

УДК 620.179.16: 620.179.17

М. Е. ПОЗНЯКОВА, Г. М. СУЧКОВ, О. Н. ПЕТРИЩЕВ

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ С НЕ ПЛОСКОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ВОЛНАМИ РЕЛЕЯ

Приведены результаты экспериментальных исследований и разработок, направленных на повышение выявляемости поверхностных дефектов и производительности контроля с использованием ЭМА способа возбуждения и приема импульсов поверхностных волн. Показано, что использование ЭМА преобразователей позволяет обеспечить высокопроизводительную дефектоскопию изделий со значительной площадью поверхности и, в сравнении с контактными способами ультразвукового контроля, существенно уменьшить текущие расходы на проведение УЗК.

Ключевые слова: дефект, ЭМА преобразователь, ультразвуковой контроль, волна Рэлея, магнит, кривизна поверхности.

Введение. В настоящее время изготавливается и поставляется потребителям десятки миллионов тонн гнутых профилей, труб большого диаметра, заготовок с различной формой поверхности, железнодорожных осей локомотивов и вагонов. Как при производстве, так и при эксплуатации в изделиях могут возникать различные дефекты. Значительная их часть выходит на поверхность или располагается вблизи поверхности. Как правило, для обнаружения дефектов поверхности применяют традиционные методы: визуально-оптический, капиллярный, магнитный, вихретоковый [1] или ультразвуковой поверхностными волнами [2]. Они имеют недостатки. Неэффективно обнаруживаются дефекты под слоем окалины и загрязнений, требуются значительные затраты расходных материалов. Необходима специальная подготовка поверхности. Часто требуется сложная аппаратура и, что очень существенно, необходимо много времени для обеспечения контроля изделий по всей площади. Традиционный ультразвуковой метод контроля поверхностными волнами применяется редко из-за использования контактного способа возбуждения и приема ультразвуковых импульсов, что приводит к снижению достоверности дефектоскопии, значительному расходу энергии и

ресурсов при обязательной специальной подготовке поверхности объекта контроля (ОК). Использование бесконтактного электромагнитно-акустического (ЭМА) способа возбуждения и приема позволяет повысить производительность и достоверность контроля [3], но обладает недостаточной чувствительностью [4]. Следовательно, научно-техническая задача по разработке новых средств высокопроизводительного контроля ОК с изменяемой формой поверхности является актуальной.

Основная часть. Для выполнения исследований был разработан и изготовлен стенд, блок-схема которого показана на рис. 1. Он содержит задающий генератор (ЗГ) 1, который соединен с генератором зондирующих импульсов (ГЗИ) 2. ГЗИ 2 соединен с входом электромагнитно – акустического преобразователя (ЭМАП) 3, располагаемым над объектом контроля (ОК) 4. Выход ЭМАП 3 соединен с малошумящим предварительным усилителем (ПУ) 5. Выход ПУ 5 соединен с входом осциллографа 6, который синхронизируется сигналом с ЗГ 1. ЗГ 1 также соединен с блоком источника магнитного поля 7, подключенного к входу обмотки импульсного магнита ЭМАП 3.

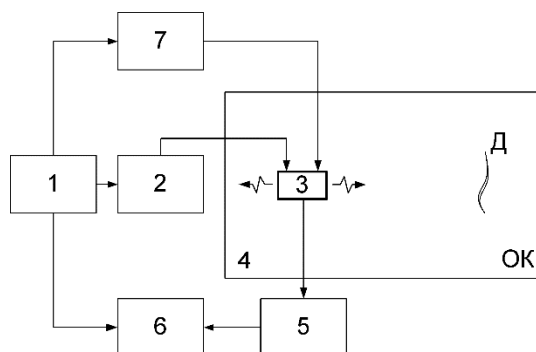


Рис. 1 – Блок-схема экспериментального стенда

Работает стенд следующим образом. ЗГ 1 формирует исходный радиоимпульс с заданной регулируемой частотой следования, заданной регулируемой длительностью импульса и заданной регулируемой частотой заполнения импульса. Радиоимпульс с установленными параметрами

подается на ГЗИ 2, где усиливается до заданной мощности. Усиленный радиоимпульс подается на вход ЭМАП 3. В поверхностном слое ОК 4 под ЭМАП 3 формируется мощный акустический импульс, распространяющийся по поверхности изделия. При этом источниками магнитного поля

ЭМАП 3 были – импульсный магнит или постоянный магнит. Принятый ЭМАПом 3 из ОК 4 импульс ультразвуковых колебаний от дефекта Д поступает на вход ПУ 5, а с его выхода на вход осциллографа 6. Синхронизация работы осциллографа 6 с другими блоками стенда осуществляется импульсом с блока ЗГ 1.

