

УДК 061.4.05

Курсенко А. Л.  
Милостных М. В.  
Коробко Т. Б.

## ОБЗОР СПОСОБОВ ВЫПОЛНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ОСЕЙ В РАДИАЛЬНОМ НАПРАВЛЕНИИ

В настоящее время на предприятиях Украины большое внимание уделяется качеству выпускаемой продукции. Надежность работы железнодорожного транспорта зависит от качества колесных пар железнодорожных вагонов, в частности осей. Большинство предприятий, выпускающих оси колесных пар для вагонов и локомотивов, проводят ультразвуковой контроль на прозвучиваемость и определение внутренних дефектов в радиальном направлении вручную или с использованием приспособлений, несколько облегчающих процесс ручного сканирования. Сам процесс контроля проводится переносным дефектоскопом. К сожалению, наблюдать за информационными сигналами, характеризующими результаты контроля, приходится визуально и самостоятельно делать оценку результатов контроля. Применение ручного неразрушающего контроля не позволяет проводить контроль всей поверхности осей с достаточно высокой скоростью. К примеру, на нашем предприятии (частное акционерное общество «Лугцентрокуз им. С. С. Монятовского») контроль одной оси в радиальном направлении занимает 30–40 минут. Вышеперечисленные обстоятельства приводят к недостоверности результатов контроля и причины этого понятны.

Целью данной работы является анализ причин недостоверности результатов ультразвукового контроля.

Перечислим некоторые из них:

- во-первых, процесс сканирования предполагает шаг перемещения датчика, равным  $\frac{1}{2}$  диаметра датчика, а это 6 – 10 мм, что практически невозможно выдержать, перемещая датчик по поверхности контролируемого изделия рукой. В результате на сканируемой площади изделия появляются участки, выпадающие из зоны контроля;
- во-вторых, наблюдать весь рабочий день за меняющейся информационной картинкой экрана дефектоскопа весьма утомительно, а это приводит к невнимательности;
- в-третьих, критерии оценки на пригодность к эксплуатации изделия совсем не простые – это количество дефектов в изделии, минимальное расстояние между ними, величина затухания ультразвукового сигнала, вызванная неоднородностью внутренней структуры изделия, их условная протяженность (табл. 1). В процессе проведения контроля все это либо приходится «держать в уме» или отвлекаться от процедуры сканирования и на фиксирование количества обнаруженных дефектов на бумажном носителе, и на маркирование дефектных участков на самой контролируемой оси.

Кроме того, жидкость, обеспечивающая акустический контакт между датчиком и объектом контроля (машинное масло), которое наносится обычной малярной кистью, даже при самой аккуратной работе загрязняет дефектоскоп, одежду дефектоскописта и рабочую зону (пол, стеллажи) и т. д., что отрицательно сказывается на технике безопасности и пожарную безопасность цеха.

Избавиться от подобных недостатков и сделать контроль в большей степени независимым от участия дефектоскописта может автоматическая установка. В настоящее время подобная установка, реализующая контактный способ проведения ультразвукового контроля, разработана и выпускается Украинским научно-исследовательским институтом неразрушающего контроля (УкрНИИ НК), г. Киев. Она представляет собой полностью законченную систему, реализующую требования РД 32.144 – 2001 с изм. 1 (2004) [1].

Установка обеспечивает контроль на прозвучиваемость, контроль на наличие внутренних дефектов как в цилиндрических частях оси с помощью прямых датчиков, так и на радиусных переходах оси с помощью наклонных датчиков. Установка контролируемой оси во вращающиеся центра происходит автоматически, автоматически проводится сканирование всех радиальных поверхностей оси, информация, снимаемая с нескольких датчиков, передается в блок обработки информации, в котором происходит оценка результатов контроля.

