

ВОЗМОЖНОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНО-АКУСТИЧЕСКОГО МЕТОДА МНОГОКРАТНОЙ ТЕНИ ПРИ КОНТРОЛЕ РЕЗЬБЫ НАСОСНЫХ ШТАНГ

© 2023 г. О.В. Муравьева^{1,2,*}, П.Н. Пушин¹, К.А. Торхов¹

¹ *Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, Россия 426069 Ижевск, ул. Студенческая, 7*

² *Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН, Россия 426067 Ижевск, ул. Т. Барамзиной, 34
E-mail: *pmkk@istu.ru*

Поступила в редакцию 25.05.2023; после доработки 02.06.2023
Принята к публикации 02.06.2023

Исследована возможность обнаружения дефектов в резьбе насосных штанг методом многократной тени. Для реализации метода использован специализированный электромагнитно-акустический преобразователь, навинчиваемый на исследуемую резьбу. Предложенный подход основан на спектральном методе обработки сигналов и анализе влияния дефекта на формирование отдельных составляющих в спектре сигнала, обусловленных наличием резонансных свойств резьбы.

Ключевые слова: резьба насосных штанг, электромагнитно-акустический преобразователь, метод многократной тени, спектр.

THE POSSIBILITIES OF THE ELECTROMAGNETIC-ACOUSTIC MULTIPLE SHADOW METHOD WHEN TESTING THE THREADS OF PUMP RODS

© 2023 O.V. Muraveva^{1,2,*}, P.N. Pushin¹, K.A. Torkhov¹

¹ *Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Studencheskaya, 7, Izhevsk, 426069 Russia,*

² *Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, T. Baramzina. str., 34, Izhevsk, 426067, Russia
E-mail: olgak166@mail.ru

The possibility of detecting defects in the threads of pump rods by the multiple shadow method has been investigated. A specialized electromagnetic-acoustic transducer screwed onto the tested thread was used to implement the method. The proposed approach is based on the spectral method of signal processing and the analysis of the defect influence on the formation of the separate components in the signal spectrum caused by the presence of resonance properties of the thread.

Keywords: pump rod threads, electromagnetic-acoustic transducer, multiple shadow method, spectrum.

DOI: 10.31857/S0130308223090075, EDN: ECRKER

ВВЕДЕНИЕ

Резьбовые соединения являются одним из самых уязвимых мест при высоких эксплуатационных нагрузках насосных штанг, что требует применения методов неразрушающего контроля. Большинство нормативных документов предписывают применение магнитопорошкового и ультразвукового методов неразрушающего контроля (НК) резьбы [1]. Известно успешное использование при контроле резьбы методов и средств вихретокового контроля [2]. Большинство указанных методов сложно реализуемо для контроля резьбы на деталях малого диаметра ввиду необходимости создания малогабаритных преобразователей и наличия мешающих факторов. Разработанный зеркально-теневого метод на многократных отражениях (метод многократной тени), реализованный с использованием проходных электромагнитно-акустических (ЭМА) преобразователей, обеспечивающих излучение—прием поперечных волн во всех радиальных направлениях в поперечном сечении объекта, успешно используется при дефектоскопии, структуроскопии, оценке напряженно-деформированного состояния цилиндрических объектов [3].

Цель работы: исследование возможностей обнаружения дефектов в резьбе насосных штанг методом многократной тени с использованием спектрального метода обработки сигналов.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены с помощью экспериментальной установки, представленной в [3]. Специализированный ЭМА преобразователь навинчивается на исследуемую резьбу и содержит систему подмагничивания и высокочастотный индуктор, витки которого позиционированы строго над зубьями резьбы с целью формирования акустического поля каждым зубом. Исследования проведены на насосной штанге диаметром рабочей части 22 мм с метрической резьбой диаметром 30 мм, шагом резьбы 2,25 мм, длиной резьбы 38 мм. В качестве моделей трещин по внутреннему витку резьбы нанесены поперечные пропилы глубиной 1 мм с различной угловой мерой (с шагом 90 град) с использованием токарного станка с абразивным диском диаметром 22 мм, толщиной 0,25 мм. Для спектральной обработки использован пакет постэкспериментальной обработки измерительной информации «WinПОС».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Акустическое поле, формируемое витками резьбы (рис. 1а), приводит к возникновению фронта волны с фокусировкой по центру [4]. Волна, многократно прошедшая по диаметральному направлениям области с резьбой, формирует серию импульсов (рис. 1б).

