

## СКАНЕР ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ И ВИХРЕТОКОВОЙ ДИАГНОСТИКИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ СВАРКОЙ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ

Иванов А.Н.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск, Россия (634021, г. Томск, пр. Академический, 2/4), e-mail: [ivan@ispms.ru](mailto:ivan@ispms.ru)*

<sup>2</sup>*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия (634050, г. Томск, проспект Ленина, 30)*

---

Разработан сканер для проведения неразрушающего контроля сварных соединений, полученных сваркой трением с перемешиванием, методами вихревых токов и ультразвуковым методом с использованием фазированной антенной решетки. Конструкция сканера позволяет в автоматическом режиме и с высокой точностью позиционировать ультразвуковые преобразователи с фазированной антенной решеткой и вихретоковый преобразователь относительно сварных соединений. Позиционирование осуществляется линейными актуаторами в горизонтальном и вертикальном направлении и является независимым друг от друга. Это позволяет проводить контроль продольных и кольцевых сварных соединений в широком диапазоне геометрических размеров объектов контроля. Кроме того, наличие в конструкции тензометрических датчиков обеспечивает требуемую степень контакта между преобразователем и поверхностью объекта контроля. Указанные особенности конструкции позволяют обнаружить дефекты сварного соединения по всему его объему, а также обеспечивают высокую производительность операций контроля и достоверность получаемых результатов.

---

Ключевые слова: неразрушающий контроль, сварка трением с перемешиванием, сканер, позиционирование, метод вихревых токов, ультразвуковой метод с использованием фазированных антенных решеток.

## THE SCANNER FOR ULTRASONIC AND EDDY CURRENT DIAGNOSTICS OF WELDED JOINTS PRODUCED BY FRICTION STIR WELDING

Ivanov A.N.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Strength Physics and Materials Science of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia (634021, Tomsk, pr. Akademicheskii, 2/4), e-mail: [ivan@ispms.ru](mailto:ivan@ispms.ru)*

<sup>2</sup>*National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia (634050, Tomsk, pr. Lenina, 30)*

---

A scanner for eddy current and ultrasonic phased array methods was developed for non-destructive testing of welded joints, produced by friction stir welding. The design of the scanner provides high precision automatic positioning of ultrasonic transducers with phased array or eddy current transducer to welded joints. The positioning in horizontal and vertical directions is carried out by linear actuators independently. It makes possible to perform a diagnostics of direct and circular welded joints in a wide range of subjects' dimensions. After that, a presence of the strain gage sensors in the scanner ensures a proper contact between the acoustic or eddy current transducer and the subject under testing. Such design features allow detecting welding defects at overall volume of welded joint as well as providing a high-capacity of non-destructive testing operations and a validity of results obtained.

---

Ключевые слова: non destructive testing, friction stir welding, scanner, positioning, eddy current method, ultrasonic phased array method.

На сегодняшний день в авиа- и ракетостроении широко используются алюминиевые сплавы сложного состава с улучшенными свойствами. Перспективным методом получения неразъемных соединений таких сплавов является сварка трением с перемешиванием (СТП) [2]. Учитывая особенности структуры СТП-сварных соединений [3,10], для оценки их состояния требуются новые подходы к неразрушающим методам контроля (НК). При этом особое внимание следует обратить на возможности метода ультразвукового контроля с фазированными антенными решетками (ФАР) [4] и метода вихревых токов [1,8], поскольку

комплексное применение данных методов позволяет получить наиболее точное представление о качестве СТП-сварных соединений.

На сегодняшний день основными средствами неразрушающего контроля являются либо сканирующие портативные дефектоскопы, либо комплексы неразрушающего контроля со сканерами, в которых вышеуказанные методы используются по отдельности [5-7,9]. Однако у большинства используемых на данный момент средств сканирования есть ряд существенных недостатков. Среди них – ограничение применимости из-за геометрических размеров объектов контроля и необходимость позиционирования преобразователей непосредственно оператором вручную. Все это приводит к снижению достоверности результатов неразрушающего контроля, снижению его производительности и повышению нагрузки на оператора. Таким образом, перед разработчиками устройств для НК ставятся задачи автоматизации процесса неразрушающего контроля, повышения его производительности и достоверности результатов. Одним из методов решения таких задач является разработка универсальных сканирующих средств с автоматизированным позиционированием.

