

УДК 539.3

© Борыняк Л.А., Мирсияпов М.Р., Петров Н.Ю., 2018

РАЗВИТИЕ МЕТОДА ВИБРОМЕТРИИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ БРОНЕПЛИТОКБорыняк Л.А.^{а, 1}, Мирсияпов М.Р.^{а, 2}, Петров Н.Ю.^{а, 3}^а Кафедра общей физики, ФБГОУ ВПО Новосибирский Государственный Технический Университет, 630073, г. Новосибирск, Россия.

Рассмотрена виброметрия классической задачи о колебаниях пластины с разными граничными условиями с целью разработки экспресс метода диагностики бронеплиток для обнаружения бракованных изделий. Выполнен анализ собственных форм колебаний бронеплиток регистрируемых методом спекл-интерферометрии и возбуждаемых различными способами механических воздействий. Разработаны алгоритмы обработки сигналов виброметрии для установления соотношений между параметрами корундовой керамики, геометрией бронеплитки и формой возбуждающего сигнала. Проведено сопоставление результатов экспериментов осуществленных различными способами виброконтроля.

Ключевые слова: виброметрия, диагностика брака, спекл, спекл-интерферометрия.

DEVELOPMENT OF THE METHOD OF VIBROMETRY FOR THE DIAGNOSIS OF ARMORED PLATESBorinyak L.A.^{а, 1}, Mirsiyapov M.R.^{а, 2}, Petrov N.Yu.^{а, 3}^а Department of General Physics, Novosibirsk State Technical University, 630073, Novosibirsk, Russia.

Vibrometry of the classical problem of oscillations of a plate with different boundary conditions is considered with the aim of developing an express method for diagnosing bronze plates for detecting defective products. The analysis of the intrinsic vibration patterns of armored plates registered by speckle-interferometry and mechanical influences excited by various methods is performed. Algorithms for processing vibration signals for establishing the relationships between the parameters of corundum ceramics, the geometry of the armored plate and the shape of the exciting signal are developed. The results of experiments carried out by various methods of vibration control are compared.

Keywords: vibrometry, diagnostics of marriage, speckle, speckle-interferometry.

PACS: 04.50.Kd

DOI: 10.17238/issn2226-8812.2018.1.92-97

Введение

Организация работ по разработке мероприятий, направленных на повышение качества выпуска продукции показывают, что внедрение средств диагностирования являются одним из важнейших факторов решения данной проблемы. Это в полной мере касается и диагностики бронеплиток используемых в качестве броневой защиты техники вооружение и элементов бронезилов для защиты жизни человека. Термин диагностика (от греческого *diagnostikos*) распознавание, определение. Современное назначение диагностики – выявление отклонений параметров исследуемого объекта от нормативного значения и принятия решения об отделении брака от годных изделий. В

¹E-mail: borynyak@corp.nstu.ru²E-mail: marisholms@yandex.ru³E-mail: petrov@corp.nstu.ru

зависимости от физики явлений, положенных в основу диагностики, различают: радиационный, радиоволновый, электрический, вихрековый, магнитный, тепловой, акустический, оптический метод. В данной работе представлены результаты исследований образцов бронеплиток размером $(60 \times 58 \times 9) \cdot 10^{-3}$ м изготовленных на основе α - Al_2O_3 заводом «НЭВЗ-керамикс» г. Новосибирск методом спекл-интерферометрии при возбуждении в корундовой керамики вибраций от механического вибратора либо от пьезоэлемента. Установление связи между характером свободных колебаний бронеплиток зарегистрированных методом спекл-интерферометрии и возможностью использования данной интегральной характеристикой зависящей от свойств материала и геометрии объекта для обнаружения бракованных изделий является основной целью данной работы. Для достижения этой цели решались следующие задачи:

1. Осуществить анализ собственных форм колебаний бронеплиток годных и бракованных бронеплиток.
2. Разработать алгоритм обработки сигналов виброметрии.
3. Осуществить тестирование метода посредством сопоставления результатов экспериментов проведенных различными способами виброконтроля.

