

3. Ограничение спектра позволяет повысить скрытность сигнала при приеме на узкополосную антенну.

Библиографические ссылки

1. Каневский З. М., Литвиненко В. П. Теория скрытности. – Воронеж : ВГУ, 1991.

2. Бабинцев Е. С., Копысов А. Н., Климов И. З. Структурная скрытность дискретно-частотного и многочастот-

ного широкополосных сигналов // Интеллектуальные системы в производстве. – 2010. – № 2. – С. 109–113.

3. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты / В. И. Борисов [и др.]. – М. : Радио и связь, 2000.

4. Спилкер Дж. Цифровая спутниковая связь : пер. с англ. – М. : Связь, 1979. – 592 с.

O. A. Volkov, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

I. Z. Klimov, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Influence of Changing the Structure of Signal on its Security

The influence of signal structure of the value of security is investigated. The dependence of security on the choice of basis functions is shown. Comparison of various signal security is made.

Keywords: signal, transmission security, basis functions, criterion, reconnaissance.

Получено 04.02.14

УДК 620.179.16

В. В. Муравьев, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

А. В. Байтеряков, аспирант, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

А. Ю. Котоломов, кандидат технических наук, ООО «Газпром трансгаз Чайковский»

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛА ТРУБ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ НА ПАРАМЕТРЫ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН *

Исследована структурная анизотропия термически обработанных образцов металла вырезанных фрагментов труб магистрального газопровода ультразвуковым методом с использованием поверхностных и сдвиговых волн горизонтальной поляризации.

Ключевые слова: ультразвуковые волны, низкоуглеродистая сталь, электромагнитно-акустический преобразователь.

Оценка структурного и напряженно-деформированного состояния магистральных газопроводов, находящихся в эксплуатации, является актуальной задачей неразрушающих методов контроля. Растущие трещины выявляются методами акустической эмиссии [1–5]. Дефекты, приводящие к разрушению газопроводов, могут возникать из-за неблагоприятного структурного состояния и высоких остаточных напряжений. Зонами концентрации остаточных напряжений в газопроводах служат гбы, сварные соединения, места опор и нагрузки грунта, так как в этих зонах напряженно-деформированное состояние дополняется неоднородностью теплового расширения и внутреннего давления. Известно, что скорость распространения поверхностных и объемных ультразвуковых волн зависят от напряженного состояния в объекте, его структурного состояния и анизотропии текстуры [6–10].

В данной статье рассмотрено влияние структурного состояния и анизотропии текстуры образцов – вырезок магистральных газопроводов на информа-

тивные параметры ультразвуковых волн и некоторые механические характеристики металла.

Методика и результаты исследований

Исследования структурной анизотропии выполнялись структуроскопами ИСП-12 с пьезоэлектрическими преобразователями (ПЭП) поверхностных волн и СЭМА с электромагнитно-акустическим (ЭМА) преобразователем.

Для экспериментов подготовили 6 образцов-фрагментов вырезанных из газопровода Ду1420х15,7 диаметром 1420 мм. Размер образцов-фрагментов 300×500 мм с толщиной стенки 15,7 мм. Схематично образец с расположенными преобразователями представлен на рис. 1.

При вырезке фрагмента из газопровода полученный образец освобождается от связей, внутреннего давления и действия напряжений 1-го рода (макронапряжений), что позволяет выделить влияние структуры и анизотропии свойств на параметры распространения ультразвуковых волн. Образцы подвергли

© Муравьев В. В., Байтеряков А. В., Котоломов А. Ю., 2014

* Работа выполнена при поддержке Программы стратегического развития ФГБОУ ВПО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова» на 2012–2016 гг. (проект ПСР/М2/Н2.5/МВВ); Программы фундаментальных исследований УрО РАН 2012–2014 гг. (проект № 12-У-2-1013).

различной термической обработке. Характеристики структуры, ударной вязкости и твердости приведены в табл. 1.

