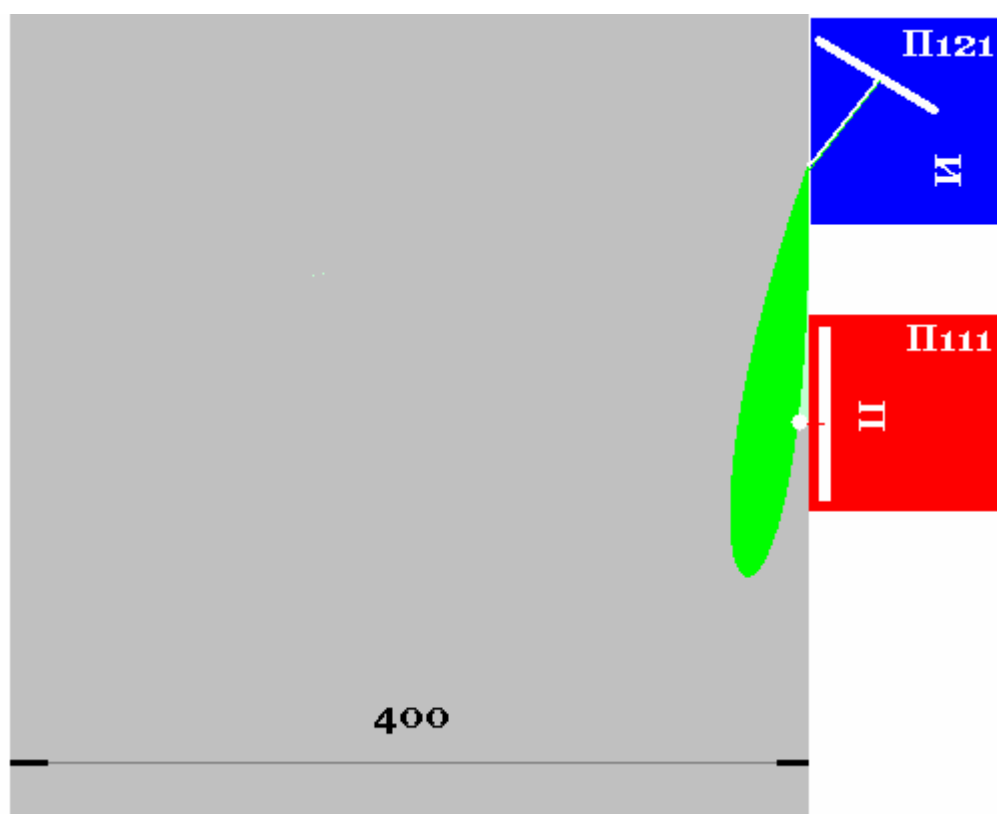


Рис.12. Схема исследований поверхностного слоя материала колокола.



Рис. 13. Проведение измерений на первом участке.

Для колокола не существует норм. дефектности, нет образцов для настройки, поэтому все измерения проводились на предельной (максимальной) чувствительности, которую обеспечивали средства контроля.

ВЫВОДЫ :

1. В результате проведенных исследований установлено, что при воздействии удара на нулевом и втором участках колокола не обнаружены дефекты, которые могут оказать отрицательное влияние на его длительную работоспособность.
2. Разный уровень проходящего сигнала в этих местах свидетельствует о неоднородности бронзы, так как олово, входящее в ее состав подвержено ликвации.
3. Отсутствие сигнала в пятой точке измерений, третьего участка, не позволяет дать положительное заключение о возможности поворота колокола в другую позицию, но для объективной оценки этого вывода требуются дополнительные исследования дефектности этого места с помощью специального оборудования.
4. Обеспечение долговременной эксплуатации изделия требует проведение профилактического контроля изделия для предупреждения возможности образования и развития дефектов.

Заключение.

Ультразвуковые исследования показали, что, несмотря на сложность контроля «Царь – колокола» с помощью ультразвука, проведение его возможно, но требует специального подхода и средств.

Поэтому было принято решение провести второй этап исследования.

ВТОРОЙ ЭТАП:

Оборудование для исследований

Ультразвуковой дефектоскоп –

A1220 – «Монолит»

Ультразвуковой тестер –

UK -1401

Антенная решетка - М 2502, № 204044

Фотоаппаратура-

Тип NIKON, D-50.

1 Краткий анализ предыдущих исследований.

Обследование состояния «ЦАРЬ» колокола было проведено 01.11.2006 года с помощью стандартных средств неразрушающего контроля.

