

УДК 620.179.16

*М. Ю. Соков*¹, аспирант
*Н. Ю. Елькин*¹, *К. А. Владимиров*¹, магистранты
О. В. Муравьева^{1,2}, д-р техн. наук, проф.

E-mail: pmkk@istu.ru

¹ Ижевский государственный технический университет имени

М. Т. Калашникова

² ФГБУН «УдмФИЦ УрО РАН», г. Ижевск

Спектральный метод контроля трубной резьбы с использованием электромагнитно-акустического преобразователя

В статье исследована возможность обнаружения дефектов в резьбе наконечников труб. Исследования выполнены на наконечниках труб с резьбой, которые имеют дефект профиля резьбы – треугольник сечения зуба резьбы не симметричен (сточен). Также показана зависимость коэффициента выявляемости дефекта от частоты зондирующего импульса сигнала.

Ключевые слова: электромагнитно-акустический преобразователь, зондирующий импульс, зеркально-теневой метод, резьба, дефект, коэффициент выявляемости.

Введение

Трудность обнаружения дефектов в сложном профиле трубной резьбы, разнообразие материалов и типоразмеров деталей существенно затрудняют универсализацию методов неразрушающего контроля (НК). Среди известных методов НК резьбы следует отметить вихретоковый и магнитопорошковый, обеспечивающие достаточно высокую чувствительность [1–4]. Использование акустического зеркально-теневого метода на многократных отражениях [5–6] позволяет существенно снизить трудоемкость контроля, а также уменьшить ограничения минимальных размеров контролируемой резьбы, связанные с размерами измерительного преобразователя.

Цель работы: исследование возможностей обнаружения дефектов в трубной резьбе зеркально-теневым методом на многократных отражениях с использованием спектрального метода анализа сигналов.

Используемые подходы

Исследования возможности обнаружения дефектов в резьбовом наконечнике трубы осуществляется с помощью экспериментальной установки, позволяющей реализовать акустический зеркально-теневого метод контроля многократных отражений. Разработка специализированного проходного электромагнитно-акустического преобразователя (ЭМАП) для контроля деталей с резьбой, анализ создаваемого им магнитного поля и поля вихревых токов и предварительная оценка их эффективности выполнены ранее [7–9].

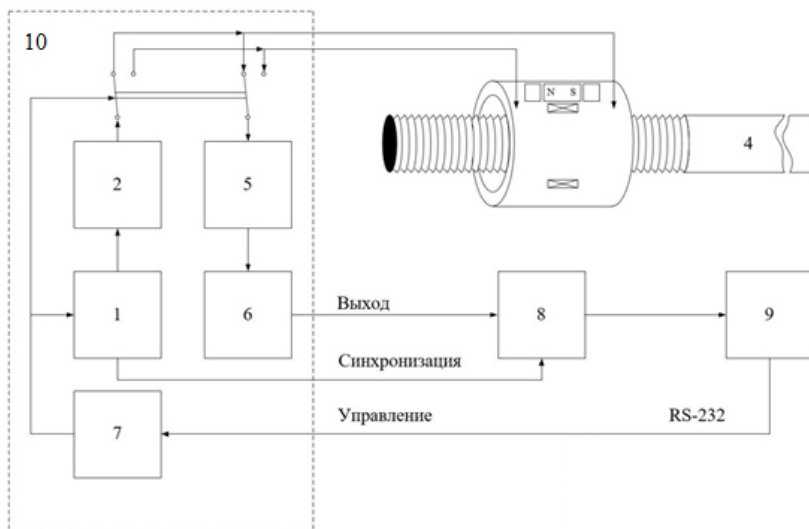


Рис. 1. Структурная схема экспериментальной установки для проведения контроля резьбовых наконечников труб:

- 1 – генератор синхроимпульсов; 2 – генератор зондирующих импульсов;
- 3 – проходной ЭМАП; 4 – исследуемый образец с резьбой; 5 – полосовой фильтр; 6 – высокочастотный усилитель; 7 – плата управления с установкой;
- 8 – аналого-цифровой преобразователь (АЦП); 9 – персональный компьютер (ПК);
- 10 – дефектоскоп ДЭМА-П

Структурная схема экспериментальной установки, реализующей метод, представлена на рис. 1. Установка работает следующим образом: с генератора 2 подается зондирующий импульс (ЗИ) на специализированный проходной ЭМА-преобразователь 3, навинчиваемый на участок трубы с резьбой. Переотраженная по толщине стенки трубы с резьбой

УЗ-волна регистрируются тем же проходным преобразователем, преобразующим принятые акустические колебания в электрические импульсы, которые через фильтр 5 и усилитель 6 поступают на плату АЦП 8. Далее данные с АЦП передаются на ПК 9 для их дальнейшей обработки.

