

ОБНАРУЖЕНИЕ ДЕФЕКТОВ НА ПОВЕРХНОСТИ МАТЕРИАЛОВ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ МЕТОДОМ СФОКУСИРОВАННОГО АКУСТИЧЕСКОГО ПУЧКА*

Н. В. Косицын, В. В. Петров

*Кафедра «Прикладная физика», ФГБОУ ВПО «Саратовский
государственный университет им. Н. Г. Чернышевского»;
ООО «Корпорация «СпектрАкустика»; nikkosizin@yandex.ru*

Ключевые слова: акустический объектив; акустическое поле; дефектоскопия; методы акустической микроскопии и томографии; неразрушающий контроль; реконструкция акустических изображений; эхо-сигнал.

Аннотация: Приведены экспериментальные результаты по получению 3D-акустических изображений дефектов на поверхности пластин из алюминиевых сплавов. Акустические изображения получены с помощью разрабатываемого акустического томографа с двухкоординатной системой сканирования и объективом с центральной частотой в 100 МГц. Показана методика применения сфокусированного ультразвукового пучка для сканирования поверхностей пластин с различными типами дефектов.

Введение. Неразрушающие методы контроля нашли широкое применение во многих областях промышленности. На сегодняшний день ультразвуковые дефектоскопы представляют собой как малогабаритные приборы, так и полностью автоматизированные комплексы [1]. Нами уже обсуждались вопросы, связанные с разработкой систем высокого разрешения подобных акустическому микроскопу или томографу [2–3]. Цель настоящей работы заключалась в исследовании поверхностных неоднородностей объектов из алюминиевых сплавов и построении их акустических изображений с помощью разрабатываемого высокоразрешающего акустического томографа (АТ).

Описание экспериментальной установки. На рисунке 1 приводится фотография АТ. Конструктивно АТ состоит из электронного и выносного блоков сканирования. Управление процессом сбора и визуализацией данных осуществляется с помощью специально разработанного программного комплекса.

На рисунке 2 показана упрощенная структурная схема разрабатываемого прибора. В основе работы АТ лежит эхо-импульсный метод. Генератор зондирующих импульсов, аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и контроллеры шаговых двигателей конструктивно расположены в электронном блоке системы, который, в свою очередь, сопряжен с ПК. Пунктирной линией на структурной схеме выделены составляющие выносного блока АТ. Взаимодействие компонентов системы в форме передачи цифровой либо аналоговой информации поясняется стрелками.

Методика проведения исследований. В разрабатываемом АТ основным элементом, определяющим характеристики прибора, является акустический объектив. Акустический объектив состоит из звукопровода, на одном из торцов кото-

* По материалам доклада на конференции ММТТ-27 (см. Вестник ТГТУ, т. 20, № 4).

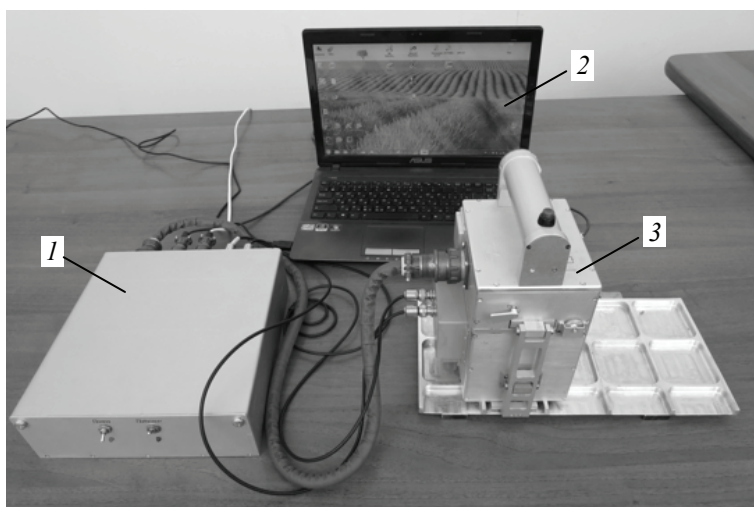


Рис. 1. Акустический томограф:
 1 – электронный блок; 2 – персональный компьютер (ПК);
 3 – выносной блок сканирования

