

УДК 620.179.16+620.19

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТРЕСС-КОРРОЗИОННОЙ ПОВРЕЖДЕННОСТИ НА ЗАТУХАНИЕ ВОЛН ЛЭМБА И ОБЪЕМНЫХ ПОПЕРЕЧНЫХ ВОЛН.

© Василий Васильевич Мишакин, Наталья Васильевна Данилова, Вячеслав Александрович Ключников, Александр Викторович Гончар  
Нижегородский филиал Института машиноведения имени А.А. Благодирова РАН,  
Нижний Новгород, Россия  
[imndt31@mts-nn.ru](mailto:imndt31@mts-nn.ru)

*Аннотация.* Представлены результаты исследования влияния стресс-коррозионной поврежденности стали 09Г2С на затухание волн Лэмба и объемных поперечных волн. Показано, что наличие стресс-коррозионных трещин приводит к существенному увеличению затухания упругих волн. Установлено, что затухание поперечных волн в значительной степени зависит от направления поляризации поперечных волн относительно преимущественной ориентации трещин. Приведены зависимости частотно-зависимого затухания от количества стресс-коррозионных трещин на поверхности металла под защитным покрытием.

*Ключевые слова:* стресс-коррозионные повреждения, волны Лэмба, поперечные волны, частотно-зависимое затухание.

## THE STUDY OF EFFECT OF STRESS CORROSION DAMAGE TO ATTENUATION OF LAMB WAVES AND BULK TRANSVERSE WAVES

© V.V. Mishakin, N.V. Danilova, V.A. Klyushnikov, A.V. Gonchar  
The Institute of Machines Science of the Russian Academy of Sciences,  
Nizhny Novgorod Branch, Russia

*Annotation.* The article presents the results of study of the influence of stress-corrosion damage of K 11506 steel to attenuation of Lamb waves and bulk transverse waves. It is shown the presence of stress-corrosion cracks leads to a significant increase in attenuation of elastic waves. It is established that attenuation of transverse waves is highly dependent on the direction of transverse waves' polarization with respect to preferred orientation of cracks. The dependences of the frequency-dependent attenuation of the number of stress-corrosion cracks on the metal surface of the under a protective coating were adduced.

*Key words:* stress-corrosion damage, Lamb waves, transverse waves, frequency-dependent attenuation.

Одним из самых опасных видов разрушения магистральных газопроводов является коррозионное растрескивание под напряжением (КРН). КРН развивается под воздействием трех факторов: коррозионной среды, металлургической неоднородности металла трубы и растягивающих напряжений [1].

Наличие стресс-коррозионных повреждений должно приводить к изменению частотно-зависимого затухания упругих волн из-за рассеяния на сети трещин.

В последнее время все большее распространение получает бесконтактный метод ввода и приема ультразвука с использованием электромагнитно-акустических преобразователей (ЭМА). Метод позволяет вводить упругие колебания через защитные слои пластика, краски и другие покрытия, а также через поверхности, подверженные коррозии. Это делает метод удобным для промышленного использования.

В настоящей работе проводилось исследование стресс-коррозионной поврежденности материала с помощью упругих волн Лэмба и поперечных объемных упругих волн.

Исследуемый объект представлял собой элемент бывшей в эксплуатации трубы магистрального трубопровода (сталь 09Г2С). Размеры 480×470×13 мм. На поверхности были выбраны участки с различным уровнем стресс-коррозионной поврежденности. На участке 1 трещины отсутствовали. На участках 2 и 3 количество трещин на единицу площади поверхности равно  $2.28 \times 10^4 \text{ м}^{-2}$  и  $3.28 \times 10^4 \text{ м}^{-2}$  соответственно (рис. 1). Средняя глубина трещин – 2 мм, средняя длина – 6 мм. Трещины имели преимущественную ориентацию вдоль образующей трубы.

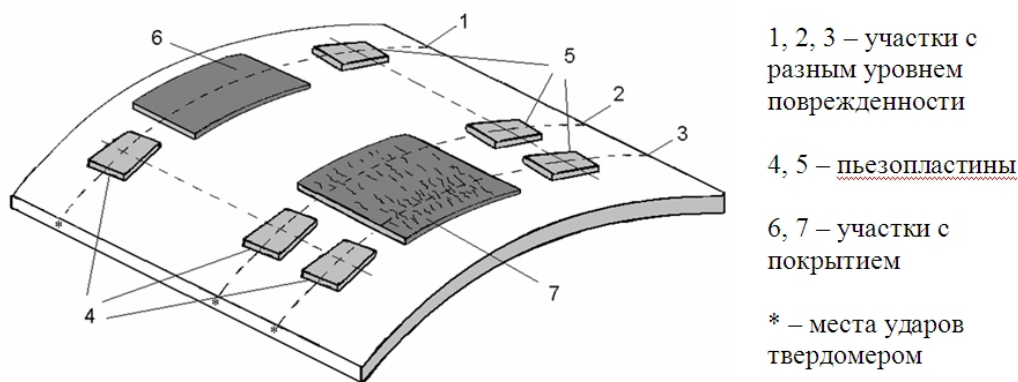


Рис. 1. Схема объекта исследований

Исследования проводились после нанесения мастичного покрытия “Транскор-Газ” на участки предварительно грунтованной поверхности (рис.1). Толщина покрытия – около 6 мм. На рис. 1 участки с нанесенным покрытием обозначены цифрами 6 и 7. Участок 6 имеет размеры 160×80 мм, участок 7 имеет размеры 130×160 мм.