Таблица 1

## Браковочные нормы при ультразвуковом контроле чистовых вагонных осей

| Нормативный документ | Количество дефектов с эквивалентной площадью 7,1 мм <sup>2</sup> | Количество дефектов с эквивалентной площадью 19,6 мм <sup>2</sup> для РД 32.144-2000 и 28,3мм <sup>2</sup> для ДСТУ ГОСТ 31334-2007 | Минимальное расстояние между двумя дефектами, мм | Величина затухания ультразвуковых колебаний, дБ |
|----------------------|--|---|--|---|
| ДСТУ ГОСТ 31334-2007 | 1 на радиусном переходе  | 6 и более   | 50   | –   |
| РД 32.144-2000       | 6 и более или 1 на радиусном переходе                            | 1   | 40   | 6   |
| EN 13261:2009        | 1, радиусные переходы из контроля исключены                      | –   | –  | 4   |

Работа дефектоскописта при наличии подобной установки облегчается, этапы выполнения контроля следующие:

- загрузить на приемочный стеллаж партию осей подлежащих контролю (до 10 шт);
- по стандартному образцу предприятия проверить правильность калибровки системы;
- включить подачу первой оси (кнопкой);
- дождаться выполнения контроля (около 6 минут) и с экрана компьютера или по бумажному протоколу прочитать заключение о результатах контроля.

Казалось бы, при наличии подобной установки, процесс выполнения ультразвукового контроля полностью избавился от недостатков присущих ручному способу. Однако, наряду с решением одних проблем, появляются другие, не менее серьезные с точки зрения поточного выполнения контроля:

- контактная жидкость (машинное масло), подаваемая непосредственно перед датчиком на вращающуюся ось. При автоматическом контроле в большей степени результаты контроля будут зависеть от загрязненности масла или поверхности контролируемой оси – случайно попавшая под датчик частичка грязи или металлической стружки задержится на нем, нарушит акустический контакт, а система обработки результатов контроля мгновенно включит появившийся «дефект» в общую сумму результата. От этой проблемы, казалось бы, можно уйти, применив масло – фильтры. Но на производственном участке, где, как правило, проводится контроль, это не будет достаточно эффективным средством, т. к. в цеховых условиях много причин для загрязнения масла, например, пыль от рядом работающего полировального станка. В результате появится проблема перебраковки, и тогда каждую забракованную ось будет необходимо повторно контролировать ручным способом;

- наличие большого количества механических узлов, электрических проводов и систем подачи масла (под каждый датчик отдельно, а датчиков около 10), расположенных открыто и без защитных кожухов. Через некоторое время эксплуатации в производственных условиях это приведет к тому, что очистить указанные части установки от пыли и масла будет невозможно.

Качественно другой подход к выполнению ультразвукового контроля дает установка ультразвукового контроля, основанная на иммерсионном методе контроля. Сущность метода заключается в том, что контролируемая ось погружается в емкость с водой (иммерсионную ванну) и вращается с определенной частотой. Вдоль контролируемой оси без соприкосновения с ней перемещается датчик. Скорость перемещения датчика вдоль оси и частота вращения оси связаны между собой таким образом, чтобы за один оборот оси датчик перемещался вдоль нее на расстояние не более  $\frac{1}{2}$  диаметра датчика. Этот способ выполнения контроля известен [4], но в Украине и странах СНГ подобных установок (готовых к непосредственной работе) не производят.

В качестве примера приведем схему работы установки фирмы «AMEST» (Чехия), изготовленную для контроля железнодорожных осей (EN 13261). Контроль выполняется за один проход датчика, радиусные переходы при этом из участков контроля исключаются (табл. 1).

Выполнение контроля состоит из следующих этапов:

- автоматическая калибровка установки по стандартному образцу;
- загрузка контролируемой оси в иммерсионную ванну;
- выполнение контроля (около 5 минут);
- чтение результатов о результатах контроля с экрана компьютера или по бумажному протоколу.

При реализации данного способа отсутствуют недостатки, присущие контактному автоматическому контролю:

- вода фильтруется, а помехи, вызванные одиночными механическими взвешиваниями, легко устраняются программно;
- минимальное количество механических приводов, электрических проводов, отсутствие электромагнитных реле, пружинящих пластин и т. д. Видна только иммерсионная ванна и шкаф с персональным компьютером и принтером.

К сожалению, работа с зарубежными фирмами, специализирующимися на изготовлении иммерсионных дефектоскопов, затруднена необходимостью (применительно к ДСТУ и ГОСТ) разрабатывать систему сканирования и алгоритмы обработки результатов практически «с нуля», что неизбежно отразится на стоимости установки, а большие расстояния в случае поломки делают восстановление работоспособности очень долгим и дорогостоящим делом.