Для решения поставленных задач установлена связь временных сигналов виброметрии с параметрами временных сигналов виброметрии годных и бракованных бронеплиток и заготовленных заводом «НЭВЗ-Керамикс».

Результаты работы показывают, что цель достигнута и заявленные задачи решены.

1. Эксперименты по виброметрии бронеплиток

Для обеспеченности эффективности метода вибрационной диагностики при её практическом использовании важно избежать принятия ложного решения. В условиях отсутствия полной информации о связи данных виброметрии с параметрами корундовой керамики эту информацию необходимо дополнить другим методом контроля, например, регистрацией затухания упругих колебаний. Так как при вибродиагностики обязательно учитывается характер взаимодействия физических полей с контролируемым объектом, диапазон частот и амплитуду измеряемых колебаний, то необходимо осуществить анализ экспериментов по виду упругих колебаний пластин со свободными краями геометрически подобных по форме бронеплите.

1.1. Фигуры Хладни

Впервые экспериментально изгибные колебания упругих прямоугольных пластин со свободными краями продемонстрировал Хладни в 1802 году о чем сообщил в классическом трактате по акустике [1]. Классическая задача о колебаниях тонких изотропных прямоугольных пластин со свободными краями впервые решена Ритцем [2] вариационным методом. Экспериментально Хладни демонстрировал изгибные колебания в Париже с помощью песочных фигур возбуждаемых смычком на квадратной пластине. Данный эксперимент в настоящее время демонстрируется школьникам и студентам в некоторой модернизации связанной со способом возбуждения колебаний и с набором исследуемых пластин. На рис. 1 представлены примеры простых фигур Хладни полученных экспериментально и расчетным методом.

1.2. Тестовые эксперименты

Для исследования механизмов деформации материала корундовой керамики поставлен эксперимент с регистрацией виброперемещений поверхности бронеплитки с различными видами её закреплений на ложементе действующего макета установки. Крепление осуществлялось как по всему контуру бронеплитки так и по ее углам через силиконовые прокладки. Колебания возбуждаются

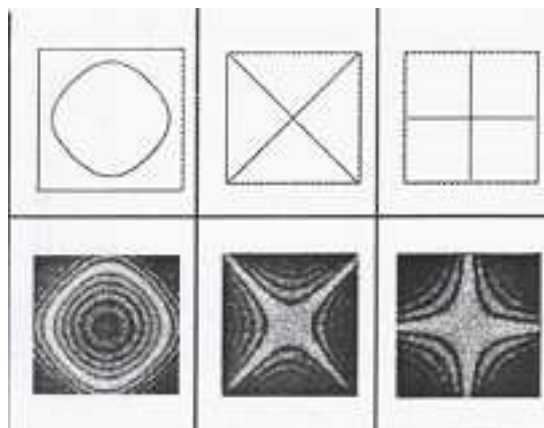


Рис. 1. Фигуры Хладни верху расчетные, внизу экспериментальные

механическим вибратором либо пьезоэлементом с одной стороны бронеплитки. На них подается электрический возбуждающий сигнал от генератора звуковой частоты. Прошедший сигнал регистрируется пьезоэлементом с другой стороны бронеплитки и подается на осциллограф. На рис.2. представлен прошедший через бронеплитку единичный тестовый амплитудно-модулированный сигнал в форме эволюции затухания упругих волн возбужденных одиночным импульсом. Форма прошедшего сигнала подобна форме эволюции затухания упругих волн возбужденных одиночным ударом стального шарика по центру бронеплитки с одной стороны и зарегистрированного пьезоэлементом с другой стороны [3]. Форма зависимости амплитуды сигнала от времени позволяет по разнесению пиков затухающего сигнала определять величину изменения толщины бронеплитки при вибровозбуждении. Данные измерения контролируется посредством возбуждением отдельных спектральных составляющих в спектре от 100 герц до десятков килогерц. Рабочим инструментом тестовых экспериментов являлись методы голографической интерферометрии [4]. Результаты экспериментов убедительно показывают, что решение задачи виброметрии для диагностики бронеплиток целесообразно методом спекл-интерферометрии.