### **Принцип работы и описание конструкции**

Для решения указанных выше задач был разработан сканер ультразвукового и вихретокового контроля (рис. 1 а, б). Сканер имеет блочную конструкцию и состоит из общего колесного основания 1 с поочередно устанавливаемыми на него и фиксируемыми винтами 2 блоками акустического и вихретокового контроля. На основании установлен датчик пути 3 для определения положения дефекта по длине сварного соединения.

Блоки акустического контроля и вихретокового контроля состоят из стоек акустического 4 и вихретокового 5 контроля с соответствующими преобразователями 6, 7 и приводов их позиционирования 8, 9. Приводы позиционирования содержат линейные актуаторы 10, штоки которых жестко соединены со стойками и могут совершать поступательное движение перпендикулярно основанию, позиционируя стойки в горизонтальном направлении.

Стойки с преобразователями горизонтально перемещаются по направляющим 11, 12, обеспечивая позиционирование в направлении перпендикулярном сварному соединению с точностью до 1 мм, что позволяет выполнять настройку сканера для контроля швов шириной до 60 мм. Основной функцией стоек сканера является позиционирование преобразователей в вертикальном направлении и обеспечение заданного усилия прижима призм ФАР и вихретокового преобразователя. Стойки имеют следующую конструкцию (рис. 2).

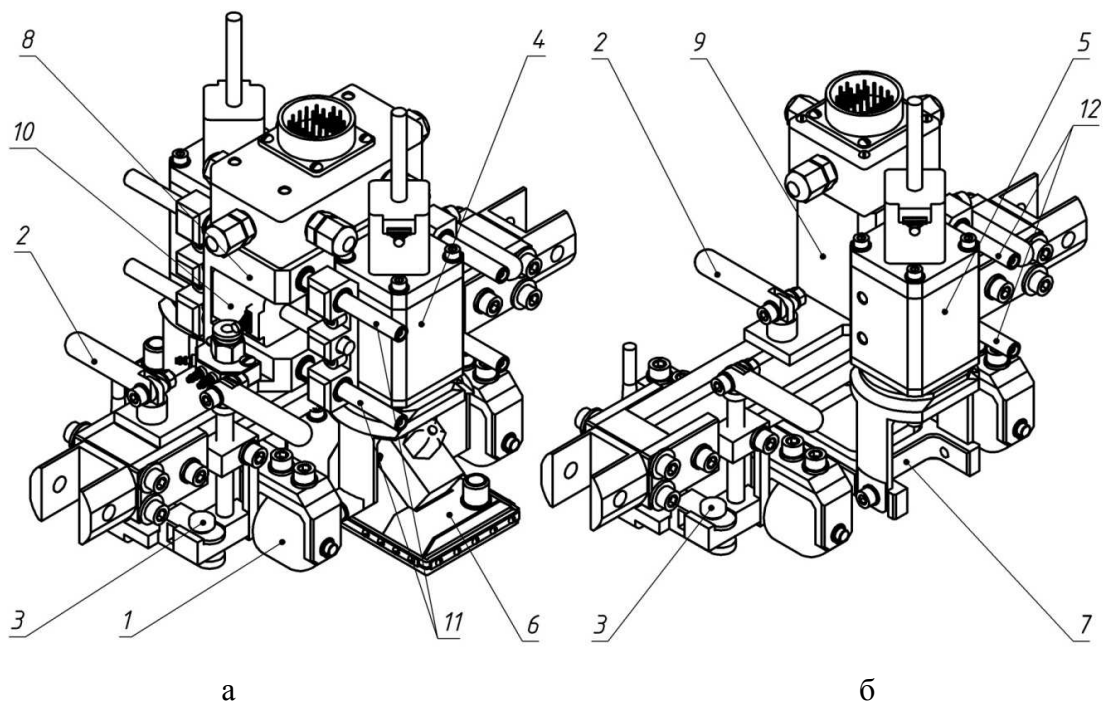


Рис. 1. Общий вид сканера: а) акустического контроля; б) вихретокового контроля.  
 1 – колесное основание; 2 – винты фиксации; 3 – датчик координат; 4 – стойка акустического контроля; 5 – стойка вихретокового контроля; 6 – преобразователь акустический с ФАР; 7 – преобразователь вихретоковый; 8, 9 – приводы позиционирования; 10 – линейные актуаторы; 11, 12 – направляющие