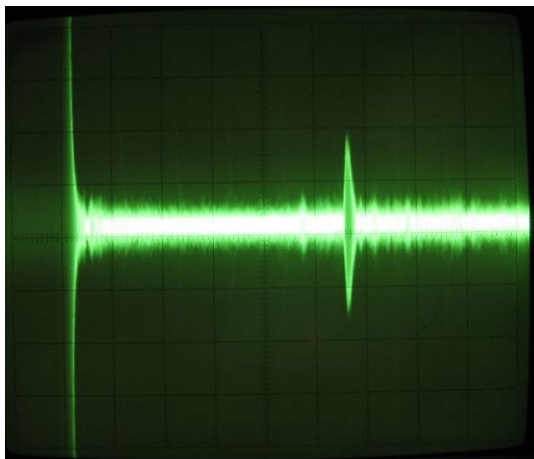
При использовании импульсного магнита ЗГ 1 формирует сигнал блока 7, который в этом случае питает обмотку импульсного магнита ЭМАП 3, создавая квазипостоянное магнитное поле с заданным регулируемым временем действия.

Для выполнения широкого спектра исследований ЭМАП 3 изготавливался в совмещенном или отдельно-совмещенном или в отдельном вариантах. Во всех случаях индукторы ЭМАП 3 выполняли в виде зигзагообразной катушки с шагом равным половине длины волны акустических колебаний. При использовании постоянного поляризуемого магнитного поля его величину выбирали минимальной. Это необходимо

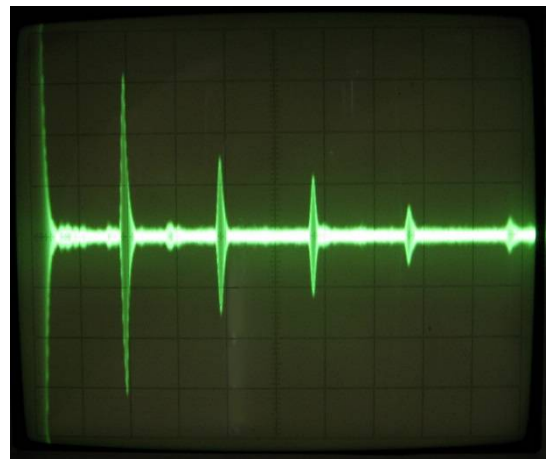
для обеспечения приемлемых условий для работы оператора дефектоскопа.

Объектом для исследований служили образцы, изготовленные из листов (для сравнения), труб, заготовок для железнодорожных осей.

На первом этапе исследована дальность распространения волн Релея на не защищенных поверхностях изделий в состоянии после прокатки и после эксплуатации на частотах в диапазоне 0,2... 1 МГц. Использовано отдельное включение излучающей и приемной частей ЭМАП. Установлено, что сигнал, достаточный по амплитуде для оценки качества поверхности, принимается на расстояниях до 3...5 м как на плоской поверхности (лист со ржавой поверхностью) (рис. 2, а), частота 0,9 МГц, так и на поверхности с кривизной (муфта обсадной трубы) рис. 2, б частота так же 0,9 МГц. Следовательно, при каждом зондировании ультразвуковым импульсом можно контролировать значительную площадь ОК, повышая тем самым производительность неразрушающего контроля.



