

\* \* \*

V. V. Muravyev, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

#### Analysis of operation of acoustic emission stands to control cast parts of trucks of railway freight cars

The paper presents the results of 10-year operation of acoustic emission stands for non-destructive control of cast parts of freight cars. The mechanism of crack development is proved to be low-cycle for newly manufactured solebars when stress concentrators with assigned dimensions are present. The efficiency of applying stands is grounded to detect cracks at the early stage of solebars operation due to the large number of metallurgical defects undetected at manufacturing plants.

**Keywords:** acoustic emission, fatigue, breaks of freight cars solebars, lifetime

Получено: 25.04.13

УДК 620.183+620.179.16

V. V. Муравьев, доктор технических наук, профессор;  
O. B. Муравьева, доктор технических наук, профессор;  
A. B. Байтеряков, магистрант;  
A. И. Дедов, аспирант  
Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

### МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ СТРУКТУРНЫХ ШУМОВ МЕТАЛЛА\*

Обоснована методика оценки акустических структурных шумов металла. Представлены экспериментальные результаты ее использования для определения размера зерен стали 45.

**Ключевые слова:** акустические структурные шумы, структуроскопия, рассеяние ультразвуковых волн, размер зерна

#### Введение

Большинство объектов неразрушающего контроля – поликристаллические твердые тела, каждое зерно которых представляет собой монокристалл (кристаллит), обладающий упругой анизотропией, которая вызывает рассеяние акустических волн в поликристаллическом твердом теле вследствие отражения, преломления и трансформации акустических волн на границах зерен. В процессе технологических операций при производстве изделия (литье, обработка давлением, термическая обработка и др.) и в процессе жизненного цикла структура металла может существенно изменяться вследствие появления неоднородностей, анизотропии, вызванной текстурой металла, повреждений структуры [1–3]. Последние могут служить индикатором необратимых изменений, накопленных в материале. Поэтому определение фактического структурного состояния материала изделий является одним из актуальных направлений структуроскопии в неразрушающем контроле.

Большинство методов оценки структурного состояния металла основано на измерении скорости распространения [4–6] или затухания ультразвуковых (УЗ) волн [7–9]. В последнее время для целей структуроскопии применяют электромагнитно-акустический метод возбуждения и регистрации ультразвуковых волн [10–13], имеющий существенное преимущество – бесконтактность в отличие от контактных методов [14–16]. Исследования влияния величины зерна на скорость распространения аку-

стических волн в разных металлах и сплавах представлены в [17, 18]. Особый интерес представляют исследования влияния структурных повреждений на акустические характеристики [19, 20]. Используемые методы имеют ряд ограничений в применении, обусловленных недостаточной чувствительностью, влиянием ряда мешающих факторов на результаты контроля [21, 22].

В статье представлен новый подход к структуроскопии металла, основанный на использовании в качестве информативного параметра усредненного значения амплитуды структурных шумов.

#### Используемые подходы

Структурный шум связан с рассеянием УЗ-волн на структурных неоднородностях, зернах материала. В отдельном кристалле упругие модули (а следовательно, скорости распространения волн) различаются в зависимости от кристаллографического направления. Так как кристаллические решетки зерен в поликристаллическом теле ориентированы хаотически друг относительно друга, то на границах зерен происходит частичное отражение, преломление и трансформация УЗ-волн. Акустическая волна, распространяясь в такой среде, порождает рассеянные волны, которые, распространяясь в произвольных направлениях, «не поддерживают» основной волновой поток (рис. 1, а).

Коэффициент затухания УЗ-волны, вызванный рассеянием  $\delta_d$ , зависит от соотношения между длиной волны  $\lambda$  и средним размером зерна  $D_g$  (рис. 1, б).

© Муравьев В. В., Муравьева О. В., Байтеряков А. В., Дедов А. И., 2013

\* Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований УрО РАН (проект № 12-У-2-1013), Программы стратегического развития ФГБОУ ВПО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова» на 2012–2016 (проект ПСР/М2/Н2.5/МВВ).