Внешний осмотр (ВИК) был проведен по всей внутренней поверхности изделия. Протяженность поверхности контроля составила 7 метров по периметру и 0,5 м по вертикали. Особое внимание уделялось точкам, на которые действовала ударная нагрузка. На схеме контроля эти точки обозначены индексами «О» и «2». Сканирование проводилось от «О» точки по ходу движения часовой стрелки. ВИК в «О» точке обнаружил дефекты, которые могли инициировать развитие внутренних дефектов в теле колокола. Характер развития и внешний вид дефектов, позволяют сделать заключение, что это дефекты литья, которые вышли на поверхность в процессе воздействия на них ударной нагрузки [1]. Проверка дефектного места с помощью комбинированного преобразователя

типа П133, волнами дифракционного типа, исключила развитие поверхностных дефектов в тело изделия.

Однако на участке №3, в пятой точке отсутствовал сигнал прошедшей волны.

Для исключения вероятности недобраковки, было принято решение о проведении дополнительных исследований внутреннего состояния колокола с помощью дополнительных средств контроля.

Из существующих в настоящее время средств и методов можно применить методы контроля проникающим **R** или **γ** излучением или метод УЗК на низких частотах [2].

Метод контроля проникающим излучением был исключен по требованиям радиационной безопасности. Дефектоскопия внутреннего состояния была проведена эхо-методом с помощью низкочастотного дефектоскопа А1220 МОНОЛИТ и антенной решетки М2502 [6,7]. УЗК этими средствами применяется для бетона, толщиной до 1000 мм.

Предварительно, были проведены измерения скорости распространения ультразвуковых колебаний в исследуемом материале с помощью ультразвукового тестера УК1401 (фото 1). На основании проведенных измерений была проведена настройка развертки, зоны контроля, и произведены измерения уровня донного сигнала А в ударном поясе колокола с одновременным измерением толщины Н, стенки колокола в этих местах (фото 2,3). Для анализа часть результатов приведена в таблице 2. Донный сигнал четко выделялся, разница между ним и уровнем помех составила 40дБ.



Фото 1 Измерение скорости распространения УЗК.



Фото 2. Настройка скорости развертки, рабочей зоны.



Фото 3. Проведение измерений амплитуды эхо-сигнала Адб, измерение толщины стенки колокола Н, мм.

Таблица 2

№ измерений	№ 1 С м/сек А, дб	№2 С м/сек А, дб	№3 С м/сек А, дб	№4 С м/сек А, дб	№5 С м/сек А, дб
Участок измерений					
«О»	4520 57	4570 59	4630 61	- -	- -
«1»	4560 60	- -	- -	- -	- -
«2»	4550 58	4550 57	4630 58	- -	- -
«3»	4590 58	4620 60	4640 59	- -	- -

По данным таблицы можно увидеть, что скорость ультразвука изменяется в разных местах контроля, диапазон изменений составляет максимум 120 м/с, это подтверждает вывод, что бронза колокола не однородна по акустическим свойствам. Амплитуда низкочастотного сигнала изменяется в незначительных пределах – разница между мин.и макс. составила 4 дБ.

Далее колокол был просканирован по окружности, которая проходила через предполагаемые дефектные зоны. Данные сканирования в дефектоскопе были записаны в виде непрерывной «ленты». Шаг сканирования был выбран 40 мм. Общая длина ленты составила 14 метров.

Отсчет координат проводился от «О» точки, установленной на стадии первых измерений (фото 4). Замеры проводились по всей длине окружности колокола (фото 5).

