

О ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ВИХРЕТОКОВОГО КОНТРОЛЯ ДЕТАЛЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

© 2019 г. Г.Я. Дымкин^{1,2,*}, А.В. Курков^{2,**}, Я.Г. Смородинский^{3,4}, А.В. Шевелев^{1,2}

¹ АО «НИИ мостов», Россия 190013 Санкт-Петербург, Московский пр-т, 22, литер М

² ФГБОУ ВО ПГУПС, Россия 190031 Санкт-Петербург, Московский пр-т, 9

³ ИФМ УрО РАН, Россия 620108 Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 18

⁴ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина, Россия 620002 Екатеринбург, ул. Мира, 19

E-mail: *niim@niimostov.ru; **mpnk@pgups.ru

Поступила в редакцию 04.04.2019; после доработки 24.05.2019

Принята к публикации 07.06.2019

Представлены результаты испытаний технологий вихретокового контроля, проверенных на реальных эксплуатационных дефектах, а также на реалистичных искусственных дефектах в наиболее ответственных деталях. Установлены существенные отличия выявляемости дефектов различными приборами, применяющимися в отрасли по различной технологической документации. Предложен способ эталонирования чувствительности, который должен улучшить воспроизводимость результатов вихретокового контроля.

Ключевые слова: вихретоковый контроль, чувствительность, железнодорожный транспорт, подвижной состав, вихретоковый преобразователь.

DOI: 10.1134/S0130308219080062

ВВЕДЕНИЕ

В процессе эксплуатации детали железнодорожного подвижного состава воспринимают знакопеременные нагрузки, что способствует зарождению усталостных трещин. Задачей неразрушающего контроля, являющегося неотъемлемой частью технологий ремонта и эксплуатации технических средств железнодорожного транспорта, является обеспечение безопасности движения за счет безаварийной эксплуатации технических средств в течение установленного жизненного цикла. Для своевременного выявления поверхностных трещин, возникающих в процессе эксплуатации, большая номенклатура деталей железнодорожного подвижного состава (пассажирских и грузовых вагонов, вагонов электропоездов, локомотивов): детали колесных пар, тормозных передач, автосцепных устройств, дизелей, компрессоров, тележек вагонов и экипажных частей подвергается вихретоковому контролю (ВТК). Несмотря на внедрение автоматизированных установок вихретокового контроля вагонных колес и деталей буксового подшипника, подавляющее большинство деталей контролируется ручными приборами. При этом основной объем ВТК приходится на колесные пары локомотивов и вагонов: ежегодно контролю подвергается более 5 млн колес. Из общего количества забракованных цельнокатаных колес на вагоноремонтных предприятиях 20—25 % исключаются из эксплуатации по результатам вихретокового контроля.

Чувствительность вихретокового контроля, как и любого другого вида неразрушающего контроля, характеризуется минимальным размером выявляемого дефекта. Выходящая же на поверхность трещина может быть охарактеризована глубиной, протяженностью, шириной раскрытия, углом направления распространения трещины от поверхности и т.п.

В нормативной и технологической документации, применяющейся в отрасли, чувствительность ВТК деталей подвижного состава, как правило, нормируется только глубиной выявляемых трещин. Но в реальности чувствительность зависит от каждой из характеристик дефектов, а также от электропроводности и магнитной проницаемости материала, шероховатости поверхности объекта контроля, типа и конструкции вихретокового преобразователя, способа обработки сигнала вихретокового преобразователя и т.п.

Контролируемые детали характеризуются широким диапазоном марок сталей (Ст.20, марка 2, марка Т, 20ГЛ, ШХ15СГ и др.), конфигураций (от плоской до цилиндрической поверхности диаметром от 28 мм) и шероховатостей поверхностей (от Ra1,25 для деталей буксовых подшипников до Rz320 для деталей автосцепного устройства). Влияние большинства из этих параметров на чувствительность вихретокового контроля деталей подвижного состава не изучено в необходимой мере.