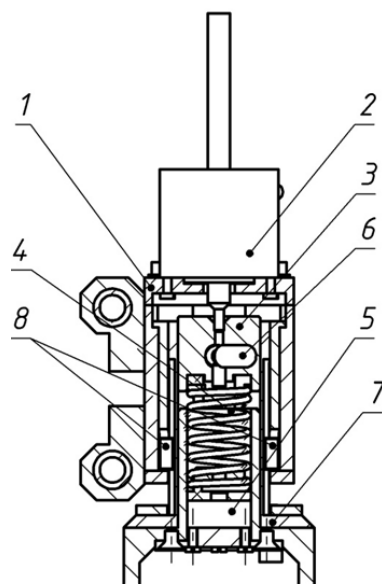


Рис. 2. Конструкция стоек акустического и вихретокового контроля: 1 – корпус; 2 – линейный актуатор; 3 – втулка; 4 – пружина; 5 – тензометрический датчик; 6 – штифт; – пружина; 7 – шток; 8 – направляющие сухари

На корпусе стойки 1 установлен линейный актуатор 2, шток которого жестко соединен со втулкой 3 и может совершать поступательное движение в вертикальном

направлении, передавая на неё осевое усилие. Под действием штока актуатора втулка 3 перемещается и передает усилие через пружину 4 на тензометрический датчик 5. Датчик предназначен для отслеживания и контроля осевого усилия, передаваемого от штока актуатора.

Штифт 6 установлен и закреплен во втулке 3 и передает осевое усилие от актуатора 2 на подвижный шток 7, на котором установлены призма ФАР либо вихретоковый преобразователь. При этом шток перемещается скольжением в корпусе 1 по направляющим сухарям 8. Таким образом, обеспечивается позиционирование преобразователей для контроля сварных соединений цилиндрических деталей различного радиуса кривизны с точностью до 1 мм. Кроме того, осевое усилие обеспечивает прижим с усилием до 50 Н и требуемый контакт между преобразователем и поверхностью объекта контроля в автоматическом режиме, а установленные пружины обеспечивают демпфирование преобразователей для предотвращения их повреждений при контроле.