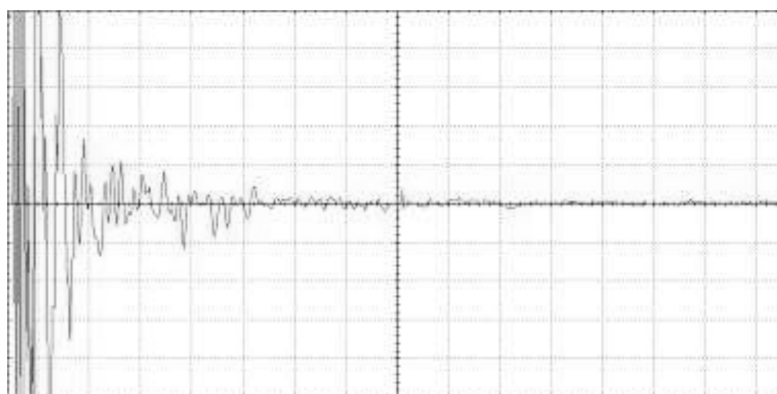


Рис. 2. Сигнал прошедший через бронеплитку и вошедший в нее в форме одиночного прямоугольного импульса

2. Метод спекл-интерферометрии для регистрации перемещений нормальных к деформируемой поверхности

Известно, что освещение объекта лазерном светом сопровождается возникновением пятнистой картины на его диффузной поверхности которую называют «спеклами» [4]. Размер пятна спекла связан с радиусом корреляции микронеровности поверхности объекта. Лазерный свет отраженный

от такого пятна поверхности сохраняет когерентность, интерферирует и формирует пятно-спекл связанное с пятном неровностей диффузной поверхности объекта. Тоже самое происходит и для соседних областей по всей поверхности объекта. Но при переходе от одной площадки с корреляционным размером шероховатости к другой не сохраняется когерентность отраженных волн между соседними площадками, что и приводит к пятнистой картинке наблюдаемой на поверхности объекта освещенного лазерным светом. Если поверхность зеркальная, параметры когерентности сохраняются по всей поверхности зеркала и происходит отражение лазерного излучения по законам геометрической оптики без возникновения спеклов.

2.1. Измерение перемещений традиционным методом спекл-фотографии

Фотографируя дважды картину спеклов для смещенной и неподвижной картины спеклов получают смекл-интерферограмму которую затем методом расшифровки связывают с отдельными компонентами вектора перемещения. В [4] предложен оригинальный метод спекл-интерферограм с введением пространственной несущей формируемой высокочастотными элементами решетки. Это позволило повысить достоверность исследования деформаций на основе спекл-интерферометрии с пространственной несущей.

2.2. Электронная спекл-интерферометрия

Развитие современной цифровой техники регистрирующей изображение на ПЗС-матрице позволяет перейти от обычной фотографической техники в спекл-интерферометрии к электронной спекл-интерферометрии. В литературе встречаются синонимы данного метода – электронная цифровая спекл-интерферометрия и корреляционная спекл-интерферометрия. Суть метода в том, что на ПЗС-матрице (приборе с зарядовой связью) регистрируется спекл структура несмещенного объекта в плоскости изображения. Этот сигнал поступает в электронное запоминающее устройство. Затем после нагружения объекта вторая картина спеклов, связанная с деформированной поверхностью, вычитается из сигнала, записанного в памяти. Суммарный сигнал в дальнейшем подвергается обработке по соответствующим программам и преобразуется в спекл-интерферограмму. В настоящее время этот метод широко используется в диагностике вибрирующих объектов. Основным недостатком этого метода в том, что ПЗС-матрица дает изображения в дискретном виде, что может, при высоких частотах колебаний, снизить достоверность и точность измеряемых перемещений. Но элементная база современных ПЗС-матриц совершенствуется и в настоящее время отличить изображения полученное с помощью обычного фотоаппарата и аппарата с ПЗС-матрицей практически невозможно. Пример Фурье образа виброколебаний зарегистрированных электронной спекл-интерферометрии приведен на рис.3.