Для экспериментальных исследований изготовлены образцы из трубы М 32 x 2,5 ГОСТ 3262-75 из стали 20 с резьбой по ГОСТ 6357-73. Геометрические параметры объектов контроля: диаметр – 32 мм, длина резьбы – 40 мм, шаг резьбы – 2,5 мм, высота профиля резьбы – 1 мм. На одном из образцов был создан искусственный дефект – несимметричный треугольник сечения зуба резьбы.

Результаты и обсуждение

Исследования проводились на дефектных и бездефектных образцах при различной частоте зондирующего импульса (ЗИ) 1 МГц, 1,3 МГц, 1,5 МГц и 2,2 МГц.

Вид осциллограмм принятого сигнала на дефектной и бездефектной резьбе представлен на рис. 2 и 3, соответственно.

Спектр принятых сигналов анализировался в специализированной программе WinПОС Professional. В качестве примера на рис. 4 приведены спектры акустического сигнала дефектного и бездефектного участков резьбы при частоте зондирующего импульса 1 МГц в линейном и логарифмическом масштабах.

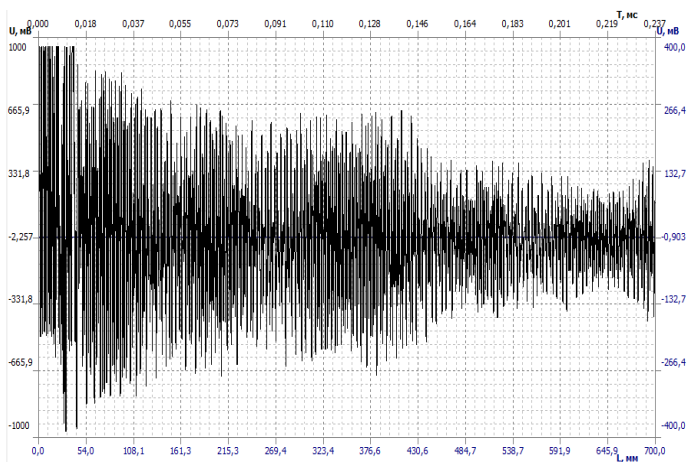


Рис. 2. Вид осциллограмм принятого сигнала на бездефектном участке резьбы

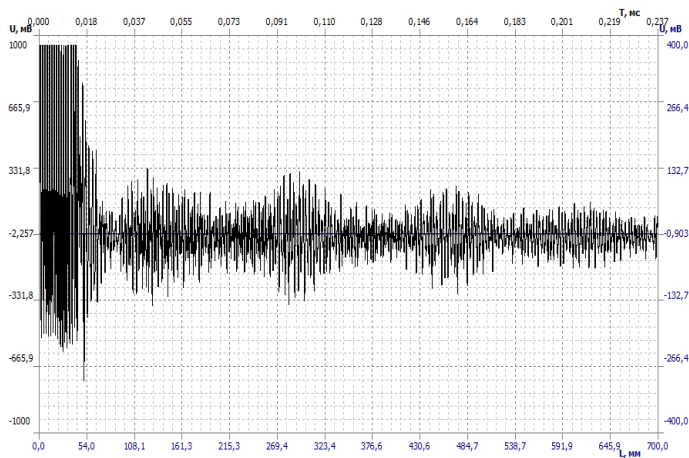


Рис. 3. Вид оциллограмм принятого сигнала на дефектном участке резьбы

Вне зависимости от частоты зондирующего импульса в спектре акустического сигнала присутствуют пять основных составляющих: 0,8 МГц, 1 МГц, 1,2 МГц, 1,3 МГц и 1,7 МГц различных амплитуд. При этом наблюдается смещение максимума спектральной составляющей в сторону более низких частот даже при увеличении резонансной частоты зондирующего импульса.