а



б

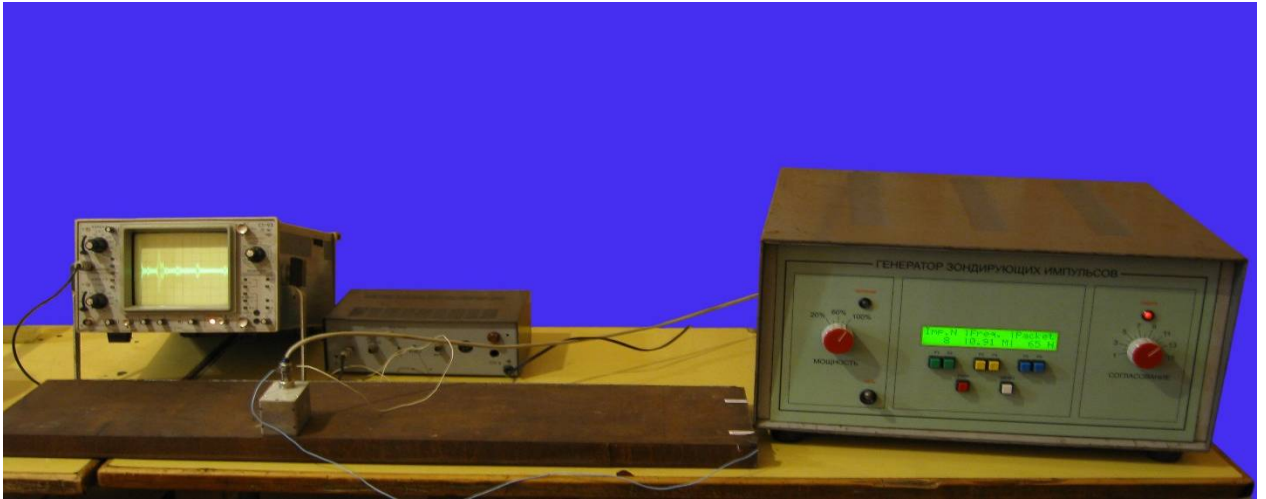
Рис. 2 – Сигналы получены: а – на плоской корродированной поверхности и б – на поверхности с кривизной, муфта обсадной трубы диаметром 186 мм

На втором этапе исследована выявляемость поверхностных дефектов на различных ОК.

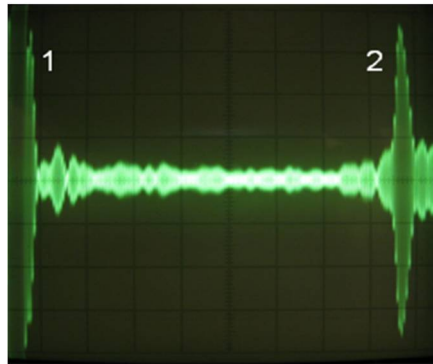
Стенд для ультразвукового контроля в применении к листовому прокату толщиной 30 мм, показан на рис. 3, а. Реализация для случая бездефектного участка рис. 3, б. И второй случай рис. 3г при наличии поверхностного дефекта в виде риски размерами 35×1×2,2 мм. В приведенных исследованиях использована пониженная частота ультразвуковых импульсов (частота в пакете импульсов возбуждения равна 300 кГц), так как поверхность листа была поражена коррозией. На рис. 3 б, г и соответственно на всех последующих

рисунок с реализациями цифрой 1 обозначен зондирующий импульс, 2 – импульс от торца изделия или обрезки, 3 – импульс от модели дефекта.

Стенд для ультразвукового контроля в применении к участку обсадной трубы с муфтой бывшей в эксплуатации, приведен на рис. 4, а, и сигнал, полученный на бездефектном участке – на рис. 2, б. Изображения дефектов и соответствующие им реализации для случаев наличия поверхностных дефектов в виде риски размерами 60×0,2×1 мм, отверстия диаметром 2,8 мм, забоины, глубиной до 0.4 мм, приведены соответственно на рис. 4б, в, г.