Парк применяемых на железной дороге вихретоковых дефектоскопов также весьма разнороден и представлен продукцией разных производителей. Технологии вихретокового контроля различными дефектоскопами описаны в многочисленных отраслевых нормативных и технологических документах разных уровней (от Правил контроля [1, 2], отраслевых руководящих документов [3, 4, 5] и стандартов организаций [6] до технологических инструкций [7, 8]). Существующие технологии ручного ВТК регламентируют использование для настройки чувствительности образцов: стальных пластин с искусственными дефектами в виде пропилов различной глубины, длина которых равна ширине пластины. Применяющиеся образцы для настройки чувствительности ручного вихретокового контроля деталей подвижного состава в некоторых случаях зарегистрированы в Государственном информационном фонде по обеспечению единства измерений в качестве мер неразрушающего контроля; другие образцы не проходили испытаний в целях утверждения типа средства измерения, и их характеристики описываются только в документации на проведение контроля или в технической документации производителя. При этом образцы с одинаковым названием в вагонных и локомотивных депо имеют искусственные дефекты с разными характеристиками, и отличаются также способами изготовления искусственных дефектов (фрезеровка или прожог с помощью проволоки или фольги электроэрозионным способом). Ширина искусственных дефектов в различных образцах составляет 0,06—0,2 мм. Очевидно, что чувствительность вихретокового контроля, настроенная по образцам с искусственными дефектами, глубина которых одинакова, а другие параметры (ширина раскрытия, способ изготовления, материал образца) отличаются, также может быть различной.

Сложилась ситуация, в которой одна и та же деталь может быть проконтролирована разными дефектоскопами и по различным технологиям, при этом реальная чувствительность контроля для разных дефектоскопов может отличаться даже в том случае, если настройка выполняется по одинаковым искусственным дефектам.

Различие конструкций вихретоковых преобразователей (часть применяемых преобразователей относится к дифференциальному роторному типу, а часть — к абсолютному) и различие алгоритмов обработки сигналов (применяются как фазовый метод обработки сигнала, так и амплитудно-фазовый, как правило, алгоритм обработки сигналов производителями дефектоскопов не раскрывается) обуславливает отсутствие воспроизводимости результатов вихретокового контроля деталей подвижного состава при использовании различных типов дефектоскопов.

ИСПЫТАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ВИХРЕТОКОВОГО КОНТРОЛЯ

По решению АО «Российские железные дороги» и некоммерческого партнерства «Объединение производителей железнодорожной техники» АО «Научно-исследовательский институт мостов и дефектоскопии» и Петербургским государственным университетом путей сообщения Императора Александра I (ФГБОУ ВО ПГУПС) при участии представителей научных и проектно-конструкторских организаций, а также предприятий, осуществляющих ремонт грузовых, пассажирских вагонов и локомотивов, были проведены испытания технологий вихретокового контроля деталей подвижного состава.

Целью испытаний являлась оценка минимальных размеров искусственных дефектов, выявляемых применяющимися средствами ВТК, с учетом шероховатости и формы поверхностей контролируемых деталей при контроле по технологической документации, действующей на предприятии, а также общих показателей назначения технологии ВТК:

- выявляемости реальных дефектов;
- помехозащищенности (количество ложных срабатываний) при ВТК штатной продукции;
- контроледоступности (отсутствие конструктивных или других пространственных ограничений, препятствующих проведению контроля).

Испытания проводились на предприятиях вагоноремонтной компании ВРК-1 (вагонное депо Тосно, Ленинградская область), сервисного локомотивного холдинга ЛокоТех (локомотивное депо Санкт-Петербург) и в лаборатории кафедры «Методы и приборы неразрушающего контроля» ФГБОУ ВО ПГУПС.

Для испытаний на сети железных дорог были отобраны различные детали или фрагменты деталей подвижного состава с реальными дефектами: колесо (рис. 1), ролик (рис. 2) буксового подшипника с продольной трещиной длиной 65 мм, маятниковая подвеска (рис. 3) с трещиной длиной 65 мм, упорное кольцо (рис. 4) подшипника с трещиной длиной 20 мм, а также клинья тягового хомута автосцепного устройства с трещинами длиной 26 и 40 мм.