Наблюдается также уменьшение отдельных спектральных составляющих для дефектного участка резьбы относительно бездефектного. В частности, для зондирующего импульса с частотой 1 МГц спектральная составляющая сигнала на 0,8 МГц ослабляется на 6 дБ, 1 МГц – на 12 дБ, 1,3 МГц – на 6 дБ, 1,7 МГц – на 22 дБ.

В качестве информативного параметра зеркально-теневого метода введем понятие спектрального коэффициента выявляемости.

При контроле резьбы зеркально-теневым методом с использованием многократных отражений коэффициент выявляемости находится как отношение основных составляющих спектра при наличии дефекта и в отсутствии дефекта:

$$K_B = \frac{U_D}{U_0}, \quad (1)$$

где U_D – амплитуда спектральной составляющей сигнала при наличии дефекта; U_0 – амплитуда спектральной составляющей в отсутствие дефекта.

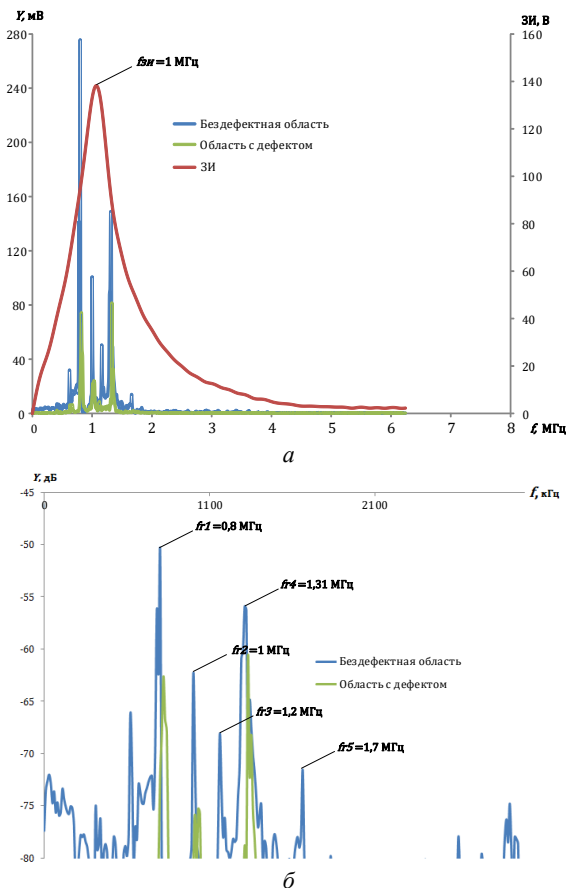


Рис. 4. Спектр акустического сигнала дефектного и бездефектного участков резьбы при частоте зондирующего импульса 1 МГц в линейном (а) и логарифмическом (б) масштабах

На рис. 5 приведены зависимости коэффициента выявляемости от частоты зондирующего импульса для различных спектральных составляющих.

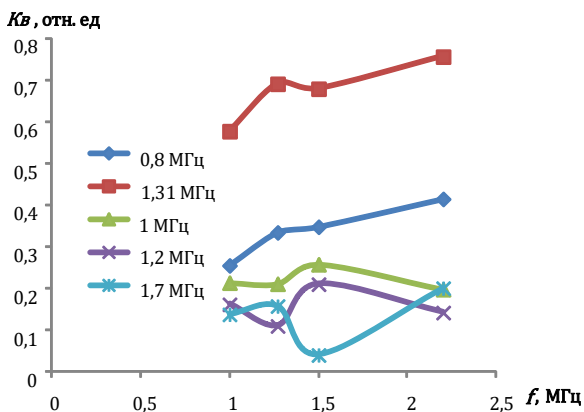


Рис. 5. Зависимости коэффициента выявляемости от частоты ЗИ для пяти основных составляющих спектра акустического сигнала

На основании полученных зависимостей наиболее оптимальной частотой ЗИ для контроля данной резьбы является частота 1 МГц, позволяющая получить максимальное ослабление основных составляющих сигнала на дефектном образце. При этом повышение частоты ЗИ выше 2 МГц позволяет также использовать высокочастотные составляющие сигнала в качестве дополнительных параметров контроля. Для выявления дефектов наиболее информативными являются составляющие спектра 1,2 МГц и 1,7 МГц. Составляющая 1,7 МГц в большей степени ослабляется дефектной резьбой при частоте ЗИ 1,5 МГц.