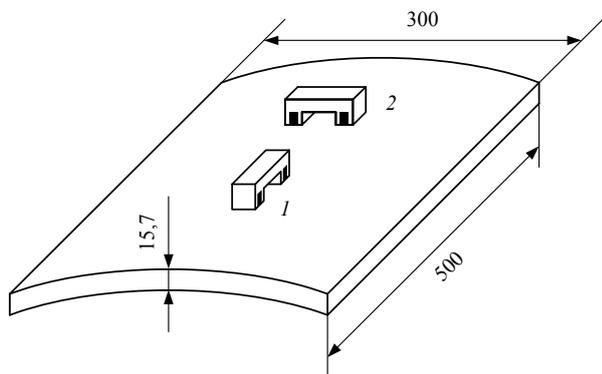


Рис. 1. Вид и размеры фрагментов с расположенными преобразователями

Микроструктуры шлифов образцов, полученных с помощью микроскопа Axio Vert фирмы Zeiss, представлены на рис. 2.

Образцы испытаны на твердость по Бринеллю с помощью динамического твердомера ТДМ-2. Полученная зависимость твердости от температуры термической обработки представлена на рис. 3.

Таблица 1. Термическая обработка и характеристики образцов

№ п/п	Режим термообработки	Температура нагрева и выдержка, °С	Условия охлаждения	Балл зерна	KCV ₂ , Дж/см ²	НВ
1	Исходное состояние	—	—	4	324	173
2	Низкий отпуск	250–300; 0,5 ч	На воздухе	5	296	180
3	Средний отпуск	350–400; 0,5 ч	На воздухе	7	301	176
4	Высокий отпуск	600–650; 1 ч	С печью	4	267	165
5	Отжиг	750–780; 5 ч	С печью	8	293	115
6	Нормализация	900–930; 0,5 ч	На воздухе	7	239	105

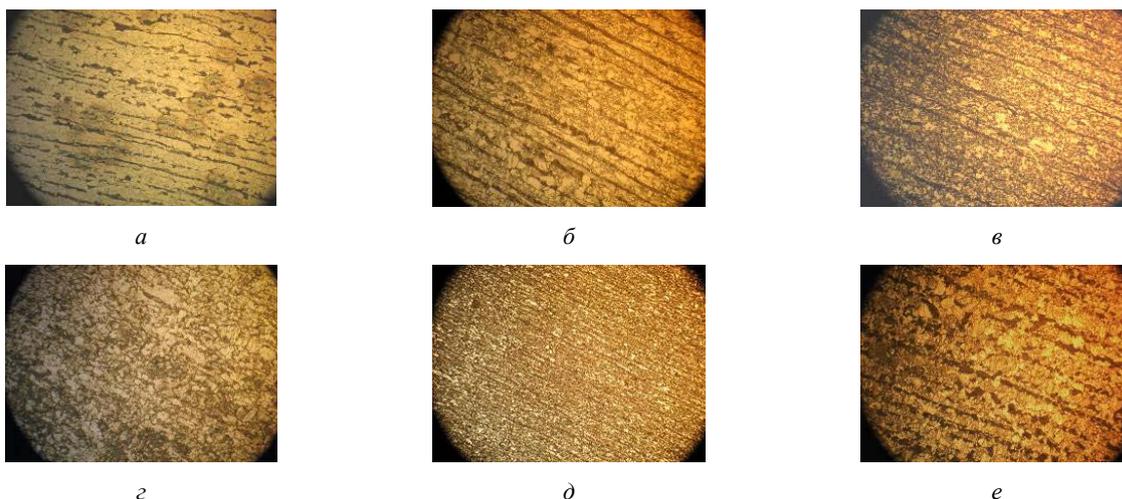


Рис. 2. Микроструктуры шлифов образцов (×500):

a – образец № 1; *б* – образец № 2; *в* – образец № 3; *г* – образец № 4; *д* – образец № 5; *е* – образец № 6

Для подтверждения полученной зависимости проведены исследования скоростей распространения сдвиговых волн, излучаемых нормально к поверхности, ЭМА-методом. В данном случае измеряемым

Схема контроля с помощью прибора ИСП-12 приведена на рис. 4. Поверхностная волна от излучающего ПЭП проходит по отрезку поверхности образца и регистрируется приемным ПЭП. На цифровом индикаторе дефектоскопа отображается частота автоциркуляции [6–8]. Измерения проведены на внешней стороне фрагментов труб в продольном по образующей (положение датчика 1) и поперечном погибающей (положение датчика 2) трубы, как показано на рис. 1.