3. Метод обработки информации по спекл-интерферограммам

В вибродиагностике исследуются амплитуды и частота измеряемых перемещений. На низких частотах обычно регистрируют виброперемещение - это диапазон от 10 до 1000 Гц, на частотах от 1000 до 2000 Гц рекомендуется исследовать параметры виброскорости, при более высоких частотах параметры виброускорения. В виброметрии в стандартных единицах измерения вибросмещения w , виброскорость v и виброускорение a связаны уравнениями

$$2\pi \cdot f \cdot w; \quad w = \frac{v}{2\pi f}; \quad a = (2\pi f)^2 \cdot w, \quad (1)$$

где f – частота колебаний, и уровень напряжений σ и виброскорость v связаны соотношением

$$\sigma \cdot v \equiv \alpha \cdot w \quad (2)$$

где α – коэффициент, зависящий от свойств материала и геометрических размеров. Амплитуда виброперемещений w характеризует деформацию поверхности. Следовательно, анализ вибрацион-

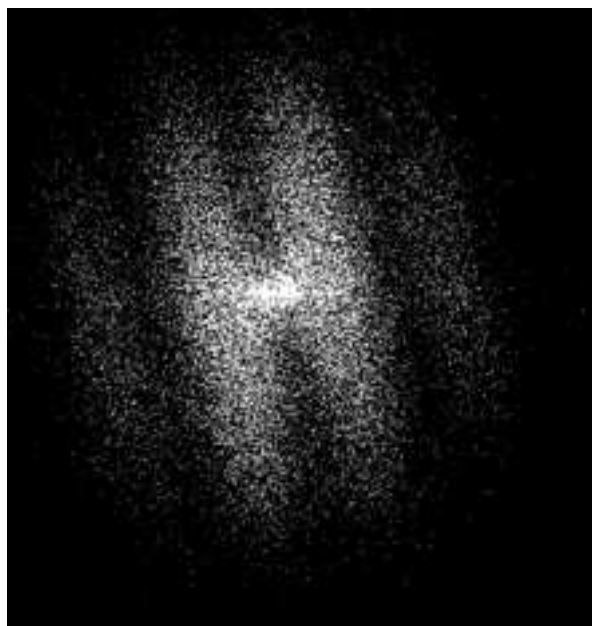


Рис. 3. Пример Фурье образа виброколебаний зарегистрированных электронной спекл-интерферометрией

ного сигнала зарегистрированный методом электронной спекл-интерферометрии несет полезную информацию для диагностики бронеплиток.

3.1. Модификация информации в спекл-интерферометрии

Для повышение точности и достоверности вибродиагностики нами исследовалась одновременная пространственная модуляция спекл-структур на трех длинах волн генерируемых лазерами в красной, зеленой и синей области. Близость частот световых волн при сложении приводит к биениям, что значительно повышает чувствительность измерений и точность определения перемещений в диапазоне от единиц до сотен микрон.

4. Заключение

Проведенные исследования подготовили теоретическую и экспериментальную базу диагностики виброметрии с использованием электронной спекл-интерферометрии. Практическая реализация методики для достижения основной задачи обнаружение бракованных бронеплиток решена. Широкомасштабное внедрение метода требует дальнейших исследований.