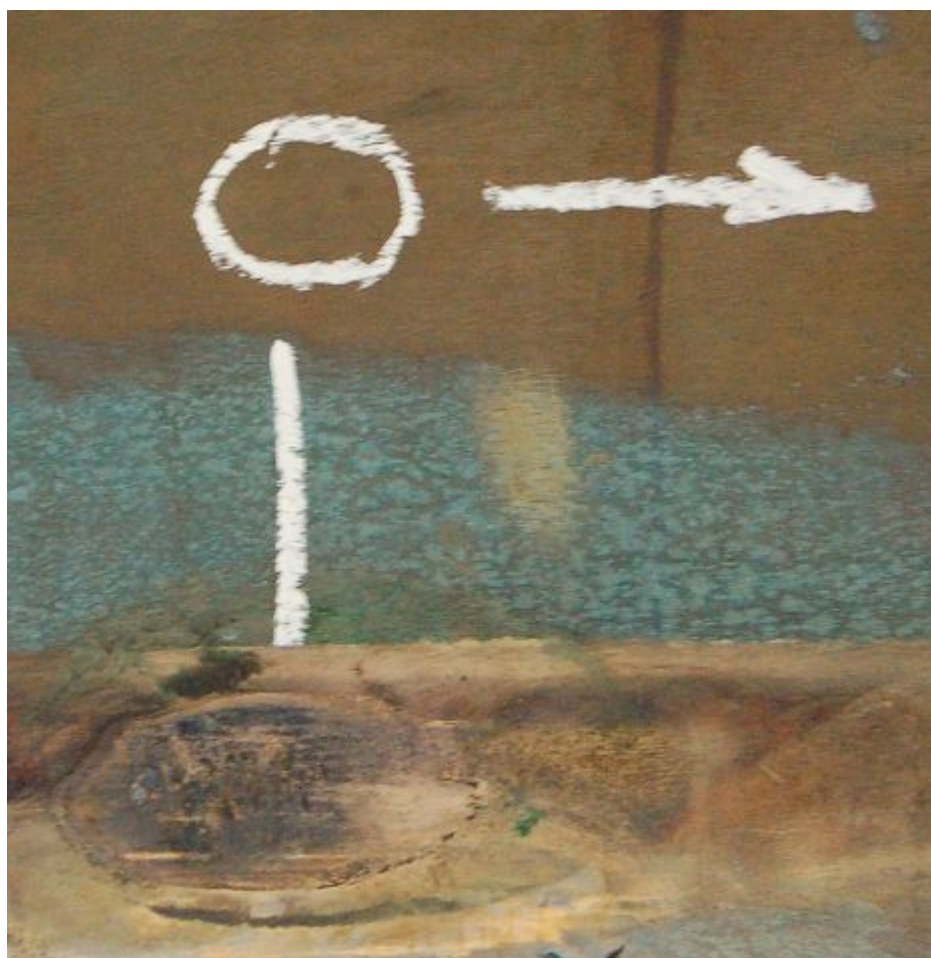


Фото 4. «О» точка отсчета координат.
Шаг сканирования 40 мм.