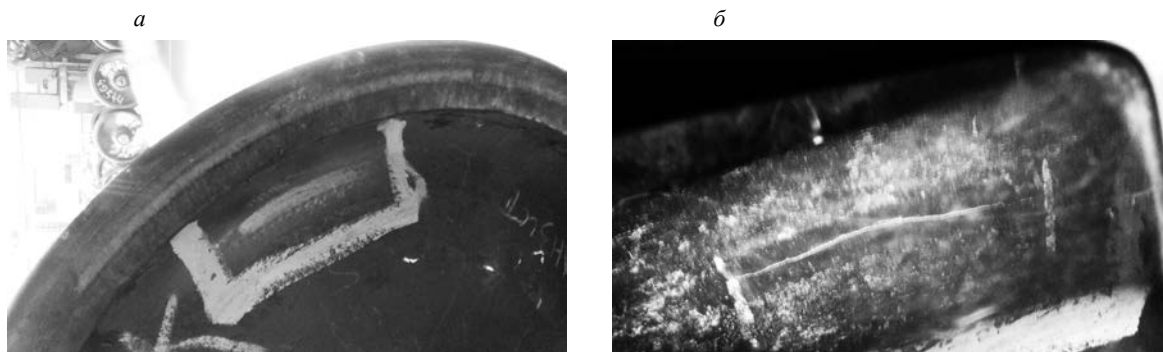


Рис. 1. Трещина в диске вагонного колеса (а) и ее индикаторный след при магнитопорошковом контроле (б).



Рис. 2. Трещина в ролике подшипника.

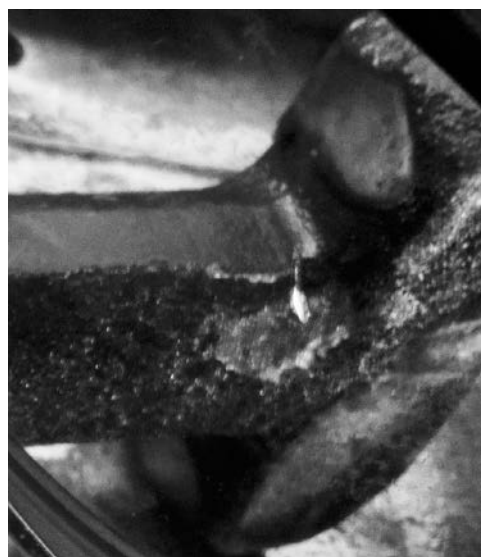


Рис. 3. Трещина в маятниковой подвеске.

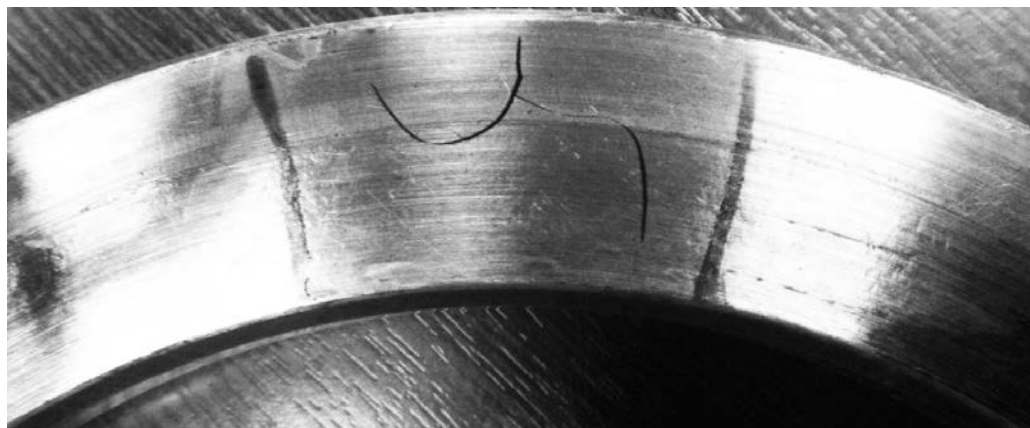


Рис. 4. Трещина в упорном кольце подшипника.