Список литературы

1. Chladni E.F.F. Die Akustik. Neue, unveränderte Ausg. Leipzig, Breitkopf und Härtel, 1830. 4°. Mit lithogr. Portr. auf dem Titel und 11 Kupfertafeln. 1 Bl., XXVI, 242 S.
2. Ritz W. Theorie der Transversalschwingungen einer quadratischen Platte mit freien Randern. — Annalen der Physik, 1909, B. 28, N. 4, S. 737-786.
3. Борыняк Л.А., Мирсияпов М.Р. Разработка неразрушающего контроля корундовой керамики на основе эволюции затухания упругих волн // Инновации и инвестиции. 2018. №5. С 112.
4. Борыняк Л.А. Высокочувствительная голографическая интерферометрия при исследовании деформацией ответственных конструкций. Докторская диссертация и автореферат. Специальность 01.04.05. д.ф.-м.н. Новосибирск 1996.

References

1. Chladni E. F. F. Die Akustik. Neue, unveränderte Ausg. Leipzig, Breitkopf und Härtel, 1830. 4°. Mit lithogr. Portr. auf dem Titel und 11 Kupfertafeln. 1 Bl., XXVI, 242 S.
2. Ritz W. Theorie der Transversalschwingungen einer quadratischen Platte mit freien Randern. - Annalen der Physik, 1909, B. 28, N. 4, S. 737-786.
3. Borynyak L.A., Mirsiyapov M.R. Razrabotka nerazrushayushchego kontrolya korundovoy keramiki na osnove evolyutsii zatukhaniya uprugikh voln // Innovatsii i investitsii. 2018, no. 5, p. 112.
4. Borynyak L.A. Vysokochuvstvitel'naya golograficheskaya interferometriya pri issledovanii deformatsiyey otvetstvennykh konstruktsiy. Doktorskaya dissertatsiya i avtoreferat. Spetsial'nost' 01.04.05. d.f.-m.n. Novosibirsk 1996.

Авторы

Борыняк Леонид Александрович, проф., д.ф.-м.н., кафедра общей физики, ФБГОУ ВПО Новосибирский Государственный Технический Университет, проспект Карла-Маркса 20, г. Новосибирск, 630073, Россия.

E-mail: borynyak@corp.nstu.ru

Мирсияпов Марис Рафаэльевич, аспирант, кафедра общей физики, ФБГОУ ВПО Новосибирский Государственный Технический Университет, проспект Карла-Маркса 20, г. Новосибирск, 630073, Россия.

E-mail: marisholms@yandex.ru

Петров Никита Юрьевич, старший преподаватель, кафедра общей физики, ФБГОУ ВПО Новосибирский Государственный Технический Университет, проспект Карла-Маркса 20, г. Новосибирск, 630073, Россия.

E-mail: petrov@corp.nstu.ru

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Борыняк Л.А., Мирсияпов М.Р., Петров Н.Ю. Развитие метода виброметрии для диагностики бронеплиток // Пространство, время и фундаментальные взаимодействия. 2018. № 1. С. 92–97.

Authors

Leonid Alexandrovich Borinyak, Professor, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Department of General Physics, Novosibirsk State Technical University, Karl Marx Avenue 20, Novosibirsk, 630073, Russia.

E-mail: borynyak@corp.nstu.ru

Mirsiyapov Maris Rafaelevich, Postgraduated at the Department of General Physics, Novosibirsk State Technical University, Karl Marx Avenue 20, Novosibirsk, 630073, Russia.

E-mail: marisholms@yandex.ru

Petrov Nikita Yurievich, Senior Teacher, Department of General Physics, Novosibirsk State Technical University, Karl Marx Avenue 20, Novosibirsk, 630073, Russia.

E-mail: petrov@corp.nstu.ru

Please cite this article in English as:

Borinyak L.A., Mirsiyapov M.R., Petrov N.Yu. Development of the method of vibrometry for the diagnosis of armored plates. *Space, Time and Fundamental Interactions*, 2018, no. 1, pp. 92–97.