При  $\lambda \ll D_g$  затухание минимально. Особенно велико рассеяние при  $\lambda \approx (3 \div 4)D_g$ . Для большинства конструкционных материалов выполняется условие  $D_g \ll \lambda$  ( $D_g = 20 \div 100$  мкм,  $\lambda = 0,5 \div 6$  мм в диапазоне частот от 1 МГц до 5 МГц). Рассеяние в этой области называется рэлеевским и происходит на частицах размерами меньше длины волны. При этом коэффициент  $\delta_d$  оказывается пропорциональным третьей степени диаметра зерна  $D_g^3$  и четвертой степени частоты  $f^4$ . Коэффициент рассеяния  $\delta_d$  УЗ-волн значительно зависит от упругой анизотропии мате-

риала. Так, вследствие анизотропии ультразвук сильно затухает в меди, чугуне, аустенитной стали. Мала упругая анизотропия в вольфраме, алюминии. Технически чистое железо и углеродистая сталь относятся к промежуточным материалам в отношении величины упругой анизотропии. Большим рассеянием характеризуются материалы, состоящие из разнородных частиц (бетон, гранит, чугун).

Наряду с рассеянием затухание обусловлено поглощением энергии УЗ-волны за счет перехода в тепловую энергию (коэффициент поглощения  $\delta_a$ ).

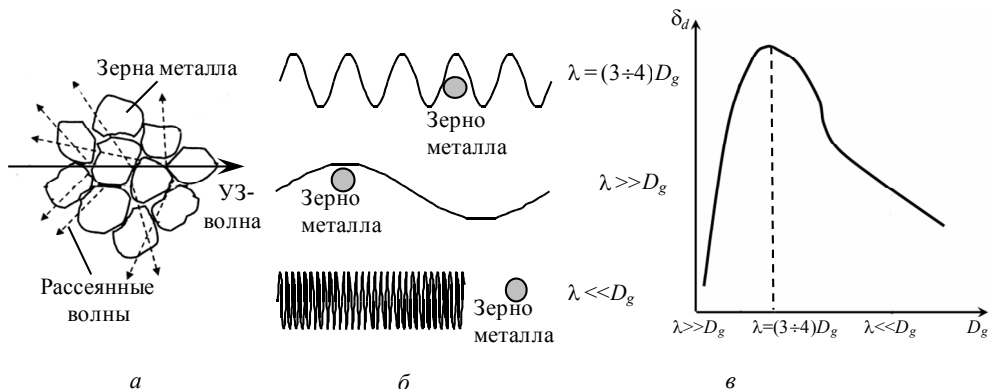


Рис. 1. Механизм рассеяния УЗ-волны на границах зерен (а); иллюстрация взаимодействия волн различных частот с неоднородностями среды (б); зависимость коэффициента рассеяния от среднего размера зерна (в)

В частности, для малоуглеродистой стали коэффициент затухания продольных волн  $\delta_l$ , обусловленный поглощением  $\delta_a$  и рассеянием  $\delta_d$ , может быть рассчитан по упрощенной формуле:

$$\delta_l = \delta_d + \delta_a = 0,12f + 20f^4 D_g^3, \quad (1)$$

где  $f$  – частота [МГц],  $D_g$  – средний диаметр зерна [мм].

Размер зерна определен ГОСТ 5639–82 как средний диаметр зерна и оценивается в номерах  $G$  шкалы ГОСТа. Например, номер  $G3$  соответствует среднему диаметру зерна  $D_g = 125$  мкм, номер  $G6 - D_g = 41$  мкм, номер  $G8 - D_g = 22$  мкм.

В качестве примера на рис. 2 представлен вид кривой зависимости коэффициента затухания продольной волны от частоты для различных номеров зерен  $G$ . Рост частоты и увеличение размера зерна ведут к существенному увеличению коэффициента затухания, особенно на высоких частотах, что приводит к значительному уменьшению амплитуды волны.

Импульсы, образовавшиеся в результате обратного рассеяния ультразвука на неоднородностях структуры, формируют структурный шум, имеющий вид отдельных близко расположенных пиков на индикаторе дефектоскопа. В зависимости от случайного соотношения фаз отдельных рассеянных импульсов они могут усилить или ослабить друг друга (рис. 3).