В настоящее время по техническому заданию нашего предприятия УкрНИИ НК ведутся работы по созданию иммерсионной установки, реализующей требования всех стандартов, приведенных, в табл. 1. Опытные работы показали, что при шероховатости  $\sqrt{Ra} 20$  установка обеспечивает уверенное выявление дефектов с эквивалентным диаметром 2 мм, а затухание ультразвуковых колебаний по всей оси – 4 дБ. Количество датчиков на установке – 3 (из них два наклонных, с углом ввода 500 для контроля радиусных переходов, один – с углом ввода 00 для контроля цилиндрических поверхностей), скорость выполнения контроля – не более 6 минут и производится автоматическая оценка результатов контроля.

Надеемся, что внедрение установки (рис. 1) в полной мере удовлетворит требования к качеству проведения ультразвукового контроля.

Ультразвуковой контроль разделен на два этапа (табл. 1):

- выявление внутренних дефектов;
- оценка величины затухания ультразвуковых колебаний (контроль на прозвучиваемость).

Выявление внутренних дефектов – это выявление несплошностей в металле, образовавшихся либо в процессе его выплавки (рыхлоты, свищи, инородные металлические и шлаковые включения и т. д.), либо в процессе термообработки (флокены, трещины напряжения).

Контроль на прозвучиваемость – оценка величины затухания ультразвуковых колебаний, проходящих по контролируемому изделию, вызванного величиной зерна.

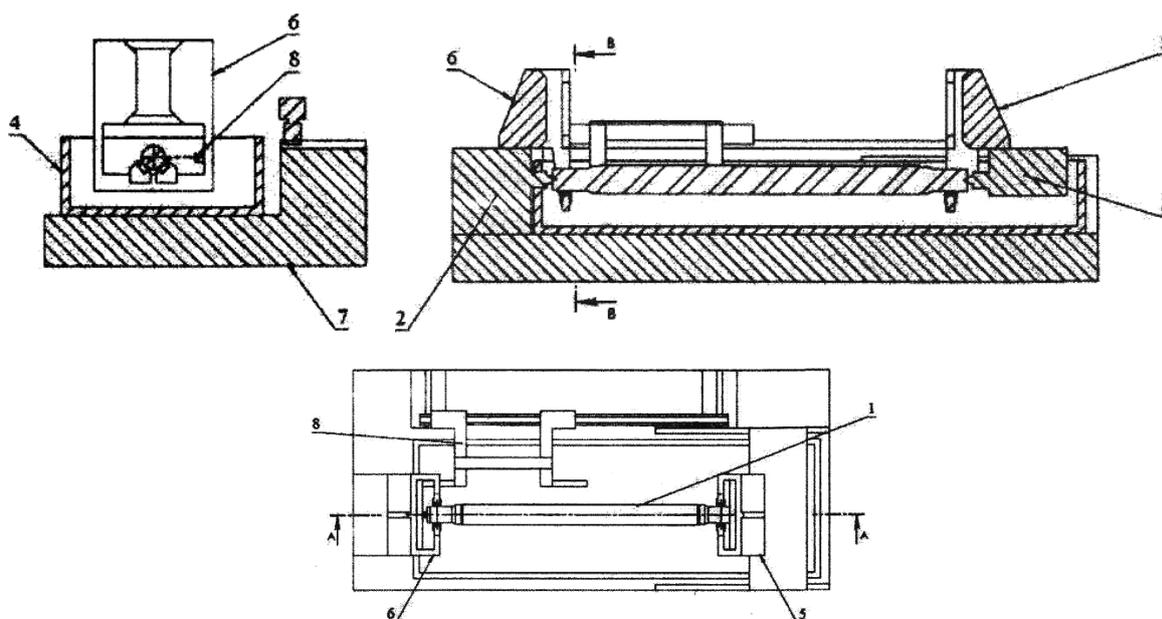


Рис. 1. Общий вид установки САУЗК ОСЬ:

1 – контролируемая ось; 2 – пиноль с центром левая; 3 – пиноль с центром правая; 4 – резервуар для иммерсионной жидкости; 5 – устройство для оси правое; 6 – устройство для приема оси левое; 7 – несущая рама; 8 – консоль с ультразвуковыми модулями

При контроле на выявление внутренних дефектов, процесс его проведения поясняет рис. 2, дефектоскописту достаточно обнаружить сигнал 3, свидетельствующий о наличии в изделии внутреннего дефекта и для оценки сравнить его величину с величиной сигнала от стандартного образцового дефекта.