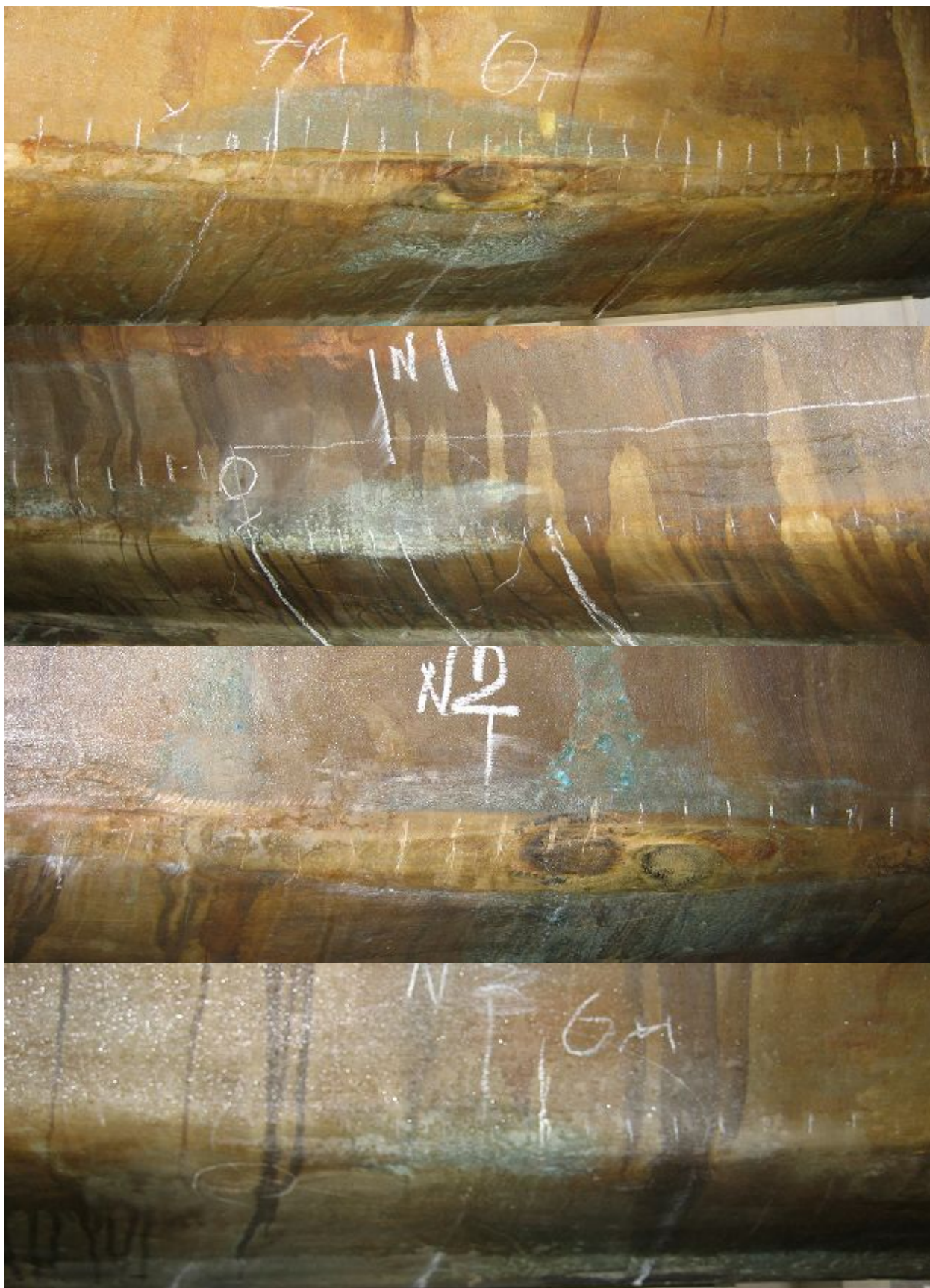


Фото 5 Разметка точек измерений.

Записанная «Лента» представляет собой В-скан, который можно просмотреть на экране дефектоскопа или с помощью специальной программы Интровизор на экране компьютера (фото 6). На фото мы видим две области зеленого цвета. Область сверху-это мертвая зона, которая составляет примерно 20 мм. Область на глубине 400 мм – донный сигнал. Других сигналов обнаружено не было, отсюда можно сделать вывод, что дефектов, которые может обнаружить дефектоскоп А1220 МОНОЛИТ, нет. Чувствительность прибора позволяет выявлять объемные дефекты диаметром от 30 мм и наиболее опасные плоскостные дефекты.