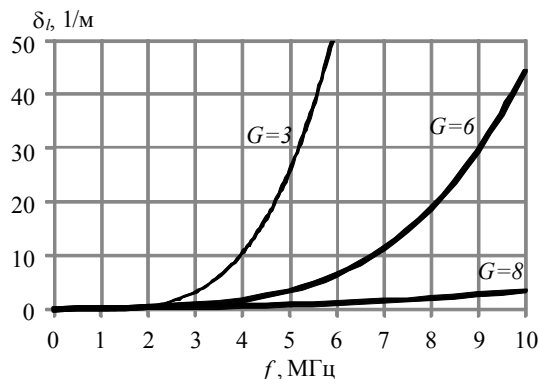


Рис. 2. Коэффициент затухания продольной волны

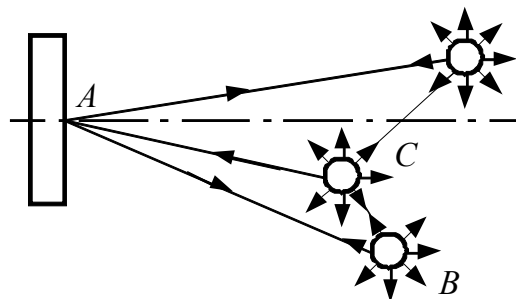


Рис. 3. Однократное и двукратное рассеяние волн на границах зерен

Используя формулы [23], можно рассчитать средний уровень структурных шумов  $U_{sn}$  в ближней (формула (2)) и дальней (формула (3)) зонах для совмещенного преобразователя:

$$U_{sn} = U_0 \frac{\lambda}{2} \sqrt{\frac{\delta_d C \tau}{\pi S}} e^{-2\delta r}, \quad (2)$$

$$U_{sn} = U_0 \frac{1}{2r} \sqrt{\frac{\delta_d C \tau S}{2\pi}} e^{-2\delta r}, \quad (3)$$

где  $U_0$  – амплитуда излученного сигнала;  $\lambda$  – длина УЗ-волны ультразвука;  $\delta_d$  – коэффициент рассеяния ультразвука;  $C$  – скорость УЗ-волн в среде;  $\tau$  – длительность УЗ-импульса;  $S$  – площадь преобразователя;  $\delta$  – коэффициент затухания;  $r$  – расстояние от преобразователя до области рассеяния.

Представленные формулы (1) – (3) позволяют исследовать влияние размеров зерна ( $D_g$ ) и параметров преобразователя ( $f$ ,  $S$ ,  $\tau$ ) на уровень структурных шумов. В частности, рис. 4 иллюстрирует влияние среднего диаметра зерна  $D_g$  на уровень структурных шумов  $U_{sn}/U_0$  продольной волны для различных рабочих частот  $f$ . Результаты расчетов выполнены для дальней зоны используемого в экспериментах преобразователя с площадью  $S = 50 \text{ мм}^2$  на частотах  $f_1 = 2,5 \text{ МГц}$ ,  $f_2 = 5 \text{ МГц}$  и  $f_3 = 10 \text{ МГц}$ . Наличие экстремумов в зависимости  $U_{sn}/U_0$  от размера зерна  $D_g$  обусловлено двумя основными тенденциями:

– с одной стороны, уровень структурных шумов пропорционален коэффициенту рассеяния:

$$U_{sn} \sim \sqrt{\delta_d} \sim \sqrt{D_g^3};$$

– с другой стороны, уровень структурных шумов уменьшается по экспоненциальному закону за счет затухания:

$$U_{sn} \sim \exp(-2\delta r) = \exp\left[-(0,12f + 20D_g^3 f^4)r\right].$$



Рис. 4. Уровень структурных шумов  $U_{sn}/U_0$  в зависимости от диаметра зерна

Использование различных частот при одинаковой площади пьезопластины преобразователя меняет местоположение экстремума и крутизну кривых. Полученные кривые позволяют оптимизировать параметры преобразователя для реализации методики оценки структуры (определения размера зерна) с максимальной чувствительностью в зависимости от диапазона исследуемых размеров зерен.

### Методика измерений

Амплитуда акустических структурных шумов, как правило, существенно меньше уровня донных сигналов, поэтому регистрация структурных шумов требует

использования высоких коэффициентов усиления. При этом использование совмещенных преобразователей нецелесообразно ввиду мощной наводки зондирующего импульса, длительность которого при высоких коэффициентах усиления перекрывает всю зону появления структурных шумов, создав мертвую зону.