Измеренные частоты автоциркуляции $f_{Ц}$ использованы для оценки степени анизотропии по результатам расчета разности скоростей в двух взаимно перпендикулярных направлениях образца: вдоль проката трубы и поперек. График полученных значений приведен на рис. 5.

Коэффициент упругой анизотропии R_A (табл. 2) рассчитывался по формуле

$$R_A = \left(1 - \frac{C_a}{C_b}\right) \cdot 100 \%,$$

где C_a и C_b – скорости распространения волн Рэлея вдоль и поперек прокатки.

Усреднение сделано по 10 измерениям в каждом направлении. Абсолютная погрешность оценки R_A не превышает 0,1 %.

параметром является разность времени прихода ультразвуковых импульсов, поляризованных во взаимно перпендикулярных направлениях – вдоль проката трубы и поперек.

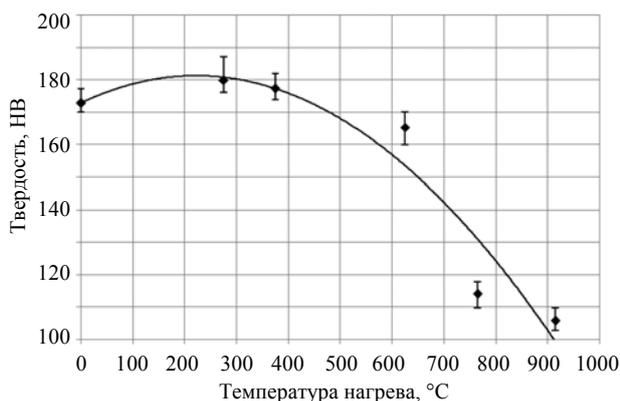


Рис. 3. Зависимость твердости образцов от температуры термической обработки

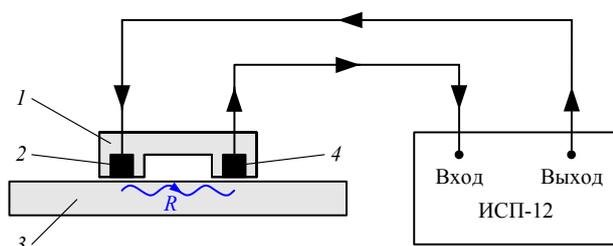


Рис. 4. Схема проведения контроля структуроскопом ИСП-12: 1 – блок преобразователей; 2 – излучающий ПЭП; 3 – объект контроля; 4 – приемный ПЭП; R – рэлеевская волна

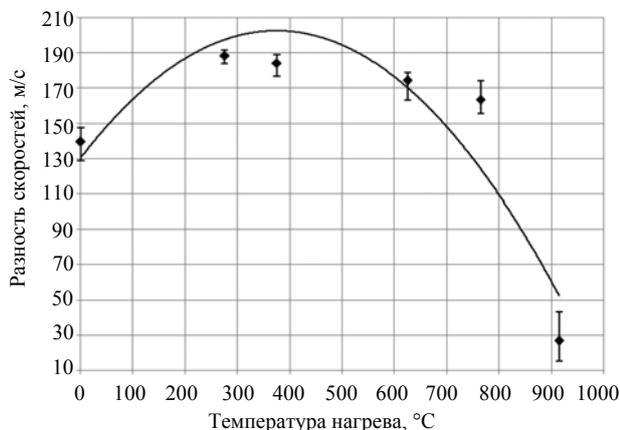


Рис. 5. График зависимости разности скоростей рэлеевских волн от температуры термической обработки

Таблица 2. Термическая обработка и характеристики образцов

№ образца п/п	C_a , м/с	C_b , м/с	$C_a - C_b$, м/с	R_A , %
1	3103	3243	139	4,3
2	3065	3253	188	5,8
3	3051	3235	184	5,7
4	3066	3240	174	5,4
5	3105	3268	163	5,0
6	3128	3154	27	0,9

В качестве измеряемого параметра использовали разницу времен прихода двух поперечных волн взаимно-перпендикулярной поляризации, распространяющихся по нормали к поверхности (рис. 6).