а



б



в

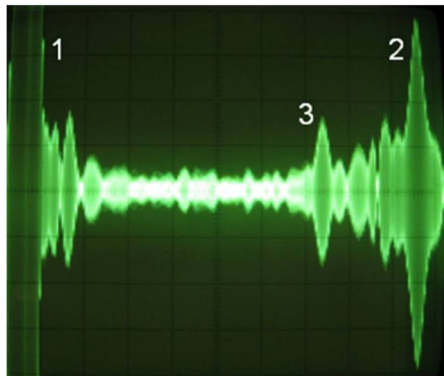
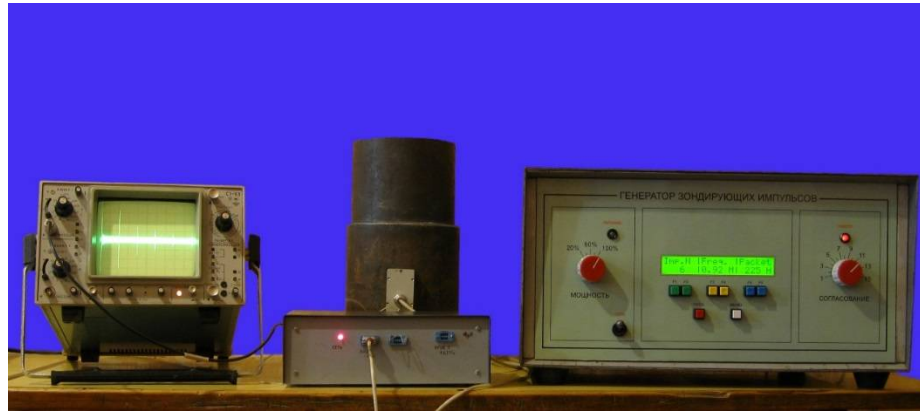
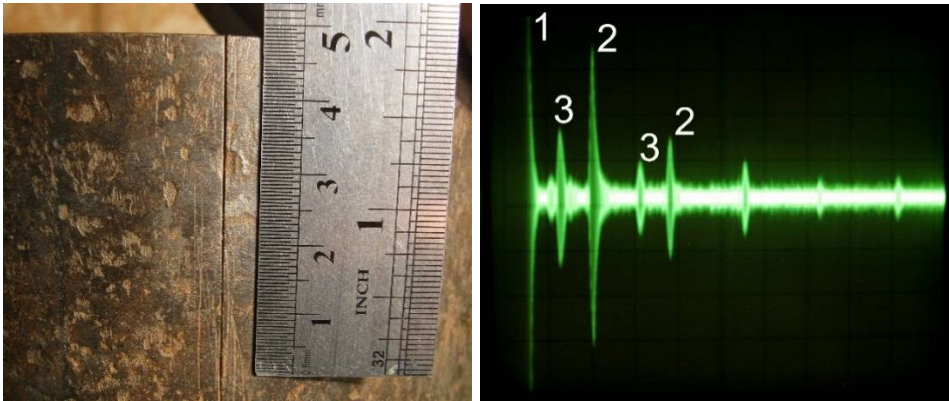


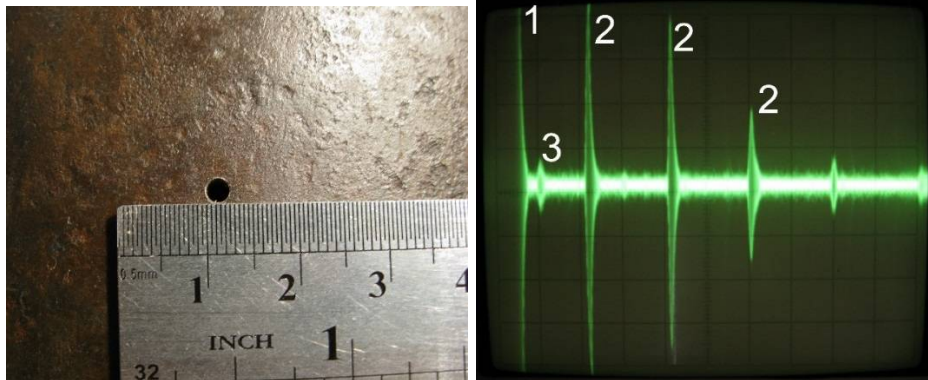
Рис. 3 – Реализация возможностей ультразвукового контроля листовых изделий: а – на стенде; для случаев: б -бездефектного участка; в – дефекта в виде риски размерами $35 \times 1 \times 2,2$ мм; г – поверхностного дефекта