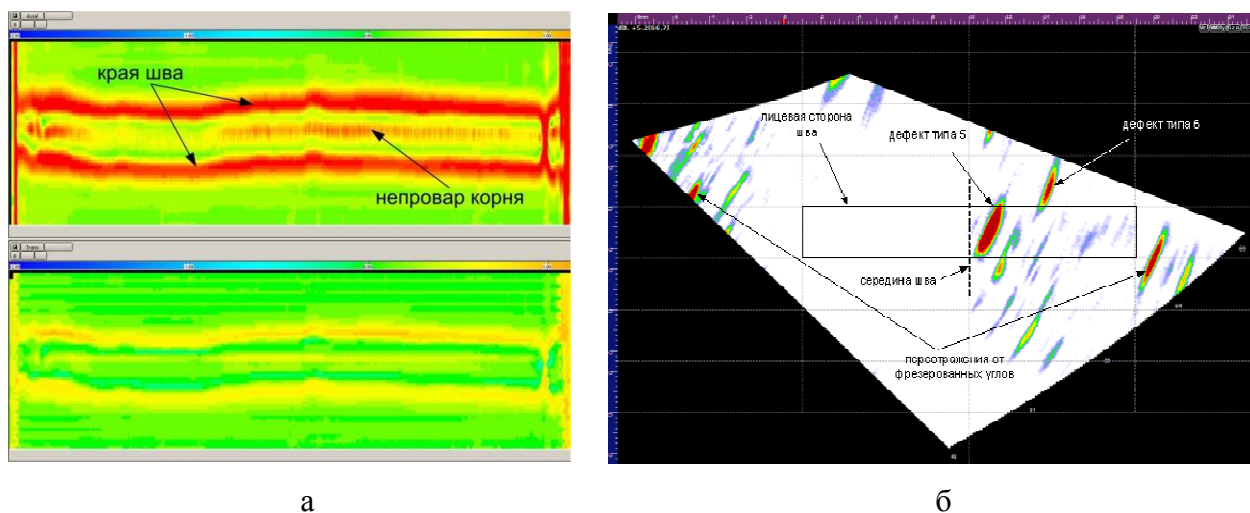


Рис. 3. Сканы сварного соединения, получаемые при операциях: а – контроля по методу вихревых токов; б – контроля по методу ФАР

Метод вихревых токов позволяет обнаруживать поверхностные и подповерхностные несплошности с очень малым раскрытием, такие как трещины и непровары корня шва (рис. 3, а). Метод ФАР позволяет обнаруживать несплошности в объеме сварного соединения, такие как скрытые и открытые непровары, резкие переходы между металлом шва и металлом детали (рис. 3,б). Разработанный сканер, при сочетании ультразвукового и вихретокового методов, даёт возможность проводить комплексную оценку дефектов по всему объему сварных соединений в автоматическом режиме.

### Заключение

Указанные особенности конструкции сканера позволяют проводить неразрушающий контроль методами ФАР и вихревых токов со следующими преимуществами:

- контроль прямолинейных и кольцевых сварных соединений в широком диапазоне геометрических размеров объекта контроля;
- контроль сварных соединений как изнутри, так и снаружи объекта контроля;
- автоматическое позиционирование призм ФАР либо вихретокового преобразователя относительно сварного соединения;
- высокую достоверность обнаружения дефектов;
- высокую производительность за счет автоматизации операций контроля.

*Работа выполнена по проекту № III.23.2.4 фундаментальных исследований СО РАН на 2013–2016 гг., при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (договор № 02.G25.31.0063) в рамках реализации Постановления Правительства РФ №218.*

### Список литературы

1. Егоров А.В. Диагностика сплавов алюминия методом вихревых токов // Известия АлтГУ. – 2014. – № 1/1. – С. 244-247.
2. Колубаев Е.А. Особенности формирования структуры сварного соединения, полученного сваркой трением с перемешиванием // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6. – <http://www.science-education.ru/pdf/2013/6/572.pdf>.
3. Колубаев Е.А., Морхат Т.В. Особенности микроструктуры сплава Al-Mg, полученной при сварке трением с перемешиванием // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6. – <http://www.science-education.ru/pdf/2013/6/523.pdf>.
4. Коновалов Н.Н. Ультразвуковой контроль односторонних стыковых сварных соединений при использовании антенных решеток / Н.Н. Коновалов, Н.В. Мелешко // Промышленность и безопасность. – 2012. – № 3(43). – С. 56-60.
5. Патент РФ № 97118390/28, 04.11.1997.
6. Патент РФ № 2010107242/28, 11.07.2008.
7. Патент РФ № 2010107242/28, 11.07.2008.
8. Поляков В.В. Диагностика композиционных материалов на основе алюминиевых сплавов с помощью сверхминиатюрных вихретоковых преобразователей // Известия Алтайского государственного университета. – 2013. – №. 1/2 (77). – С. 181-183.
9. Самокрутов А.А., Алёхин С.Г., Зверев Е.А. Вихретоковый дефектоскоп / Патент на полезную модель РФ № 114372.2011.

10. Sizova O.V. Microstructure features of aluminum alloys welded joint obtained by friction stir welding // *Advanced Materials Research*. – 2014. – Vol. 872. – P. 174-179.

**Рецензенты:**

Колубаев А.В., д.ф.-м.н., профессор, заведующий лабораторией физики упрочнения поверхности ИФПМ СО РАН, г. Томск;

Тарасов С.Ю., д.т.н., ведущий научный сотрудник ИФПМ СО РАН, г. Томск.