В первом эксперименте колебания возбуждались посредством слабодемпфированных пьезопластин. Размеры пластин – 20×20×2 мм. Пластины крепились к поверхности исследуемого материала с помощью эпоксидного клея. Места расположения пластин показаны на рис. 1: датчики-излучатели располагались в областях, обозначенных цифрой 4, а датчики-приемники – цифрой 5. Длительность импульсов составляла около 50 мкс. Испытания проводились при комнатной температуре. Амплитудно-временную диаграмму колебаний получали в цифровом виде.

Во втором эксперименте использовалось ударное возбуждение импульса с помощью переносного твердомера ТЕМП 3, обеспечивающего нормированную силу удара. Места ударов твердомера показаны на рис. 1 звездочками. Возбуждаемые колебания принимались пьезокерамическими пластинами.

В третьем эксперименте изучали влияние стресс-коррозионной поврежденности на частотно-зависимое затухание объемных поперечных волн.

Исследовались три участка с разным количеством трещин на единицу площади поверхности. Эти участки были покрыты слоем полистирола толщиной 0.8 мм.

В качестве излучающего и принимающего устройства поперечных волн использовался ЭМА толщиномер А1270 с преобразователем Е73921. С выхода толщиномера электрический сигнал поступал на ЭМА преобразователь, который через защитный слой возбуждал в исследуемом материале поперечные волны линейной поляризации. Центральная частота преобразователя около 3 МГц. Ширина импульсов 0.55 мкс. Отраженные от обратной поверхности материала ультразвуковые сигналы поступали на цифровой осциллограф ЛА-н10USB с частотой дискретизации 100 МГц. Амплитудно-временная диаграмма сигнала в цифровом виде поступала на ПК. Для устранения шумов осциллограф включали в режиме накопления сигналов (число реализаций – 100).

С помощью выражения определяли частотно-зависимое затухание:

$$\alpha(\omega) = \frac{1}{L} \ln \frac{A_{\text{ex}}(\omega)}{A_{\text{вых}}(\omega)}, \quad (1)$$

где  $A_{\text{ex}}(\omega)$  – амплитуда спектральной составляющей сигнала на частоте  $\omega$  в точке излучения,  $A_{\text{вых}}(\omega)$  – амплитуда спектральной составляющей сигнала на частоте  $\omega$  в точке приема,  $L$  – расстояние, проходимое волной. Точность измерения затухания не хуже 0.4 Нп/м. Величина затухания оценивалась без дифракционных поправок. Спектральные характеристики получали посредством Фурье-преобразования.

На рис. 2 представлена фотография поврежденного участка поверхности объекта.

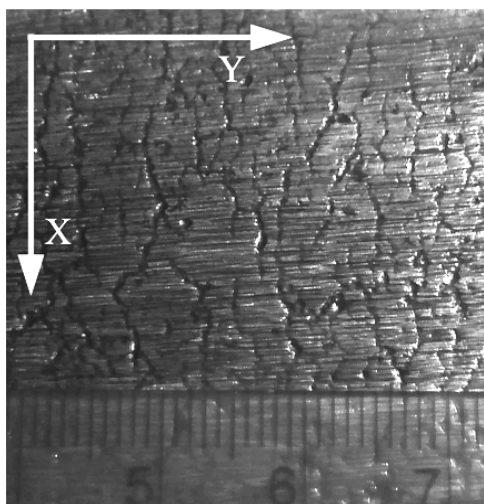


Рис. 2. Стресс-коррозионные трещины на поверхности объекта

На рис. 3а приведены графики частотно-зависимого затухания волн Лэмба, возбужденных посредством пьезокерамической пластины, на участках объекта с разным уровнем поврежденности. Увеличение уровня поврежденности приводит к существенному росту затухания упругих волн. Для диагностирования поврежденности на протяженных участках необходимо вводить сигналы с высокой амплитудой. На рис. 3б показано затухание, измеренное при ударном возбуждении колебаний с помощью переносного твердомера ТЕМП 3, обеспечивающего нормированную силу удара.