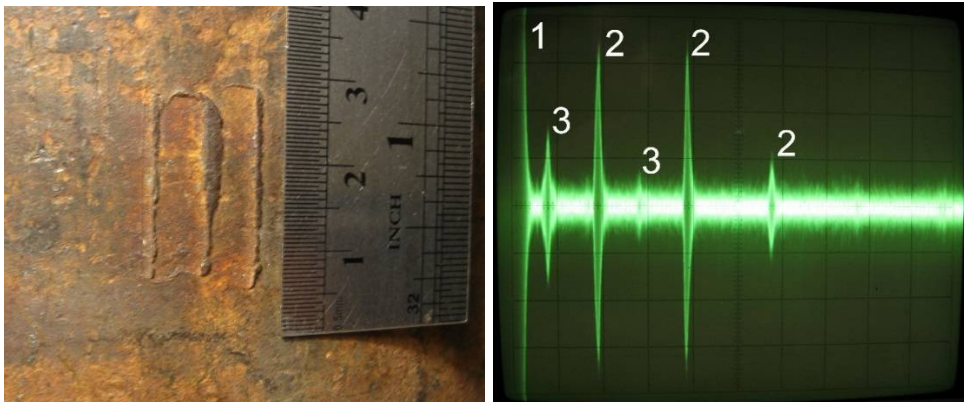
а



б



в



г

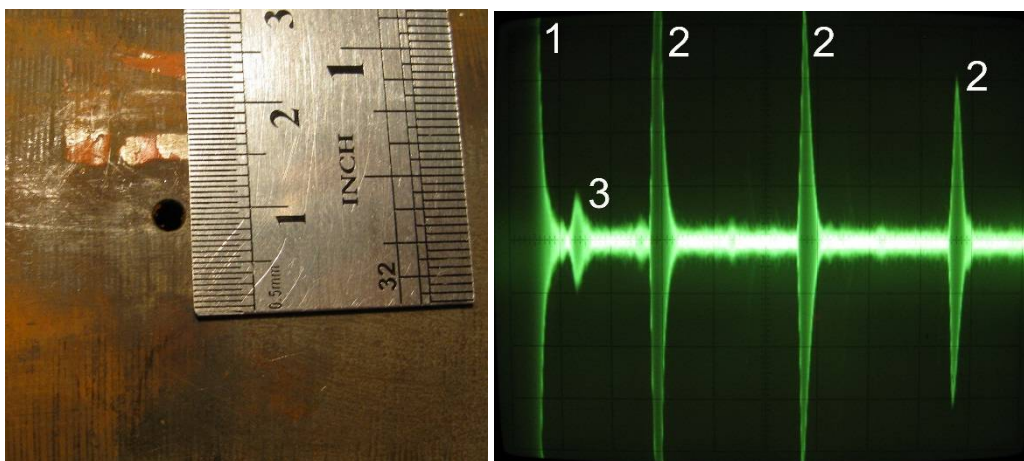
Рис. 4 – Ультразвуковой контроль обсадной трубы с муфтой, бывшей в эксплуатации: а – стенд; исследованные дефекты и соответствующие им реализации: б – дефект в виде риски; в- дефект в виде отверстия; г – поверхностный дефект

Образец из заготовки железнодорожной оси и реализации для случаев бездефектного участка приведено на рис. 5, а. При наличии поверхностного