Предлагается использование раздельно-совмещенного (РС) преобразователя с малой мертвой зоной с раздельной функцией излучения и приема, конструктивно объединенного в одном корпусе (рис. 5). Электрическое напряжение, поданное с генератора зондирующих импульсов (ЗИ) на излучающую пьезопластину РС преобразователя, приводит к возбуждению продольной волны в передающей призме с малым углом наклона ( $0-7^\circ$ ). На границе раздела сред передающая призма – объект контроля происходит преломление продольной волны. Отраженная от донной поверхности и рассеянная на неоднородностях среды, продольная волна преломляется на границе раздела сред приемная призма – объект контроля и преобразуется в электрический сигнал с помощью приемного пьезоэлемента РС-преобразователя. Следует отметить, что в зоне контакта передающей призмы и объекта контроля возникает рэлеевская волна, переизлучаемая в приемную призму [24]. В практике УЗ-контроля появление импульса рэлеевской волны, называемого «пролазом», на границе зоны контроля нежелательно, так как ограничивает чувствительность и мертвую зону контроля.

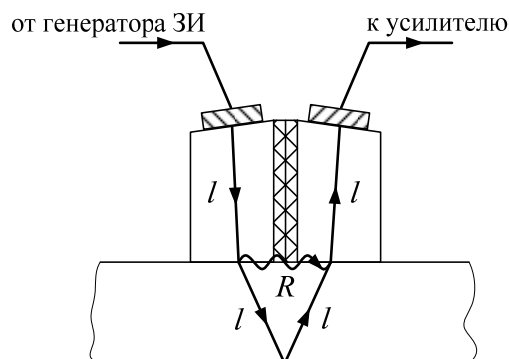


Рис. 5. Схема формирования «пролаза» рэлеевской волны:  $l$  – продольная волна;  $R$  – рэлеевская волна

Ввиду того, что на уровень сигналов структурных шумов, равно как и любых отраженных сигналов, существенно влияет качество акустического контакта (особенно в случае шероховатых поверхностей, нестабильности слоя контактной жидкости), принципиальным при разработке методики является выбор опорного сигнала. Обычно в качестве опорных в УЗ-контроле используют донные импульсы или отражения от искусственных отражателей. Однако при контроле реальных объектов, особенно в процессе эксплуатации, отражение УЗ-волны от противоположной поверхности изделия может существенно меняться и даже отсутствовать (при наличии коррозии, питтинга или отсутствии плоскопараллельности).

Предлагается использование в качестве опорного сигнала от «пролаза» рэлеевской волны, обусловленного ее переизлучением в приемную призму. В отличие от донного сигнала, сигнал «пролаза» рэлеевской волны является наиболее стабильным при изменении качества контакта, шероховатости поверхности и не зависит от состояния донной поверхности.

Блок-схема установки, реализующая методику измерений, представлена на рис. 6. Генератор электрических импульсов ультразвукового дефектоскопа ДУК-66 возбуждает излучающую пластину РС-преобразователя П112-5,0-Ø8. Рассеянные на неоднородностях структуры УЗ импульсы регистрируются приемной пьезопластиной и усиливаются высоко-частотным усилителем дефектоскопа ДУК-66 на 80–90 дБ. Для сохранения и дальнейшей обработки электрического сигнала структурных шумов к выходу «VideoSignal» дефектоскопа ДУК-66 подключен цифровой осциллограф RIGOL DS1102C, синхронизированный с дефектоскопом через линию синхронизации.

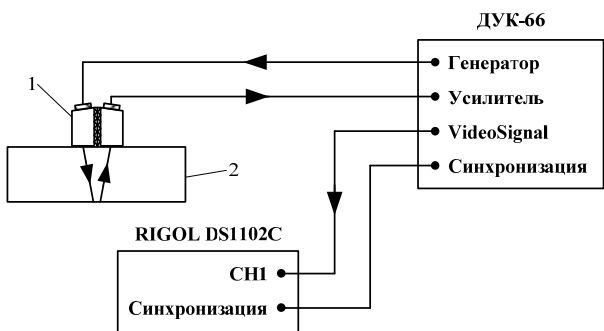
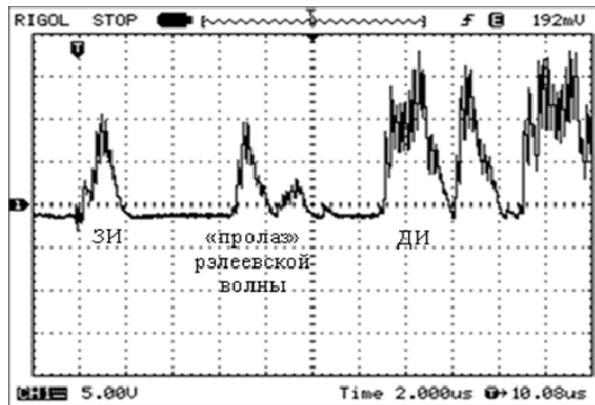