При испытаниях контроль выполняли высококвалифицированные дефектоскописты-специалисты II уровня квалификации по ВТК — работники предприятий, имеющие опыт работы по ВТК деталей и узлов подвижного состава (вагонов, локомотивов) не менее двух лет. Использовали шесть типов ручных дефектоскопов: ВД-12НФП, ВД-70, ВД-100, ВД-213.1, ВД3-71, УД2-102ВД и специализированные автоматизированные дефектоскопы ВД-211.5М (для ВТК роликов буксовых

Таблица 1

Характеристики тест-образцов из деталей подвижного состава

Деталь	Шероховатость поверхности, мкм	Характеристики моделей дефектов		
		длина, мм	глубина, мм	ширина, мм
Цельнокатаное колесо (обод, диск, гребень)	Rz = 80	5,0—29,9	0,35—3,40	0,1—0,3
		220*)	—	—
Тяговый хомут	Rz = 160	6,0—7,0	0,48—2,99	0,2—0,3
Тяговая полоса	Rz = 160	6,0	0,37	0,15
Клин тягового хомута	Rz = 320	26*)	—	—
		40*)	—	—
Хвостовик автосцепки	Rz = 80, Rz = 160	6,0	3,1	0,3
Корпус автосцепки	Rz = 320	6,0	3,1	0,3
Маятниковая подвеска	Rz = 320	65*)	—	—
Упорное кольцо	Ra = 1,25	20*)	—	—
Ролик	Ra = 1,25	65*)	—	—

*) реальный дефект (трещина).

подшипников) и ВД-233.1 (для ВТК внутренних, наружных и упорных колец буксового подшипника), каждый из которых настраивали по разработанной для него технологической инструкции и с использованием предусмотренного инструкцией образца для настройки дефектоскопа.

Автоматизированные дефектоскопы ВД-211.5М и ВД-233.1 настраивали по образцам, представляющим собой контролируемую деталь (кольцо или ролик подшипника) с эталонными искусственными дефектами — пропилами (табл. 2). Настройку ручных дефектоскопов проводили по образцам в виде стальной полосы шириной значительно больше размера вихретокового преобразователя (ВТП) с эталонным искусственным дефектом — поперечным пропилом по всей ширине образца (табл. 3).

Таблица 2

Характеристики образцов для настройки специализированных автоматизированных вихретоковых дефектоскопов

Деталь	Шероховатость поверхности, мкм	Характеристики моделей дефектов		
		длина, мм	глубина, мм	ширина, мм
Упорное кольцо	Ra = 1,25	14,0—21,5	0,3—0,5	0,4—0,45
Ролик	Ra = 1,25	2,5—100,5	0,10—0,15	0,1

Таблица 3

Характеристики образцов для настройки ручных вихретоковых дефектоскопов

Образец (условный номер)	Материал	Шероховатость поверхности, мкм	Размеры эталонного дефекта	
			глубина, мм	ширина, мм
1	Сталь 20	Ra = 1,25	0,5±0,05	0,05—0,15
			3±0,1	0,05—0,3
2	Сталь 45	Ra = 1,25	0,5—0,55	0,1—0,3
		Rz = 160	0,55—0,75	0,1—0,3
3	Сталь 45	Ra = 2,5	0,5±0,05	0,1±0,05
			3±0,25	0,1±0,05
4	Сталь 20	Ra = 1,25	0,5±0,1	0,1±0,05
		Rz = 320	3±0,1	0,2±0,1

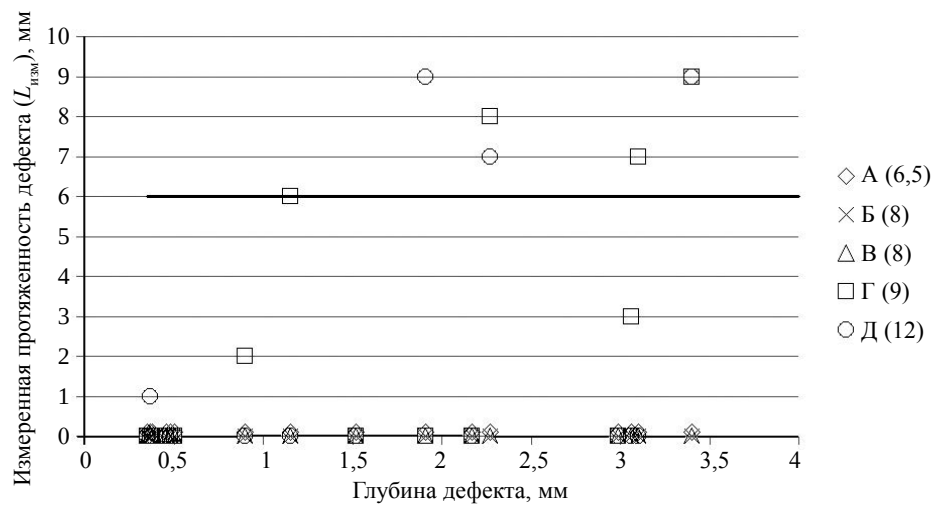


Рис. 5. Протяженность дефектов длиной 6 мм в зависимости от их глубины, измеренная дефектоскопами разных типов: А, Б, В, Г, Д — условное обозначение дефектоскопа, в скобках — диаметр вихретокового преобразователя (мм).