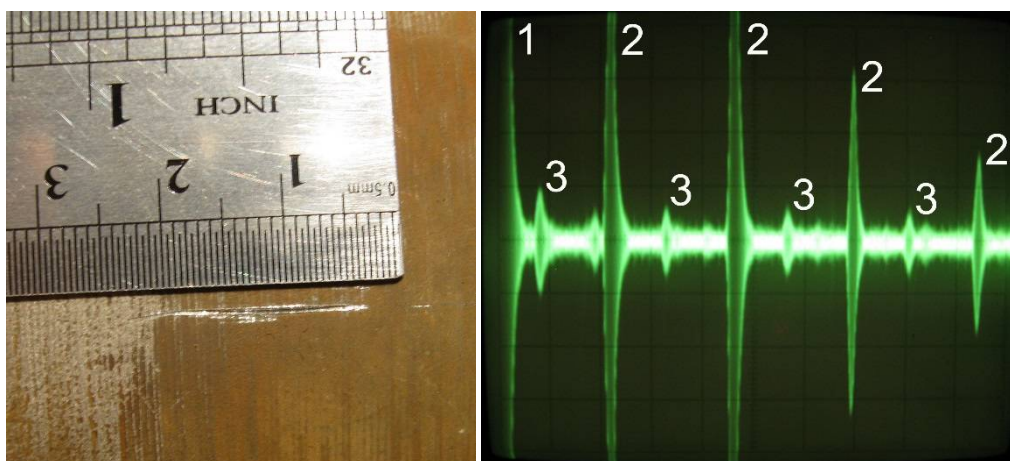
дефекта в виде продольной риски размерами $15 \times 0.45 \times 0,35$ мм, отверстия диаметром 3 мм, приведено на рис. 5, б, в



а



б



в

Рис. 5 – Ультразвуковой контроль образца из заготовки железнодорожной оси при частоте 0,9 МГц:
а – бездефектный участок; б – искусственный дефект в виде отверстия; в – искусственный дефект в виде царапины

Корродированный образец из заготовки круглого сечения диаметром 230 мм с установленным на нем ЭМА преобразователем

показан на рис. 6, а. Вид и реализация для естественного поверхностного дефекта приведена на рис. 6, б, в.



Рис. 6 – Ультразвуковой контроль образца: а – заготовка круглого сечения; б – фото естественного дефекта; в – реализация контроля с индикацией от этого дефекта

Особенно эффективен стенд для ультразвукового контроля в применении к изделиям, имеющим развитую площадь с различной кривизной (выпуклой и вогнутой), имеющими уступы, например, головки рельса, рис. 7. Схемы контроля разных участков головки рельса показана на рис. 8, буквой «Д» обозначен дефект. ЭМАП при

необходимости может располагаться на рельсе с зазором h , что исключает трение и износ индуктора датчика. Реализации для случаев обнаружения моделей дефектов в виде канавок раскрытием 0,2 мм и 0,45 мм с глубиной 0,5...0,85 мм, расположенных на различных участках поверхности в соответствии с рис. 8, показаны на рис. 9.