Рис. 6. Схема контроля: 1 – раздельно-совмещенный преобразователь; 2 – исследуемый образец

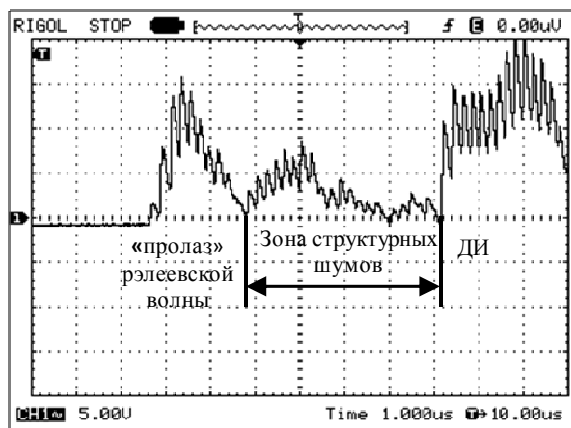
Результаты регистрации зондирующего импульса (ЗИ), донного импульса (ДИ) и «пролаза» рэлеевской волны представлены на рис. 7, а. Вид усиленных сигналов структурных шумов в зоне контроля между импульсом «пролаза» рэлеевской волны и донным сигналом (в ограничении) иллюстрирует структурные шумы в исследуемом образце (рис. 7, б).

Ввиду того, что уровень структурных шумов является результатом интерференции волн, многократно рассеянных от зерен материала, в методике оценивается интегральная характеристика структурного шума, определяемая как результат интегрирования структурного шума по всей рабочей зоне. Интегрирование реализовано в среде MathCad после интерполяции оцифрованного сигнала.

Для апробации разработанной методики исследования структурных шумов подготовлены образцы из круглого проката конструкционной стали 45 в виде дисков диаметром  $d$  и высотой  $h$  с различными термическими обработками, реализующими различные структуры с разным номером зерна. Основные характеристики образцов приведены в табл. 1.



а



б

Рис. 7. Осциллограмма импульсов на экране осциллографа: а – временной отрезок зондирующий импульс (ЗИ) – донный импульс (ДИ); б – зона структурных шумов

Таблица 1. Характеристика образцов для исследований

№ образца	Размеры образца		Вид термической обработки	Температура нагрева под закалку, °С	Номер зерна $G$ / средний диаметр зерна $D_g$ , мкм	Структура
	$d$ , мм	$h$ , мм				
1	54,7	19,9	поставка (нормализация)	850	5/62	перлит+феррит
2	54,7	19,9	закалка, вода	780	8/22	мартенсит
3	54,7	19,9	закалка, масло	850	7/31	мартенсит+троостит
4	54,7	19,9	закалка+улучшение	850+600	6/44	сорбит
5	48,3	18,7	поставка (нормализация)	850	5/62	феррит+перлит
6	48,3	16,0	перегрев под отжиг	1050	3/125	крупнозернистый феррит+перлит

Для оценки структурных изменений проведены металлографические исследования подготовленных образцов. Фотографии микроструктур шлифов плоской поверхности образцов после травления в 4-процентном водном растворе  $HNO_3$  для выделения границ зерен, полученные с помощью микроскопа Альтами МЕТ 1М, представлены на рис. 8. Результа-

ты металлографической оценки размеров зерна представлены в табл. 1. Средний размер зерна  $D_g$  и номер шкалы  $G$  оценен согласно ГОСТ 5639–82.