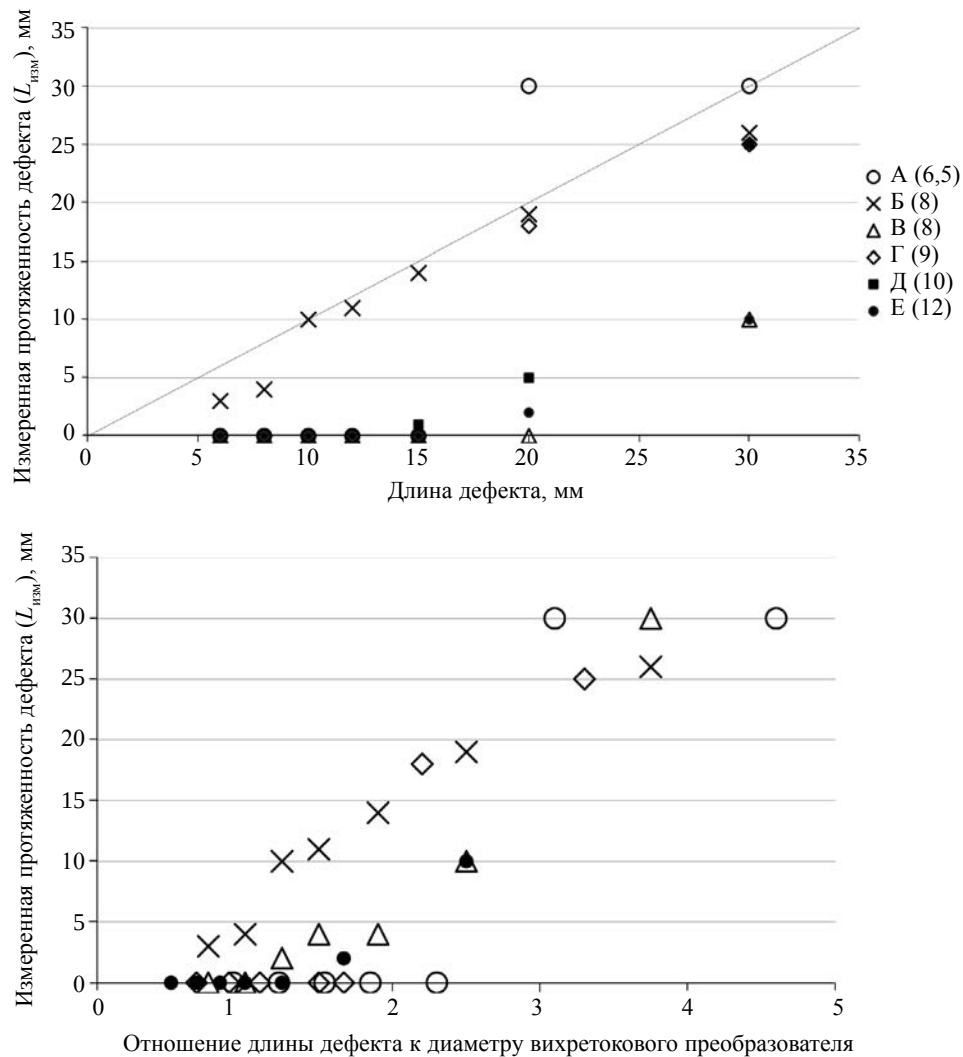


Рис. 6. Протяженность дефектов глубиной 0,5 мм, измеренная дефектоскопами разных типов: А, Б, В, Г, Д, Е — условное обозначение дефектоскопа, в скобках — диаметр вихретокового преобразователя (мм).