Рис. 7 – Изображение образца длиной 570 мм, изготовленного из головки рельса

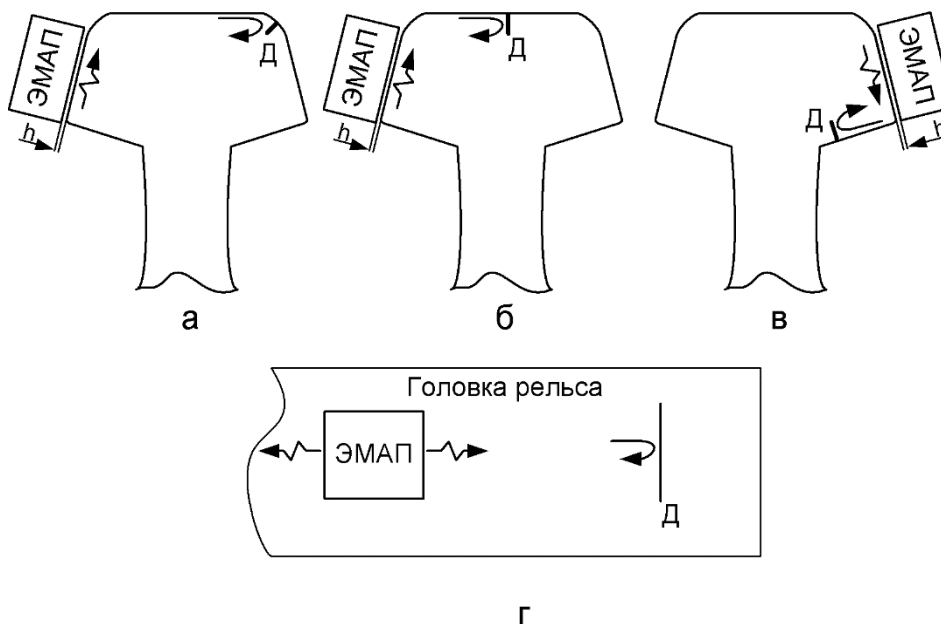


Рис. 8 – Схемы контроля разных участков поверхности головки рельса

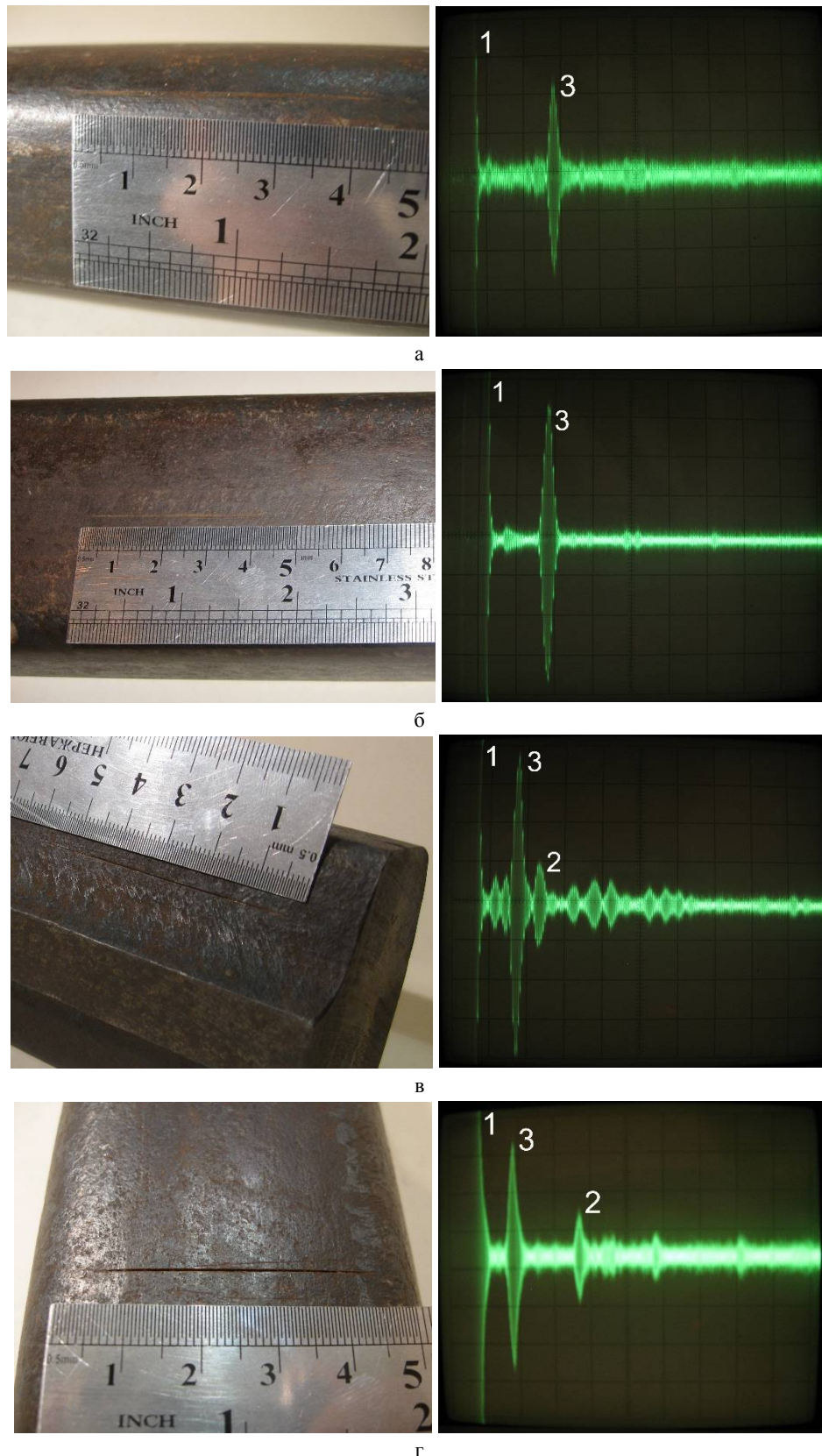


Рис. 9 – Изображения моделей дефектов на поверхности головки рельса и соответствующие им реализации, полученные при ультразвуковом контроле (0,9 МГц): а – дефект на выпуклой поверхности верхней части головки рельса (схема по рис.7, а) размерами 40×0,45×0,7 мм; б – дефект на средней части поверхности головки рельса (схема по рис.7, б) размерами 40×0,45×0,5 мм; в – дефект на вогнутой поверхности подголовочной части головки рельса (схема по рис.7, в) размерами 45×0,2×0,85 мм; г – поперечный дефект на поверхности верхней части головки рельса (схема по рис.7, г) размерами 40×0,45×0,8 мм