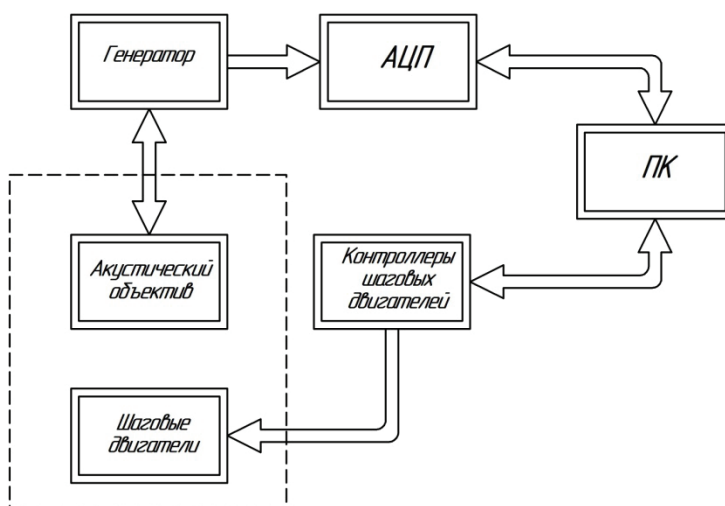


Рис. 2. Структурная схема акустического томографа

рого расположен пьезоэлектрический преобразователь с центральной частотой в 100 МГц, генерирующий акустическую волну, а на другом выполнена акустическая линза, фокусирующая ультразвуковой пучок. Проходя через иммерсионную жидкость (воду), ультразвуковая волна фокусируется в исследуемой области. Ультразвуковой пучок, частично отразившийся от ближней поверхности, неоднородностей внутри объекта, а также дальней поверхности исследуемого объекта, несет информацию о поверхностной и внутренней структурах объекта при фиксированных пространственных координатах объектива.

Для формирования 3D-акустических изображений поверхностей необходимо перемещать объектив относительно объекта и регистрировать сигнал в каждой точке. Далее, путем обработки оцифрованных эхо-сигналов, проводить построение изображения поверхности исследуемого объекта.

В акустическом томографе перемещение объектива осуществляется с помощью системы двухкоординатного механического сканирования с минимальным пространственным шагом в 5 мкм. Управление сканированием и построением акустических изображений осуществляется с помощью разработанного программного обеспечения (ПО).

На рисунке 3 изображена модель объекта исследований с дефектами и используемая траектория перемещения акустического объектива при сканировании. Исследованию подвергались образцы из алюминиевого сплава с нанесенными дефектами в виде глухих отверстий и гравировок.

Результаты исследований. На рисунке 4 представлены изображения поверхности пластины из алюминиевого сплава толщиной 2 мм с глухим отверстием диаметром и глубиной 2,3 и 1,3 мм соответственно. Отверстие находилось на дальней поверхности пластины. Разрешение по обеим координатам составляло 20 мкм. На рисунке 5 представлено 3D-акустическое изображение этого дефекта в другом ракурсе.

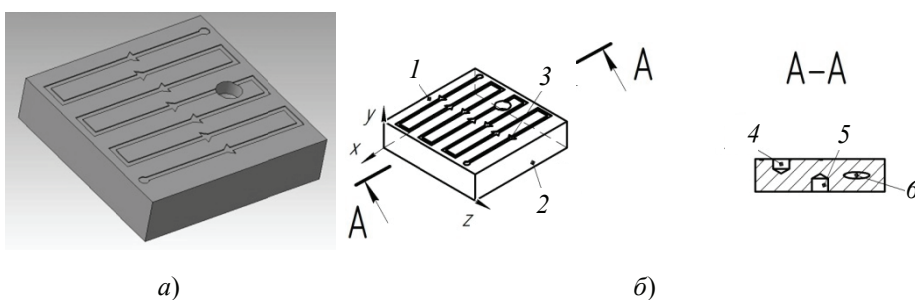


Рис. 3. Модель пластины из алюминиевого сплава с дефектами:
a – 3D-модель объекта сканирования с дефектами; *б* – модель обхода, измеряемой области и сечение плоскостью; 1, 2 – ближняя и дальняя поверхности относительно объектива соответственно; 3 – траектория обхода измеряемой области; 4, 5 – дефекты на ближней и дальней поверхности соответственно; 6 – дефект в виде неоднородности в слое материала