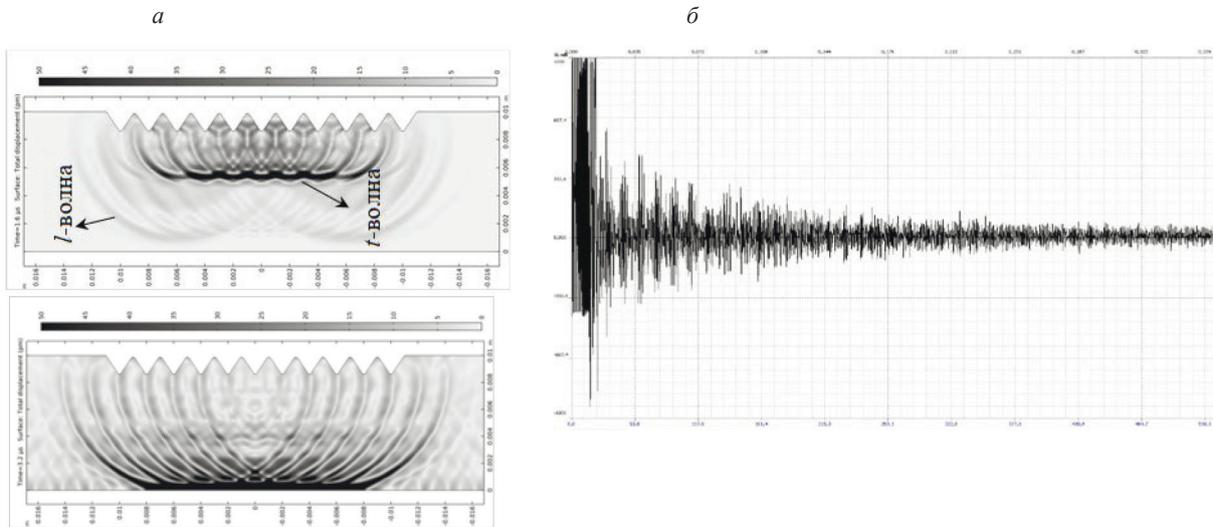


Рис.1. Результат моделирования акустического поля в плоскости поперечного сечения образца с резьбой в различные моменты времени (0,18 мкс и 0,71 мкс) (а), осциллограмма при контроле резьбы (б).