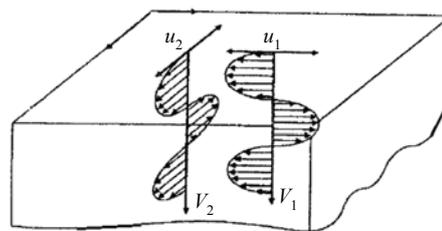


Рис. 6. Поперечные плоско-поляризованные волны, распространяющиеся по нормали к поверхности

Специализированное программное обеспечение позволяет одновременно наблюдать на мониторе структуроскопа СЭМА эхограммы многократных переотражений двух сдвиговых волн с взаимно-перпендикулярными плоскостями поляризации (рис. 7) [11–15].

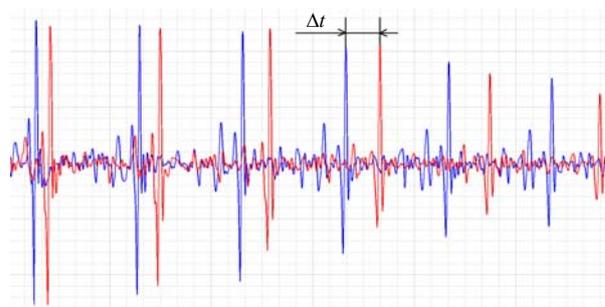


Рис. 7. Серия донных импульсов двух волн с разным временем прихода: Δt – разница времени прихода

Разница времени прихода $\Delta t = t_1 - t_2$ характеризует степень анизотропии. Здесь t_1 и t_2 – время прихода волн, поляризованных, соответственно, по образующей и по огибающей фрагмента. Измеренные разницы времени прихода импульсов пересчитаны в разности скоростей волн, поляризованных по образующей и по огибающей фрагмента. График полученной зависимости приведен на рис. 8.

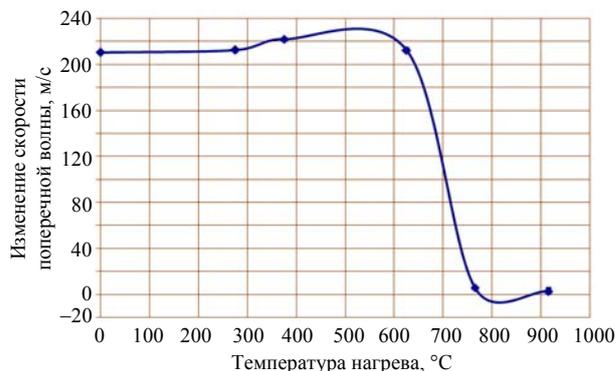


Рис. 8. Зависимость разности скоростей взаимно перпендикулярно поляризованных сдвиговых волн от температуры термической обработки

Из результатов видно, что степень анизотропии материала после термической обработки существенно уменьшается. При этом увеличение температуры

термообработки приводит к измельчению зерна (табл. 1), при нормализации повышается пластичность и уменьшается твердость. В образце – фрагменте трубы со снятыми по краям вырезки остаточными напряжениями в центре разница времени прихода ниже, чем по границам образца, и достигает 40 нс. Измеренные временные задержки характерны для определенной структуры металла. Их учет необходим для выявления влияния внутренних напряжений металла на скорость плоско поляризованных волн в металле газопровода.

Полученные экспериментальные результаты подтверждаются металлографическими исследованиями и согласуются с данными [12, 13]. Повышенный уровень анизотропии (рис. 5, 8) связан с остаточной текстурой вследствие незавершенной рекристаллизации структуры металла при выполнении операций термической обработки (табл. 1).

Выводы

Обработка результатов измерений информативных параметров ультразвуковых волн, полученных двумя различными методами, подтвердила влияние структуры и степени анизотропии на скорость волн в исследованных образцах. В низкотемпературном диапазоне (до 700 °С) акустическими методами надежно выявляется направление проката металла и степень анизотропии. Следует отметить, что у образцов с высокими температурами термической обработки значительно снижается твердость, степень анизотропии и разность времени прихода ультразвуковых импульсов.