Выводы

Таким образом, в работе показана возможность контроля наружной резьбы труб акустическим зеркально-теневым методом с использованием многократных отражений спектральным методом с определением коэффициента выявляемости на отдельных спектральных составляющих сигнала.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации (проект № 1.2405.2017/4.6) с использованием УНУ «Информационно-измерительный комплекс для исследований акустических свойств материалов и изделий» (рег. номер: 586308).

Список литературы

1. Структуроскопия изделий из полимерных материалов с помощью анализа мгновенного спектра ультразвуковых сигналов / В. К. Качанов, И. В. Соколов, В. В. Первушин, Д. В. Тимофеев // Дефектоскопия. – 2019. – № 6. – С. 3–10.
2. Бесконтактный спектральный экспресс-способ обнаружения коррозионных повреждений металлоизделий / Г. М. Сучков, Р. П. Мигушенко, О. Ю. Кропачек, С. Ю. Плесенцов, З. В. Билык, Ю. Е. Хорошайло, С. А. Ефименко, Б. Салам // Дефектоскопия. – 2020. – № 1. – С. 14–21.
3. *Бабкин, С. Э.* Определение скорости основных типов акустических волн в металлах приставным датчиком / С. Э. Бабкин // Дефектоскопия. – 2020. – № 4. – С. 32–39.
4. *Муравьев, В. В.* Неразрушающий контроль внутренних напряжений в рельсах при изготовлении с использованием метода акустоупругости / В. В. Муравьев, К. А. Тапков, С. В. Ленков // Дефектоскопия. – 2019. – № 1. – С. 10–16.
5. *Муравьев, В. В.* Оценка накопленной поврежденности шеек осей колесных пар вагонов ультразвуковым методом с использованием рэлеевских и головных волн / В. В. Муравьев, Л. В. Гущина, С. В. Казанцев // Дефектоскопия. – 2019. – № 10. – С. 14–23.
6. Акустическая структуроскопия стальных образцов, нагруженных изгибом с вращением при испытаниях на усталость / В. В. Муравьев, О. В. Муравьева, А. Ю. Будрин, М. А. Синцов, А. В. Зорин // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. – 2019. – Т. 22, № 1. – С. 37–44.
7. *Петров, К. В.* Влияние конструктивных особенностей проходного электромагнитно-акустического преобразователя на результаты контроля цилиндрических объектов / К. В. Петров, М. Ю. Соков, О. В. Муравьева // Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2018. – № 2. – С. 135–146.
8. *Муравьева, О. В.* Формирование акустического поля проходного преобразователя в деталях с резьбой / О. В. Муравьева, М. Ю. Соков, Ю. В. Мышкин // Интеллектуальные системы в производстве. – 2018. – № 4. – С. 45–56.
9. *Булдакова, И. В.* Распределение напряжений в образцах труб магистральных газопроводов со сварным соединением / И. В. Булдакова, Л. В. Волкова, В. В. Муравьев // Интеллектуальные системы в производстве. – 2020. – Т. 18, № 1. – С. 4–8.

M. Y. Sokov¹, postgraduate
N. Y. Elkin¹, K. A. Vladimirov¹, magister student
O. V. Muravieva^{1,2}, DSc in engineering, professor
E-mail: pmkk@istu.ru

¹Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russian Federation

²Udmurt Federal Research Center UB RAS, Izhevsk, Russian Federation

Spectral Method for Testing the Pipe Threads Using an Electromagnetic-Acoustic Transducer

The article explores the possibility of detecting defects in pipes. The studies were carried out on a pipe with a thread, in which there is a defect - the triangle of the thread tooth is not symmetrical (worn out), inconsistency with the thread profile. The dependence of the defect detection coefficient on the frequency of the probing signal pulse is shown.

Keywords: electromagnetic-acoustic transducer, probing pulse, mirror-shadow method, thread, defect, detection rate.