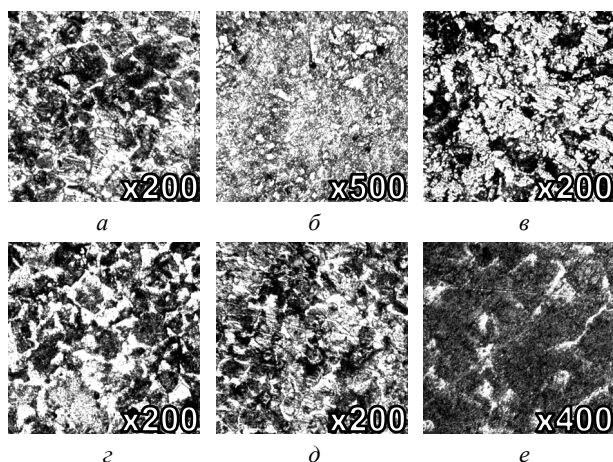


Рис. 8. Металлография образцов: а – образец № 1; б – образец № 2; в – образец № 3; г – образец № 4; д – образец № 5; е – образец № 6

### Результаты исследований и их обсуждение

Результаты определения интегрированного и усредненного по области интегрирования уровня структурного шума, амплитуды сигнала «пролаза» рэлеевской волны и амплитуды донного сигнала для исследуемых образцов представлены в табл. 2. Измерения проведены в 4 областях исследуемых образцов и усреднены. Случайная ошибка измерений в одном положении преобразователя не превышает 15 %.

Таблица 2. Результаты измерений

Номер образца	Среднее значение амплитуды структурного шума по трем измерениям при ослаблении 10 дБ, В				Усредненная амплитуда структурного шума $U_{sn}$ , В	Усредненная амплитуда донного импульса $U_{bp}$ при ослаблении 10 дБ $U_{л}$ , В	Усредненная амплитуда пролаза рэлеевской волны при ослаблении 10 дБ $U_R$ , В
	Поз. № 1	Поз. № 2	Поз. № 3	Поз. № 4			
1	2,51	2,61	2,80	3,17	2,77	122,67	12,67
2	0,21	0,26	0,47	0,48	0,34	120,67	11,25
3	1,22	1,30	1,46	1,72	1,42	120,00	11,10
4	1,45	2,44	2,34	2,15	2,09	124,00	11,80
5	2,66	2,90	2,76	3,21	2,88	130,67	10,80
6	8,33	9,16	9,05	8,72	8,82	135,33	12,10

На рис. 9, а и 9, б приведены графики отношения структурный шум – донный сигнал  $U_{bp}$  и структурный шум  $U_{sn}$  – «пролаз» рэлеевской волны  $U_R$  для исследованных образцов. Интервалы отклонений для экспериментальных точек по горизонтали соответствуют отклонениям от среднего значения диаметра зерна  $D_g$  в соответствии с ГОСТ 5639–82. Интервалы отклонений по вертикали соответствуют отклонениям уровня структурных шумов в различных областях исследуемых образцов. Отметим, что отклонение уровня структурных шумов от среднего значения

находится в пределах, соответствующих разбросам по величине зерна относительно среднего значения.

Наличие однозначной зависимости уровня структурных шумов от размера зерна свидетельствует о возможности использования разработанной методики для оценки структуры металла. При этом разброс в уровне структурных шумов свидетельствует о структурных различиях по областям образца.

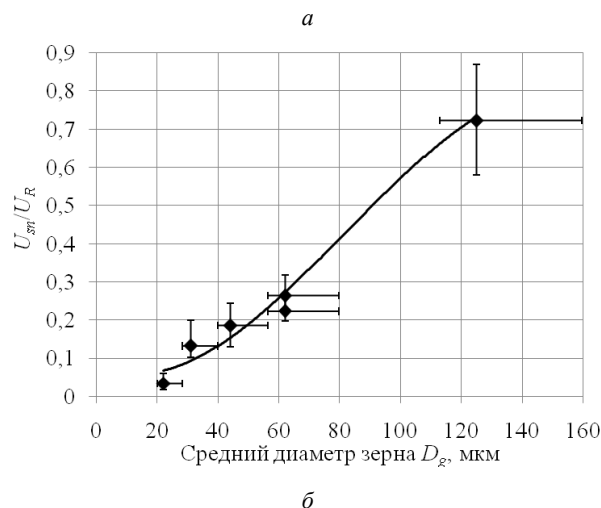
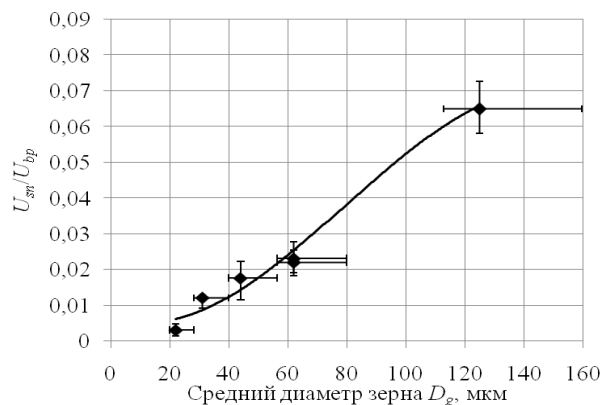