Во всех случаях проведения исследований поверхность изделий не зачищалась от окислов, ржавчины, грязи.

Анализ приведенных экспериментальных результатов подтверждает высокие возможности по выявлению на плоской, выпуклой и вогнутой поверхностях, катанных ферромагнитных металлоизделий дефектов глубиной более 0,35 мм, расположенных на расстояниях от ЭМАП до 1 м и более.

Выводы.

1. Подтверждено, что использование ЭМА способа возбуждения и приема поверхностных волн Релея при дефектоскопии поверхности листов, труб, заготовок, рельсов и аналогичных изделий позволяет, по сравнению с традиционным контактным методом, исключить затраты на контактную жидкость, зачистку поверхности перед проведением контроля, экономить энергию, металл и инструменты.

2. Экспериментально показано, что использование ЭМА преобразователей позволяет выполнять высокопроизводительное обнаружение дефектов по всей поверхности изделия на значительных расстояниях от ЭМАП.

Список литературы: 1. Семеренко А.В. Преимущества многочастотной вихретоковой сортировки материалов // Территория NDT. 2016. №1. С. 48–50. 2. Неразрушающий контроль: Справочник: в 8 т. / Под общ. ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 2003–2006 гг. 3. Теория и практика электромагнитно – акустического контроля. Ч.5. Особенности конструирования и практического применения ЭМА устройств ультразвукового контроля изделий: монография / Мигушенко Р.П., Сучков Г.М., Петрищев О.Н., Десятниченко А.В. – Х.: ТОВ «Планета – принт», 2016. – 230 с. 4. Ермолов И. Н. Теория и практика ультразвукового контроля. – М: Машиностроение, 1981. – 240 с.

Bibliography (transliterated): 1. Semerenko A.V. Preimuschestva mnogochastotnoy vihretokovoy sortirovki materialov // Territoriya NDT. 2016. No 1. P. 48–50. 2. Nerazrushayushiy kontrol: Spravochnik: v 8 vol. /Pod obsch. red. V.V. Klyueva. – Moscow.: Mashinostroenie, 2003–2006. 3. Teoriya i praktika elektromagnitno – akusticheskogo kontrolya. Ch.5. Osobennosti konstruirovaniya i prakticheskogo primeneniya EMA ustroystv ultrazvukovogo kontrolya izdeliy: monografiya / Miguschenko R.P., Suchkov G.M., Petrishev O.N., Desyatnichenko A.V. – Kharkov.: TOV «Planeta – print», 2016. – 230 p. 4. Ermolov I. N. Teoriya i praktika ultrazvukovogo kontrolya. – Moscow. Mashinostroenie, 1981. – 240 p.

Поступила (received) 15.11.2015

Сведения об авторах / About the Authors

Познякова Маргарита Евгеньевна, ассистент кафедры «Приборы и методы неразрушающего контроля» Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», (Харьков, Украина)

Сучков Григорий Михайлович, доктор технических наук, профессор, зав. кафедры «Приборы и методы неразрушающего контроля» Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», (Харьков, Украина)

Петрищев Олег Николаевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Акустика и акустоэлектроника» Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт», (Киев, Украина)

Poznyakova Margaret Evgen'evna, assistant of the department "Devices and methods of non-destructive testing" of the National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute" (Kharkov, Ukraine)

Suchkov Grigory Mikhailovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head. Department of "Devices and methods of non-destructive testing" of the National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute" (Kharkov, Ukraine)

Petrishchev Oleg Nikolaevich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department "Acoustics and acoustoelectronics" National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute" (Kiev, Ukraine)