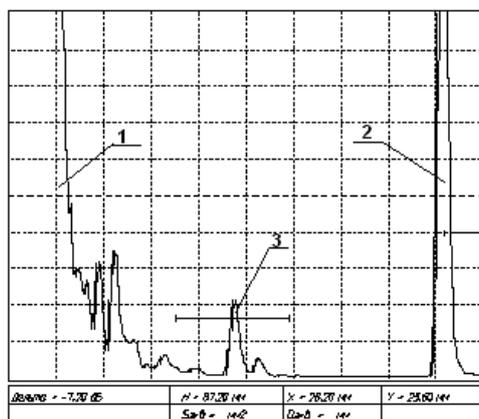


Рис. 2. Фотография с экрана ультразвукового дефектоскопа при контроле в радиальном направлении на выявление внутренних дефектов:

1 – зондирующий сигнал; 2 – донный сигнал; 3 – сигнал, отраженный от внутреннего дефекта

Особенно трудновыполним при ручном способе контроля – контроль на прозвучиваемость. В приведенных в табл. 1 нормативных документах оговаривается, что микроструктура должна быть однородной по всей длине оси (EN 13261:2009), или по длине каждой отдельной части (РД 32.144-2001). ГОСТ 5639-82 трактует неоднородность микроструктуры как наличие зерен другого балла более чем 10 % в одном поле зрения.

Для выяснения зависимости величины затухания ультразвуковых колебаний от структуры материала, были проведены экспериментальные работы. Одну забракованную поковку оси из стали марки ОС, разрезали на две равные части. Первую подвергли нормализации при температуре 8600С, вторую оставили так, как есть. После термообработки от каждой части

были вырезаны образцы и проведены механические испытания. Фотографии микроструктур приведены на рис. 3–4 соответственно для термообработанной и нетермообработанной половинок. Образец для испытания на разрыв (рис. 3), от которого был сделан шлиф, показал удовлетворительные механические свойства, не выходящие за рамки средних значений нормативного документа, по которому изготавливалось изделие.

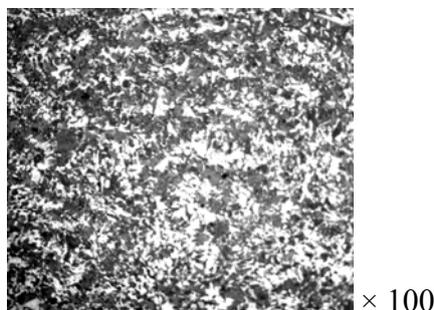


Рис. 3. Микроструктура образца, имеющего 7-й балл зерна по эталонным шкалам ГОСТ 5639-82

Образец для испытания на разрыв (рис. 4), из которого был сделан шлиф, показал неудовлетворительные механические свойства, абсолютно провальные по всем показателям – пределу прочности, пределу текучести и относительному удлинению.

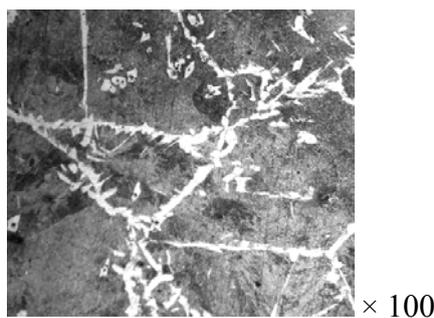


Рис. 4. Микроструктура образца, имеющего 1-й балл зерна по эталонным шкалам ГОСТ 5639-82

После этого части оси были механически обработаны до шероховатости  $\sqrt{Ra}3.2$  и подвергнуты ультразвуковому контролю в радиальном направлении при частоте 2,5 мГц. Затухание ультразвуковых колебаний на второй половинке относительно первой определено значением 16 дБ.