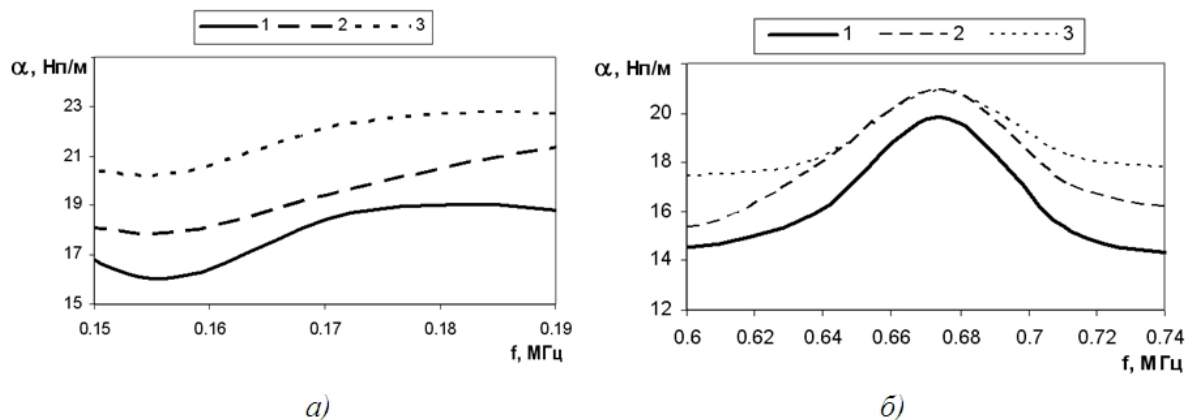


Рис. 3. Зависимости затухания волн Лэмба от частоты: а – возбуждение с помощью пьезопластины, б – ударное возбуждение с помощью твердомера

На рис. 4 представлены результаты измерений частотно-зависимого затухания поперечных объемных волн. На участке с наибольшим количеством трещин затухание максимально, что связано с увеличением рассеяния упругих волн на сети стресс-коррозионных трещин.

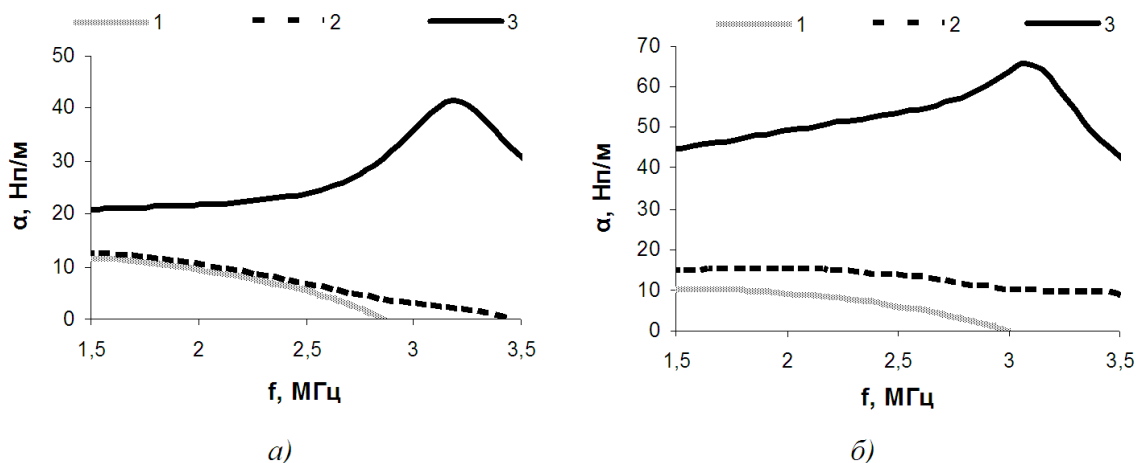


Рис. 4. Затухание поперечных упругих волн: а – поляризация вдоль  $Ox$ , б – поляризация вдоль  $Oy$ . Количество трещин на единицу площади поверхности: 1 – 0, 2 –  $3.77 \times 10^4 \text{ м}^{-2}$ , 3 –  $4.71 \times 10^4 \text{ м}^{-2}$

Величины затухания в зоне, где нет стресс-коррозионных трещин, практически не зависят от направления поляризации. На поврежденном участке затухание существенно выше при поляризации упругих волн вдоль оси  $Oy$ , чем при поляризации вдоль оси  $Ox$ . Это связано с преимущественной ориентацией стресс-коррозионных трещин вдоль образующей трубы (см. рис. 2). Увеличение затухания при изменении поляризации может быть использовано для выявления стресс-коррозионных трещин под покрытием.

## Заключение

Исследование показало существенное влияние стресс-коррозионной поврежденности на частотно-зависимое затухание волн Лэмба.

Исследование также показало, что затухание поперечных волн в значительной степени зависит от направления поляризации волн относительно преимущественной ориентации трещин.

Изменение величины затухания при смене направления поляризации может быть использовано для выявления стресс-коррозионных трещин. Использование ЭМА преобразователей может позволить по данным акустических измерений определить стресс-коррозионную поврежденность под покрытием.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты 09-08-00892-а, 09-08-00827-а).

## Литература

1. Савеня А.А., Савеня С.Н. Пути снижения стресс-коррозионной повреждаемости действующих газопроводов // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Политематическая сер. – 2007. – Вып. 2(3). – ISSN 1994-0351.  
URL: [www.vestnik.vgasu.ru](http://www.vestnik.vgasu.ru).

*Поступила: 18.10.11.*