Библиографические ссылки

1. Оценка возможностей метода АЭ при контроле магистральных трубопроводов / Г. А. Буденков, О. В. Недзвецкая, В. Н. Сергеев, Д. В. Злобин // Дефектоскопия. – 2000. – № 2. – С. 29–36.
2. Патент РФ № 2240551 С2 RU. Способ диагностирования мостовых металлических конструкций и устройство для его осуществления / Л. Н. Степанова, В. В. Муравьев, В. М. Круглов [и др.]. – Дата регистрации: 20.06.2001. Оpubл. 27.06.2003. Бюлл. № 32. М., ФИПС. – 20 с.
3. 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.
4. Патент РФ № 2296320 С1 RU. Акустико-эмиссионный способ диагностирования колесных пар железнодорожного подвижного состава и устройство для его осуществления / Л. Н. Степанова, В. В. Муравьев [и др.]. – Дата регистрации: 07.09.2005. Оpubл. 27.03.2007. Бюлл. № 9. – М., ФИПС. – 16 с.
5. Патент РФ № 2284519 С1 RU. Способ диагностирования рельсовых плетей металлического моста и устройство для его осуществления. / М. В. Муравьев, В. В. Муравьев, Л. Н. Степанова, Т. В. Муравьев. – Дата регистрации: 14.02.2005. Оpubл. 27.09.2006. Бюлл. № 27. – М., ФИПС. – 14 с.
6. Зуев Л. Б., Муравьев В. В., Данилова Ю. С. О признаке усталостного разрушения сталей // Письма в Журнал технической физики. – 1999. – Т. 25. – № 9. – С. 31–34.
7. Ультразвуковой контроль накопления усталостных повреждений и восстановление ресурса деталей / Л. Б. Зуев, В. Я. Целлермайер, В. Е. Громов, В. В. Муравьев // Журнал технической физики. – 1997. – Т. 67. – № 9. – С. 123–125.
8. Акустический контроль долговечности стальных образцов и восстановление их ресурса / Л. Б. Зуев, О. В. Сошин, Д. З. Чиракадзе, В. Е. Громов, В. В. Муравьев // Прикладная механика и техническая физика. – 1998. – Т. 39. – № 4. – С. 180–183.
9. Смирнов А. Н., Муравьев В. В., Хапонен Н. А. Акустический критерий предельного состояния длительно работающего металла опасных производственных объектов // Контроль. Диагностика. – 2004. – № 5. – С. 19–23.
10. Смирнов А. Н., Муравьев В. В., Фольмер С. В. Структурно-фазовое состояние и ресурс длительно работающего металла технических устройств опасных производственных объектов, перспективы дальнейшего развития методов оценки работоспособности // Контроль. Диагностика. – 2009. – № 1. – С. 22–32.
11. Информационно-измерительная система возбуждения, приема, регистрации и обработки сигналов электромагнитно-акустических преобразователей / В. А. Стрижак, А. В. Пряхин, С. А. Обухов, А. Б. Ефремов // Интеллектуальные системы в производстве. – 2011. – № 1. – С. 243–250.
12. Распределение остаточных напряжений при электроконтактном упрочнении бандажей локомотивных колес / В. В. Муравьев, С. Ю. Петров, А. В. Платунов, Е. Н. Балобанов, Л. В. Волкова, А. А. Рябов, О. В. Соколов, Т. П. Печенова, В. В. Костюк // Технология машиностроения. – 2011. – № 9. – С. 42–45.
13. Муравьев В. В., Волкова Л. В., Балобанов Е. Н. Оценка остаточных напряжений в бандажах локомотивных колес методом акустоупругости // Дефектоскопия. – 2013. – № 7. – С. 22–28.
14. Муравьев В. В., Волкова Л. В. Оценка величины натяга бандажей локомотивных колес методом акустоупругости // Дефектоскопия. – 2013. – № 9. – С. 40–46.
15. Муравьев В. В., Стрижак В. А., Балобанов Е. Н. К расчету параметров системы намагничивания электромагнитно-акустического преобразователя // Интеллектуальные системы в производстве. – 2011. – № 1. – С. 197–205.

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

A. V. Baiteriakov, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

A. Yu. Kotolomov, PhD in Engineering, JSC “Gazprom transgaz Tchaikovsky”

Influence of Structural State of Metal of Gas Pipelines on Parameters of Ultrasonic Waves

The structural anisotropy of the thermally treated metal pipe samples cut from gas pipelines by ultrasonic method using surface and shear horizontal polarization waves was investigated.

Keywords: ultrasonic waves, low-carbon steel, electro-magnetic acoustic transducer.

Получено 23.06.14