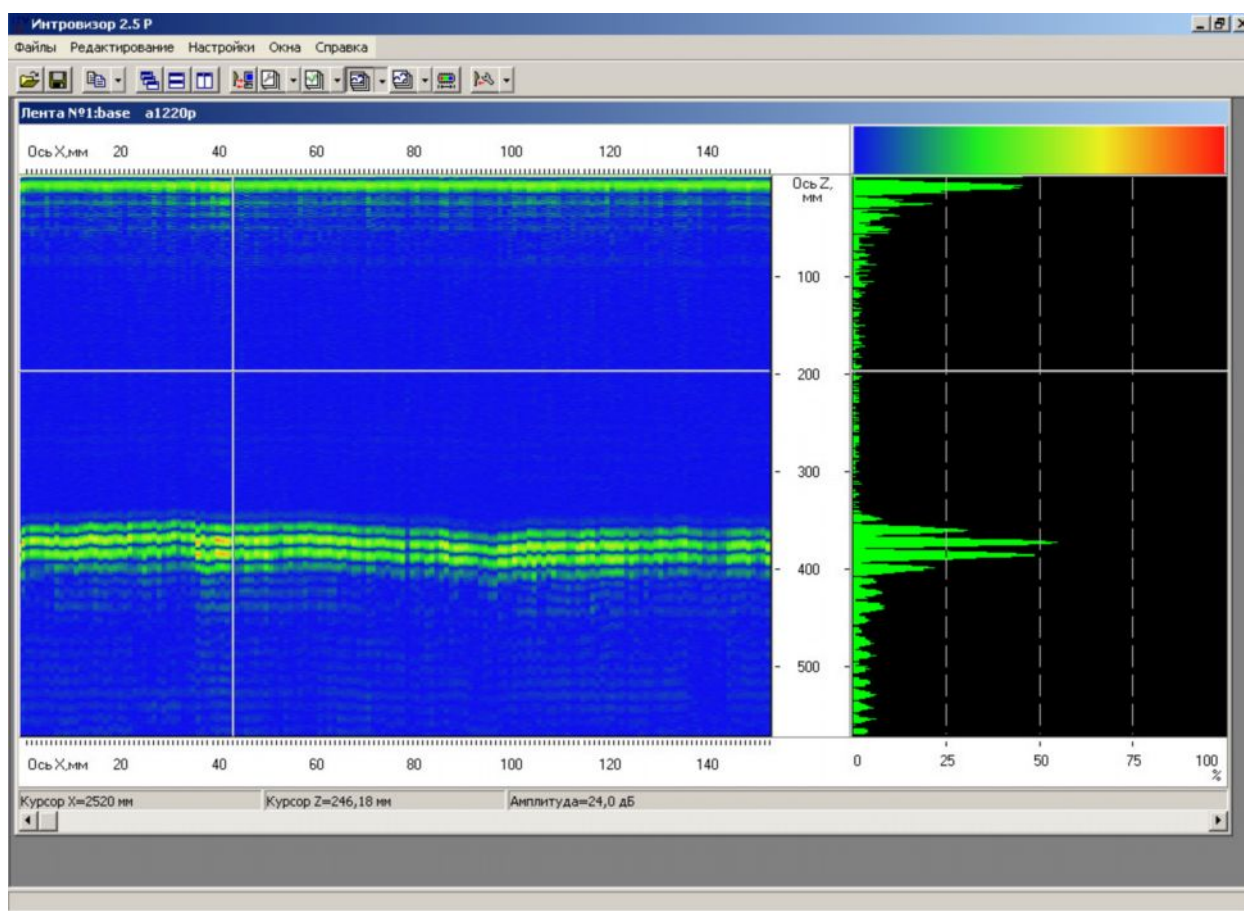


Фото 6 Лента

На основании проведенных исследований можно сделать выводы по второму этапу работ:

ВЫВОДЫ :

1. В результате проведенных исследований установлено, что при воздействии удара на нулевом и втором участках колокола не обнаружены дефекты, которые могут оказать отрицательное влияние на его длительную работоспособность.
2. Средства УЗИ трещиноподобного дефекта, адаптированные для контроля развития поверхностного дефекта, показали, что развитие дефекта в глубину нет. Для более точной фиксации этого размера, требуется создание специальных средств дефектоскопии и дефектометрии.
3. Отсутствие сигнала в пятой точке измерений, третьего участка полученные, на первом этапе исследований, связано с субъективными факторами.
4. Для повышения чувствительности контроля нужно провести контроль с помощью ультразвукового томографа А1040 ПОЛИГОН производства ООО «АКС».
5. Для обеспечения эксплуатации изделия требуется проведение профилактического периодического контроля изделия для предупреждения развития дефектов.

Список литературы.

1. Неразрушающий контроль: Справочник. 3 том. Под общ.ред. В.В. Клюева. Машиностроение, 2004.
2. Ультразвук. Маленькая энциклопедия. Глав. ред. И. П. Голямина. – М.: «Советская энциклопедия», 1979. – 400 с., илл.
3. Гурвич А. К. Зеркально – теневой метод ультразвуковой дефектоскопии. – М.: Машиностроение, 1970. – 34 с.
4. Методы акустического контроля металлов. Под ред. Н. П. Алешина. – М.: Машиностроение, 1989. – 456 с.
5. М.Е. Комов, Исследования возможности измерения высоты плоскостных дефектов в аустенитных сталях. Дис., на соискание степени канд. техн. наук. Москва, МГТУ, 2006-07-29.
5. Методика проведения ультразвуковых измерений сварных соединений и основного материала строительных конструкций и трубопроводов. УЗИ – 07. 05. Н.П. Алешин, А.К. Воцанов, Е.М. Комов, М.Е. Комов. МГТУ, 2005, 45 стр.

6. Новые аппаратурно-методические возможности ультразвукового прозвучивания композитов и пластмасс. Шевалдыкин В.Г., Самокрутов А.А., Козлов В.Н.//Заводская лаборатория. Диагностика материалов.1998.№4, Т.64. С 29-39.
7. Ультразвукова дефектоскопия бетона эхометодом: состояние и перспективы. Шевалдыкин В.Г., Самокрутов А.А., Козлов В.Н.// В мире неразрушающего контроля. 2002.№2. С.6-10.

Исполнители:

Комов М.Е. – к.т.н., специалист 3-го уровня.
Щедрин И.Ф. – инженер специалист 3-го уровня по УЗК.
Силин В.В. – инженер специалист 2-го уровня по УЗК.
Подадаев И.А. – инженер.
Божков В.С. – студент МГТУ им. Н.Э. Баумана