Конечно, трудно предположить, что в действительности подобное может быть и какая-либо из железнодорожных осей в буквальном понимании частично пройдет термообработку, но бывают случаи, когда термообработка проходит неравномерно, например, по причине неравномерного прогрева в термической печи или недостаточной выдержке. Фотография, иллюстрирующая подобный случай, приведена на рис. 5.

При ультразвуковом контроле в радиальном направлении чистой оси, имеющей подобный участок с локально крупным зерном (может быть, только один в оси) выявиться затухание ультразвуковых колебаний.

Таким образом, с помощью ультразвукового контроля по величине затухания ультразвуковых колебаний можно судить о наличии в изделии участков с неравномерной микроструктурой и, как следствие, об изменении на этих участках механических свойств, занижение которых ниже допустимых, указанных в нормативной документации, может привести к разрушению изделия

На рис. 5 показана микроструктура образца, вырезанного из оси, забракованной при ультразвуковом контроле на прозвучиваемость. Образец для испытания на разрыв,

изготовленный из этой оси, показал удовлетворительные механические свойства. Присутствуют включения зерен 2-го балла с преобладающей структурой 7-го балла по эталонным шкалам ГОСТ 5639-82 [2].

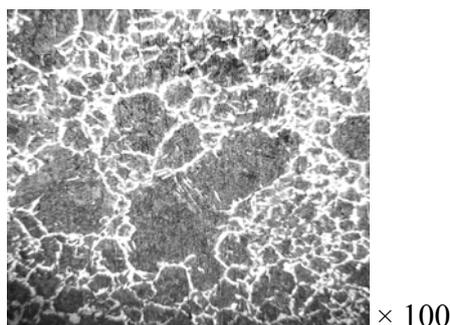


Рис. 5. Микроструктура образца, имеющего неоднородную структуру

При контроле на прозвучиваемость в радиальном направлении вручную оценить локальный участок контролируемого изделия с неравномерной структурой, похожей на структуру рис. 5, практически невозможно по причинам, изложенным выше, а автоматическим методам вполне по силам, но и здесь преимущество на стороне иммерсионного способа контроля.

## ВЫВОДЫ

Современные ручные дефектоскопы позволяют зарегистрировать сигналы дефектных зон контролируемой продукции, но при этом не способны обеспечить полную регистрацию всех результатов контроля с получением итогового протокола контроля каждой оси независимо от влияния «человеческого фактора». Поэтому, только полная автоматизация неразрушающего контроля осей позволяет повысить его эффективность и является важным фактором повышения качества и конкурентоспособности продукции украинских предприятий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. РД 32.144-2001 «Контроль неразрушающий приемочный. Колеса цельнокатаные, бандажи и оси колесных пар подвижного состава. Технические требования».
2. ГОСТ 5639-82. Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна [действующий от 1983-01-01]. – М. : Издательство стандартов, 1983. – 39 с. – (Государственный стандарт СССР).
3. Криворучко В. Н. Система автоматического неразрушающего контроля осей колёсных пар вагонов – оптимальное решение от отечественного производителя / В. Н. Криворучко, А. В. Джаганян, А. В. Дидык // Доповіді 9-ої конф. «Неруйнівний контроль». – 2007. – С. 37–41.
4. Неразрушающий контроль металлов и изделий / Беда П. И., Выборнов Б. И., Глазков Ю. А., Луцько С. П., Самойлович Г. С., Шелихов Г. С. – М. : Машиностроение, 1976. – С. 285–360.

Курсенко А. Л. – нач. испытат. центра – гл. метролог ЧАО «Лугцентрокуз им. С. С. Монятовского»;

Милостных М. В. – инженер-физик ЧАО «Лугцентрокуз им. С. С. Монятовского»;

Коробко Т. Б. – канд. техн. наук, доц. ДонГТУ.

ЧАО «Лугцентрокуз им. С. С. Монятовского», г. Луганск.

ДонГТУ – Донбасский государственный технический университет, г. Алчевск.

E-mail: korobko.tamara@rambler.ru