Испытания на деталях с реальными дефектами проводили в виде скрытого теста, при котором наличие и расположение дефектов не было известно специалистам, выполняющим ВТК в процессе испытаний (если эти дефекты не были видны визуально), детали и образцы предъявлялись на испытания в случайном порядке. Контроль деталей и образцов выполняли с строгим соблюдением основных параметров и всех операций, регламентированных технологической документацией. Все данные ВТК каждого образца, характеристики предполагаемых дефектов, выявленных в процессе проведения контроля каждым специалистом, сопоставлялись с действительным состоянием образцов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ТЕХНОЛОГИЙ ВИХРЕТОКОВОГО КОНТРОЛЯ

По результатам испытаний подтверждено выявление предъявленных на испытания реальных трещин в кольцах и роликах подшипников при автоматизированном вихретоковом контроле, выполненном в соответствии с действующими в отрасли нормативными и технологическими документами.

На испытаниях технологий ручного ВТК измеряли протяженность индикаторного следа ($L_{изм}$), регистрируемого при данной настройке прибора, и определяли значения минимальных размеров выявляемых моделей дефектов ($L_{изм} = 0$ соответствует отсутствию сигналов при сканировании в направлении, перпендикулярном длине дефекта), а также выявляемость реальных дефектов. Результаты измерений приведены на рис. 5—7.

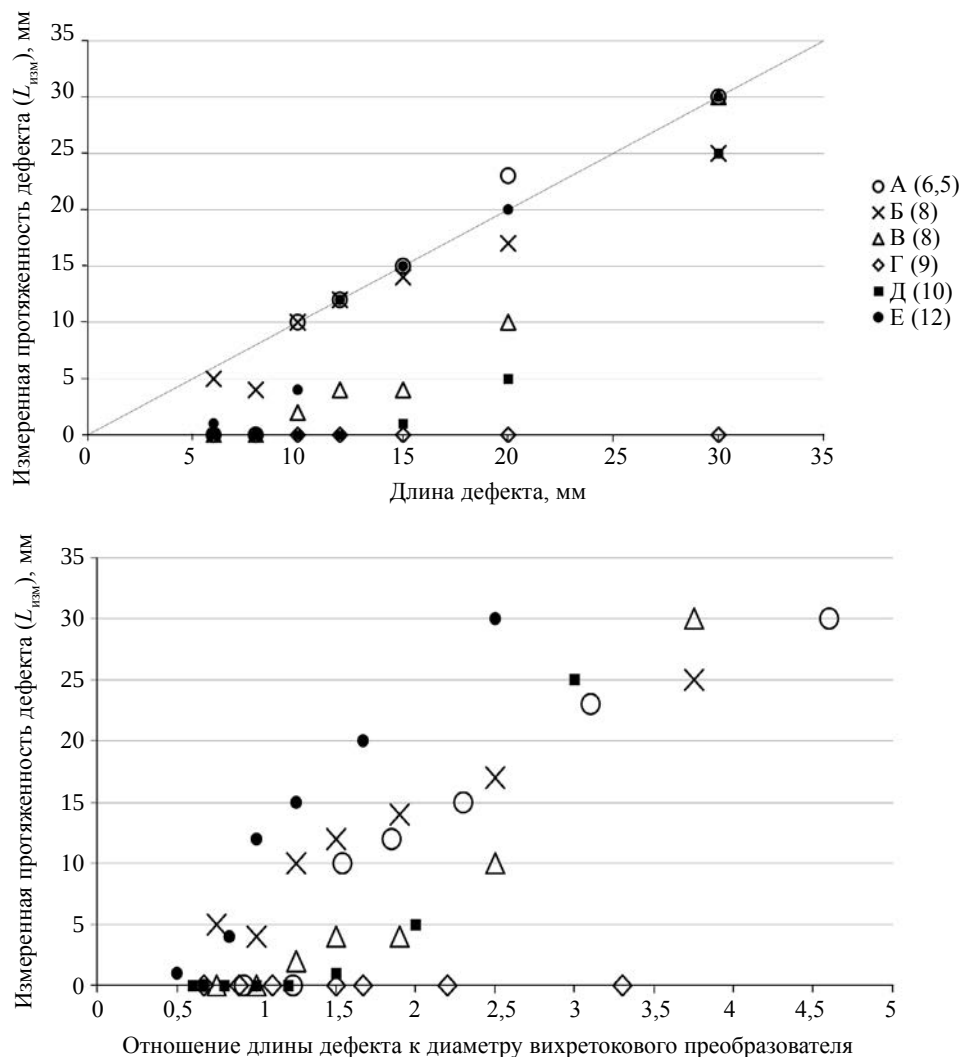


Рис. 7. Протяженность дефектов глубиной 3 мм, измеренная дефектоскопами разных типов: А, Б, В, Г, Д, Е — условное обозначение дефектоскопа, в скобках — диаметр вихретокового преобразователя (мм).