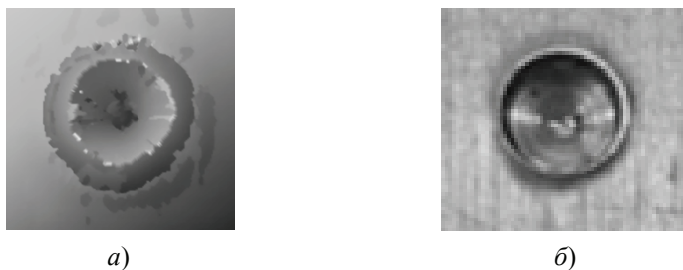


Рис. 4. Изображения дефекта поверхности:
a – акустическое; *б* – фотография

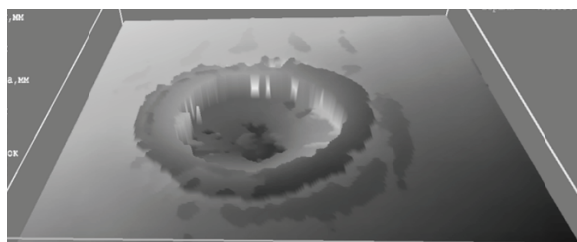
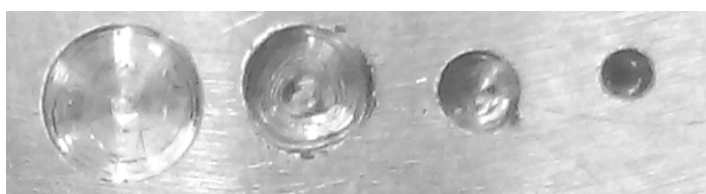


Рис. 5. Акустическое изображение дефекта на дальней поверхности в трехмерном представлении

На рисунке 6 приведена фотография пластины из алюминиевого сплава толщиной 3 мм с нанесенными дефектами в виде четырех глухих отверстий диаметрами 4, 3, 2 и 1 мм соответственно и 3D-акустическое изображение этих дефектов. Отверстия находились на дальней поверхности пластины. Разрешение по обеим координатам составляло 20 мкм.

На рисунке 7, *а, б* представлены фотографии пластины из алюминиевого сплава толщиной 2 мм с дефектом в виде выгравированной надписи «Tel: +» и 3D-акустическое изображение этой надписи. Дефект находился на дальней поверхности пластины. Разрешение по обеим координатам составляло 50 мкм.

На рисунке 7, *в, г* представлены фотографии пластины из алюминиевого сплава толщиной 3 мм с дефектом в виде выгравированной надписи «тест 03.2013» и 3D-акустическое изображение этой надписи. Дефект находился на дальней поверхности пластины. Разрешение по обеим координатам составляло 25 мкм.



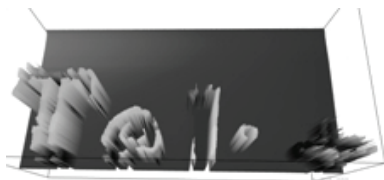
а)



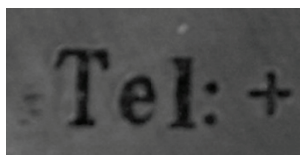
б)

Рис. 6. Изображения поверхности тестовой пластины:

а – фотография; *б* – акустическое



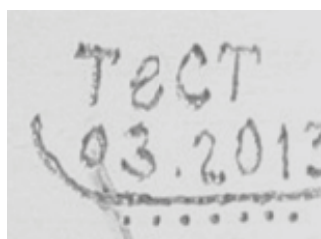
а)



б)



в)



г)

Рис. 7. Изображения поверхности пластины с гравировкой:

а, в – акустическое; *б, г* – фотография

Следует отметить, что наводки, вносимые аппаратурой в полезный эхо-сигнал, устранялись на аппаратном уровне, а цифровой обработке подвергались реконструированные изображения поверхностей. Программное обеспечение АТ позволяет применять к анализируемому изображению медианную, по методу среднего, а также Фурье и вейвлет фильтрацию. Представленные акустические изображения есть результат программной фильтрации реально полученных, в частности, для устранения высокочастотных всплесков на изображениях рельефа применялся медианный фильтр с параметрами окна 3×3. При сравнении полученных акустических и реальных изображений форм дефектов, можно сделать вывод, что АТ позволяет получать качественную информацию о характере поверхности исследуемых объектов-пластин и перспективности дальнейших исследований в области акустической микроскопии и томографии.