Рис. 9. Графики отношения: а – структурный шум – донный импульс; б – структурный шум – «пролаз» рэлеевской волны

Анализ результатов теоретических и экспериментальных (металлографических и акустических) исследований показывает, что амплитуда УЗ-волн, отраженных от структурных элементов, прямо пропорциональна размеру зерен в термически обработанных образцах исследуемой стали 45. Выявлена однозначная зависимость между величиной зерен в образцах исследуемой стали 45, полученных после различных видов термической обработки, и усредненной амплитудой структурных шумов. Полученная зависимость удовлетворительно согласуется с теоретическими представлениями.

### Выводы

В развитии УЗ-структуроскопии предложен новый подход к оценке структуры металла по значению интегрального уровня акустических структурных шумов.

Методика оценки акустических структурных шумов металла обоснована с позиций выбора частотного диа-

пазона, зоны контроля, опорного сигнала («пролаз» рэлеевской волны), алгоритма обработки сигнала.

Установлено влияние структуры образцов стали 45, подвергшихся различной термической обработке, на уровень структурных шумов.

Разработанный алгоритм структуроскопии с помощью структурных шумов может быть автоматизирован и применен на этапе производства для выходного контроля качества металлических изделий, а также для контроля текущего состояния эксплуатируемых деталей.

#### Библиографические ссылки

1. *Muraviev, V. V.* Prospective Method for Material and Product Unbroken Inspection and Engineering Diagnosis // Journal of Petrochemical Universities. – June 1998. – Vol. 11, № 2. – Pp. 54–58.
2. Акустический контроль долговечности стальных образцов и восстановление их ресурса / Л. Б. Зуев, О. В. Соснин, Д. З. Чиракадзе и др. // Приклад. механика и техн. физика. – 1998. – Т. 39, № 4. – С. 180–183. – URL: <http://www.sibran.ru/upload/iblock/5fc/5fcd88f6c30378cd509f27fbf28a86.pdf> (дата обращения: 22.05.2013).
3. *Муравьев В. В., Сухарев Е. М., Ермолаева З. И.* Связь скорости ультразвука с ударной вязкостью и технология контроля качества конструкционных сталей // Контроль. Диагностика. – 2002. – № 7. – С. 49–55.
4. *Муравьев В. В.* Взаимосвязь структуры и твердости сталей со скоростью объемных и поверхностных акустических волн // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1991. – № 10. – С. 100–102.
5. *Муравьев В. В., Зуев Л. Б., Билута А. П.* Взаимосвязь структуры и механических свойств инструментальной углеродистой стали со скоростью распространения ультразвуковых колебаний // Техн. диагностика и неразрушающий контроль. – 1992. – № 2. – С. 69–71.
6. *Зуев Л. Б., Муравьев В. В.* Малые изменения скорости ультразвука после отпуска закаленной стали // Перспектив. материалы. – 1996. – № 3. – С. 84–87.
7. *Муравьев В. В., Бедарев А. С., Зуев Л. Б.* Влияние режимов термической обработки на физико-механические свойства и структуру сплавов 1420 и 1450 // Техн. диагностика и неразрушающий контроль. – 1994. – № 2. – С. 57–61.
8. *Муравьев В. В., Бояркин Е. В., Бобров А. Л.* Ультразвуковой метод оценки структурно-механического состояния рельсовой стали // Контроль. Диагностика. – 1998. – № 3. – С. 37–40.
9. Оценка напряженного состояния изделий из серого чугуна акустическим методом / Г. А. Буденков, О. В. Недзвецкая, Р. В. Зинченко и др. // Дефектоскопия. – 1998. – № 7. – С. 3–7.
10. *Буденков Г. А., Муравьев В. В., Коробейникова О. В.* Исследование напряженно-деформированного состояния

ободьев цельнокатаных вагонных колес методом акустической тензометрии // Фундамент. проблемы соврем. материаловедения. – 2009. – Т. 6, № 3. – С. 111–117.