Как видно из представленных данных, выявляемость моделей дефектов в тест-образцах обеспечивалась в случаях, когда протяженность дефекта не менее чем в 2 раза превышала размер (диаметр) рабочей поверхности ВТП и при условии соответствующей шероховатости контролируемой детали. Применение ВТП с рабочей поверхностью малых размеров (≤ 6 мм) эффективно на механически обработанных поверхностях с шероховатостью не более $Rz = 20$. Результаты испытаний на моделях дефектов указывают также на значительные различия в реальной чувствительности использованных дефектоскопов. Тот же вывод подтвержден на реальных дефектах: в частности, условная протяженность реальной трещины видимой длиной 220 мм в диске вагонного колеса (см. рис.1), измеренная разными вихретоковыми дефектоскопами, составила 110, 100, 50 и 1 мм. При контроле по технологиям, предусматривающим использование двух приборов (из шести применявшихся), трещина вовсе не была выявлена.

ВЫВОДЫ

По результатам проведенных испытаний установлено, что реализуемые в соответствии действующей документацией технологии ручного ВТК деталей подвижного состава не обеспечивают воспроизводимости результатов контроля, выявление реальных трещин, обнаруживаемых при магнитопорошковом контроле (в том числе, видимых невооруженным глазом), ни по одной из испытанных технологий ручного вихретокового контроля не гарантировано, а в случае выявления дефекта зарегистрированная условная протяженность значительно меньше ее фактического размера.

Решением описанной проблемы может быть эталонирование чувствительности ВТК по искусственному дефекту в контролируемой детали. При этом параметры искусственного дефекта должны быть максимально приближены к параметрам реального дефекта: для деталей с механической обработкой (с параметром шероховатости $Rz = 40$ мкм и менее) — глубина от 0,47 до 0,5 мм с раскрытием от 0,1 до 0,15 мм; для деталей без механической обработки (с параметром шероховатости Rz от 40 до 160 мкм) — глубина от 2,85 до 3,0 мм с раскрытием от 0,3 до 0,5 мм. Вихретоковый контроль деталей с шероховатостью более $Rz = 160$ мкм нецелесообразен. Минимальная длина выявляемого искусственного дефекта в детали должна нормироваться в технологической документации применительно к конкретному дефектоскопу с учетом типа и размера рабочей поверхности вихретокового преобразователя.

Работа выполнена в рамках государственного задания МИНОБНАУКИ России (тема «Диагностика», № АААА-А18-118020690196-3).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ПР НК В.2 Правила неразрушающего контроля деталей и составных частей колесных пар вагонов при ремонте. Специальные требования.
2. ПР НК В.4 правила неразрушающего контроля деталей автосцепного устройства, тормозной рычажной передачи, транспортера и стяжного хомута вагонов при ремонте. Специальные требования.
3. РД 32.150-2000 Вихретоковый метод неразрушающего контроля деталей вагонов. Руководящий документ.
4. №ЦТ-18/2 Инструкция по неразрушающему контролю деталей и узлов локомотивов и моторвагонного подвижного состава. Вихретоковый метод.
5. ПКБ ЦТ.25.0163 Инструкция по вихретоковому контролю деталей и узлов локомотивов.
6. СТО ФПК 1.11.003-2011 Система неразрушающего контроля в ОАО «ФПК». Вихретоковый метод неразрушающего контроля деталей пассажирских вагонов.
7. ТИ НК В.21-3 Технологическая инструкция по неразрушающему контролю деталей и составных частей колесных пар вагонов при ремонте. Вихретоковый метод.
8. ТИ НК В.41-2 Технологическая инструкция по неразрушающему контролю деталей автосцепного устройства и тормозной рычажной передачи вагонов при ремонте. Вихретоковый метод.