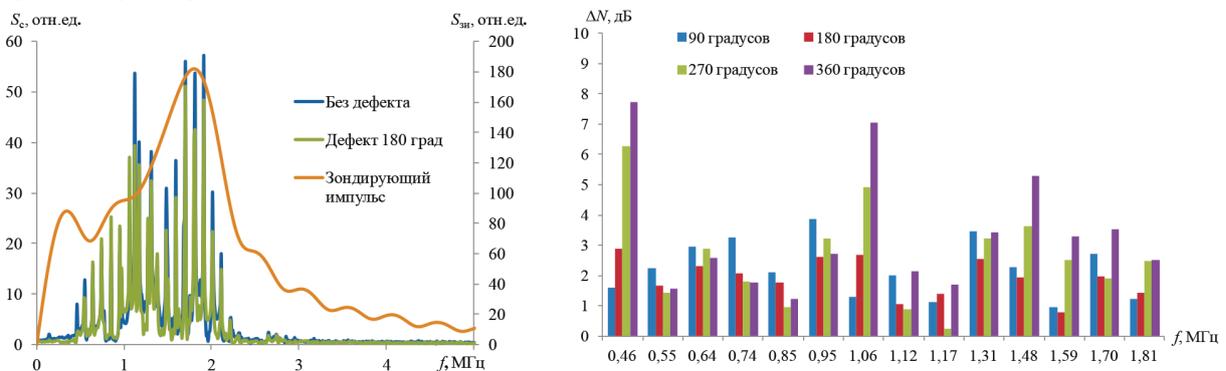


Рис. 2. Спектральные плотности зондирующего импульса и серии переотражений для бездефектной и дефектной резьбы.

Спектр зондирующего импульса и спектр зарегистрированного сигнала представляет рис. 2. Отметим, что спектр зондирующего импульса с выраженной резонансной частотой (1,8 МГц) радикально отличается от частотного спектра сигнала, многократно прошедшего через участок резьбы с множеством гармонических составляющих, что обусловлено влиянием на частотный спектр резонансных свойств резьбы, геометрия которой соизмерима с длинами волн в спектре колебания. Наличие в резьбе дефекта (поперечного пропила) изменяет резонансные свойства резьбы, что приводит к снижению амплитуд отдельных составляющих в спектре сигнала.

Введем понятие чувствительности отдельных спектральных составляющих к дефекту $\Delta N(f_i)$, как разницу в амплитуде спектральной составляющей i -й гармоники при отсутствии дефекта $S_C(f_i)$ и при его наличии дефекта $S_{CD}(f_i)$ (рис. 2б):

$$\Delta N(f_i) = S_C(f_i) - S_{CD}(f_i).$$

Из рис. 2б следует, что наилучшей чувствительностью к дефектам обладают спектральные составляющие на 0,46 и 1,06 МГц, где наблюдается достаточно крутая зависимость от угловой меры дефекта. Следует отметить, что чувствительность к дефектам отличается в зависимости от частоты зондирующего импульса.

ВЫВОДЫ

Предложенный в статье подход к контролю резьбы ЭМА-методом многократной тени, основанный на анализе отдельных составляющих в спектре сигнала, позволяет обосновать выбор оптимальной частоты зондирующего импульса и спектральных составляющих сигнала для резьбы данной геометрии для достижения наибольшей чувствительности к дефектам. К преимуществам предлагаемого метода следует отнести возможность выявления не только дефектов резьбы, но и внутренних дефектов (под резьбой), а также возможность реализации контроля без иммерсионной жидкости и дополнительной подготовки поверхности.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-19-00252, <https://rscf.ru/project/22-19-00252/> с использованием УНУ «Информационно-измерительный комплекс для исследований акустических свойств материалов и изделий» (рег. номер: 586308).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобров А.Л., Бехер С.А., Шляхтенков С.П. Анализ эффективности методов неразрушающего контроля резьбовой части бурильных труб // Южно-Сибирский научный вестник. 2022. № 3 (43). С. 10—15. DOI 10.25699/SSSB.2022.43.3.012
2. Сясько В.А., Соломенчук П.В., Коротеев М.Ю. Вихретоковый неразрушающий контроль резьбы насосно-компрессорных труб // Контроль. Диагностика. 2012. № 10. С. 17—22.
3. Муравьева О.В., Муравьев В.В., Петров К.В. Неразрушающий контроль цилиндрических изделий с использованием проходных электромагнитно-акустических преобразователей. Ижевск: Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, 2022. 220 с. ISBN 978-5-7526-0956-5.
4. Муравьева О.В., Соков М.Ю., Мышкин Ю.В. Формирование акустического поля проходного преобразователя в деталях с резьбой // Интеллектуальные системы в производстве. 2018. Т. 16. № 4. С. 45—56. DOI 10.22213/2410-9304-2018-4-45-56