11. Оценка остаточных напряжений в ободьях вагонных колес электромагнитно-акустическим методом / В. В. Муравьев, О. В. Муравьева, В. А. Стрижак и др. // Дефектоскопия. – 2011. – № 8. – С. 16–28.

12. Распределение остаточных напряжений при электроконтактном упрочнении бандажей локомотивных колес / В. В. Муравьев, С. Ю. Петров, А. В. Платунов и др. // Технология машиностроения. – 2011. – № 9. – С. 42–45.

13. *Муравьев В. В., Стрижак В. А., Балобанов Е. Н.* К расчету параметров системы намагничивания электромагнитно-акустического преобразователя // Интеллектуал. системы в пр-ве. – 2011. – № 1. – С. 197–205.

14. *Муравьев В. В., Муравьев М. В., Бехер С. А.* Применение новой методики обработки сигналов АЭ для повышения точности локализации дефектов // Дефектоскопия. – 2002. – № 8. – С. 15.

15. Многоканальная акустико-эмиссионная система диагностики конструкций / Л. Н. Степанова, А. Н. Серьезнов, В. М. Круглов, В. В. Муравьев : Патент РФ RU № 2217741 С2. Бюл. № 33, 27.11.2003. – Москва, ФИПС. – 18 с.

16. *Муравьев В. В., Степанова Л. Н., Кареев А. Е.* Оценка степени опасности усталостных трещин при акустико-эмиссионном контроле литых деталей тележки грузового вагона // Дефектоскопия. – 2003. – № 1. – С. 63–68.

17. *Муравьев В. В., Бобров А. Л., Бояркин Е. В.* Влияние величины зерна сталей на скорость распространения ультразвука // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1999. – № 6. – С. 36–38.

18. *Муравьев В. В., Ермолаева З. И.* Влияние некоторых структурных параметров на скорость ультразвука в сталях // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1999. – № 8. – С. 29–31.

19. Ультразвуковой контроль накопления усталостных повреждений и восстановление ресурса деталей / Л. Б. Зуев, В. Я. Целлермаер, В. Е. Громов и др. // Журнал техн. физики. – 1997. – Т. 67, № 9. – С. 123–125.

20. *Зуев Л. Б., Муравьев В. В., Данилова Ю. С.* О признаке усталостного разрушения сталей // Письма в Журн. техн. физики. – 1999. – Т. 25, № 9. – С. 31–34.

21. *Муравьев В. В.* Погрешности измерений при ультразвуковой структуроскопии // Дефектоскопия. – 1988. – № 7. – С. 80–82.

22. Исследование мешающих факторов при акустическом контроле термообработки сплава Д1 / К. Л. Комаров, В. В. Муравьев, А. В. Салаев и др. // Дефектоскопия. – 1980. – № 8. – С. 53–56.

23. Неразрушающий контроль : [в 5 кн.]. – М. : Высш. шк., 1991 – Кн. 2 : Акустические методы контроля / И. Н. Ермолов, Н. П. Алешин, А. И. Потапов. – 287 с.

24. *Буденков Г. А., Недзвецкая О. В.* К расчету преобразователей рэлеевских волн // Дефектоскопия. – 1992. – № 10. – С. 76–81.

\*\*\*

*V. V. Muravyev*, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University  
*O. V. Muravyeva*, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University  
*A. V. Bayteryakov*, Master's degree student, Kalashnikov Izhevsk State Technical University  
*A. I. Dedov*, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

#### Method for determination of acoustic structural noise of metal

*This paper represents the method to determine the grain size of steel grade 45 to become the mean amplitude of the acoustic structural noise. The measuring method and the algorithm of processing the signal received by the flaw detector are described. Coincidence of theoretical and experimental results is revealed.*

**Keywords:** acoustic structural noise, structure detection, dispersion of ultrasound waves, grain size