Список литературы

1. Ultrasonic Microscopy of PVA TePla [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.pvatepla.com> (дата обращения: 06.03.2014 г.).
2. Kositsyn, N. V. High Resolution Ultrasonic System for 3D Image Capturing and Reconstruction / N. V. Kositsyn, S. A. Lapin, V. V. Petrov // Collaborative Conference on 3D & Materials Research (CC3DMR), Jeju, South Korea, 24 – 28 June 2013. – Jeju, South Korea, 2013. – P. 633–634.
3. Petrov, V. V. High Resolution Ultrasonic Tomography System / V. V. Petrov, N. V. Kositsyn, S. A. Lapin // Acoustics 2013 New Delhi “Technologies for a Quieter India”, New Delhi, India, 10 – 15 November 2013. – New Delhi, India, 2013. – P. 633–634.

Detection of Defects on the Surface of Aluminum Alloy Materials by Focused Acoustic Beams Method

N. V. Kositsyn, V. V. Petrov

*Department “Applied Physics”,
Saratov State University, Saratov; SpectrAcoustics Co.;
nikkosizin@yandex.ru*

Keywords: acoustic field; acoustic lens; echo-signal; flaw detection; methods of acoustic microscopy and tomography; nondestructive testing; reconstruction of acoustic images.

Abstract: The paper describes the results of experimental research into obtaining 3D acoustic images of defects on the surface of aluminum alloys plates. Acoustic images were obtained using the developed acoustic tomography with the two-coordinate scanning system and lens with central frequency of 100 MHz. The method of focused ultrasound beam for scanning surfaces of the plates with different types of defects was described.

References

1. Ultrasonic Microscopy of PVA TePla, available at: <http://www.pvatepla.com> (accessed 6 March 2014).
2. Kositsyn N.V., Lapin S.A., Petrov V.V. *Collaborative Conference on 3D & Materials Research (CC3DMR)*, Jeju, South Korea, 24-28 June 2013, pp. 633-634.

3. Petrov V.V., Kositsyn N.V., Lapin S.A. *Acoustics 2013 New Delhi "Technologies for a Quieter India"*, New Delhi, India, 10-15 November 2013, pp. 633-634.

**Entdecken der Defekte auf der Oberfläche
der Materialien aus den Aluminiumlegierungen
von der Methode des gebündelten akustischen Bündels**

Zusammenfassung: Es sind die experimentalen Ergebnisse nach dem Erhalten von 3D akustischen Abbildungen der Defekte auf der Oberfläche der Platten aus den Aluminiumlegierungen angeführt. Die akustischen Darstellungen wurden mit Hilfe des entwickelten akustischen Tomographes mit dem Zweikoordinatensystem des Scannens und dem Objektiv mit der zentralen Frequenz von 100 MHz erhalten. Es ist die Methodik der Anwendung des gebündelten Ultraschallbündels für das Scannen der Oberflächen der Platten mit verschiedenen Typen der Defekte gezeigt.

**Détection des défauts sur la surface des matériaux
des alliages d'aluminium par la méthode du faisceau acoustique concentré**

Résumé: Sont cités les résultats expérimentaux sur l'obtention des 3D images acoustiques des défauts sur la surface des plaques des alliages d'aluminium. Les images acoustiques étaient obtenues à l'aide du tomographe acoustique élaboré avec un système de scanning à deux coordonnées et un objectif avec une fréquence centrale de 100 MHz. Est montrée la méthode de l'application du faisceau acoustique concentré pour le scanning des surfaces des plaques avec de différents défauts.

Авторы: *Косицын Николай Васильевич* – аспирант кафедры «Прикладная физика», ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского», ведущий инженер-программист ООО «Корпорация «СпектрАкустика»; *Петров Владимир Владимирович* – доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Прикладная физика», ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского», генеральный директор ООО «Корпорация «СпектрАкустика», г. Саратов.

Рецензент: *Мордасов Денис Михайлович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Материалы и технология», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».
