

УДК 621.373.826

## ФОРМИРОВАНИЕ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С ФЕРРИТОВЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ УЛЬТРАЗВУКА



**В.Л. Ланин**  
Профессор кафедры  
электронной техники и  
технологии, доктор  
технических наук



**К.Д. Буй**  
Студент кафедры  
электронной техники и  
технологии

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь.

Email: vlanin@bsuir.by, congdoan6997@gmail.com.

### **В. Л. Ланин**

Профессор кафедры электронной техники и технологии. Имеет 40-летний опыт работы в области технологии сборки и монтажа электронной аппаратуры. Автор 10 монографий в данной области.

### **К. Д. Буй**

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. Студент кафедры электронной системы и технологии. Проводит научные исследования по созданию контактных соединений с ферритовыми материалами и моделирования преобразователей микросварки.

**Аннотация.** Разработаны и исследованы процессы формирования контактных соединений магнитоотрицательных стержней из феррита в ультразвуковых преобразователях с металлическими волноводами и излучателями различными методами. Выполнено моделирование ультразвукового преобразователя микросварки в пакете ANSYS. Получены АЧХ преобразователей микросварки с разными типами контактных соединений.

**Ключевые слова:** ультразвуковая микросварка, контактные соединения, моделирование системы УЗ микросварки.

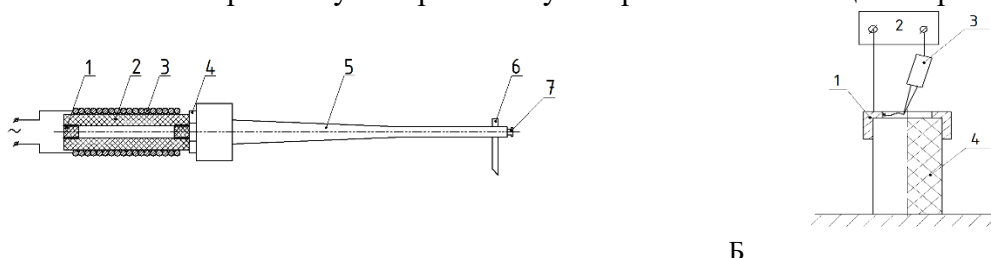
### **Введение.**

Контактные соединения в изделиях электроники должны обладать высокой надежностью и долговечностью в заданных условиях эксплуатации, что обеспечивается комплексом их свойств: минимальным электрическим переходным сопротивлением, высокой механической прочностью, стабильностью электрических и механических параметров во времени. Процессы формирования соединений должны быть экономичными, высокопроизводительными, отличаться достоверностью контроля качества. Одним из путей решения этой проблемы является активация процессов формирования контактных соединений концентрированными потоками энергии: ультразвуковой (УЗ), электромагнитной (ЭМ), инфракрасной (ИК), лазерной и др, которые обеспечивают локальное и бесконтактное воздействие на соединяемые материалы, ускоряют процессы физико-химического взаимодействия материалов [1].

### **Анализ.**

При сборке малогабаритных ультразвуковых преобразователей формирование контактных соединений с ферритовыми материалами преобразователей всегда вызывало

трудности. Клеевые соединения обеспечивают высокую прочность и виброустойчивость, однако создают большие потери акустической энергии в зоне контакта. Паяные соединения, полученные с помощью УЗ вибраций и специальных припоев, отличаются нестабильной прочностью [2]. На рисунке 1а показана ультразвуковая колебательная система для микросварки. Для исследования влияния материала соединения между преобразователем и волноводом использовались два способа формирования контактных соединений: клей и ультразвуковая пайка. В первом случае применен универсальный клей—цианокрилат.



а

б

Рисунок 1 – УЗ колебательная система микросварки (а): 1 – магнит; 2 – феррит; 3 – провод; 4 –винт; 5 – волновод; 6 – инструмент; 7 – крепёжный винт и схема электроискровой обработки феррита (б): 1 – кольцо, 2 – генератор импульсов, 3 – медный электрод, 4 – ферритный стержень

Во втором способе использована ультразвуковая пайка с помощью специального припоя AL-220. Для металлизации феррита предварительно проведена электроискровая обработка его поверхности (рисунок 1, б). В этом процессе использовался генератор импульсов МП1051 при напряжении 60 В, ёмкости конденсатора 20 мкФ и частоте 60 Гц. На рисунке 1. показана схема процесса УЗ пайки феррита с помощью припоя AL-220.

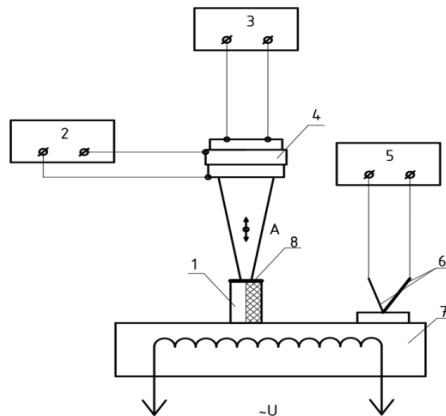


Рисунок 1. Схема процесса УЗ пайки: 1 – ферритовый стержень; 2 – УЗ генератор; 3 – измеритель вибраций; 4 – УЗ паяльник; 5 – измеритель температуры; 6 – термопара; 7 – плата; 8 – припой

Процесс металлизации вели при температуре 2205 С в течении 10 – 12 с на частоте 351 кГц и напряжении на выходе генератора УЗГ-Т-0,4 50 – 60 В. Затем соединяли ферритовый стержень преобразователя с волноводом в специальном приспособлении без флюса с последующим охлаждением паяного соединения при давлении 0,15 – 0,25 МПа к соединяемым деталям. На рисунке 2. приведены экспериментальные зависимости амплитуды колебаний УЗ системы от частоты генератора.

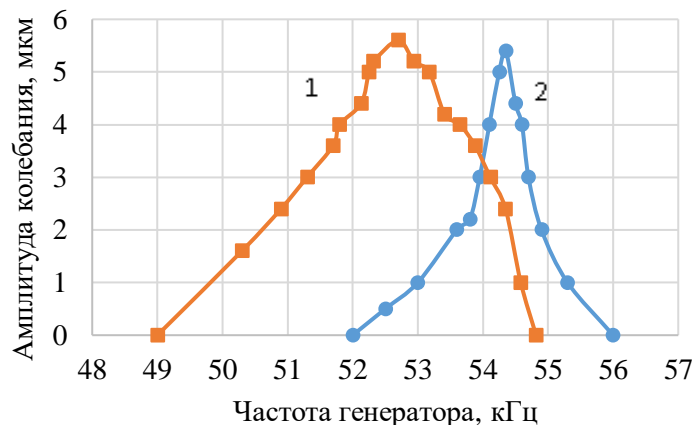


Рисунок 2. АЧХ магнитострикционного преобразователя: 1 – с клеевым соединением; 2 – с паяным соединением

УЗ преобразователи с клеевым соединением имеют широкий диапазон частоты работы. Максимальная амплитуда колебания составляет 5,6 мкм. С паяным соединением амплитудой колебаний примерно такая же – 5,4 мкм, но частотный диапазон меньше, что обеспечивает точную настройку на резонанс.

Из ряда параметров, характеризующих настройку УЗ системы, важнейшими являются колебательная скорость, напряжение, мощность, которые волновод способен передать в зону сварки. По упрощенной методике, когда задано ориентировочное значение амплитуды колебательной скорости инструмента, расчет сводится к определению резонансной длины волновода, входной и выходной площади, формы и места его крепления (рисунок 3.) [3].

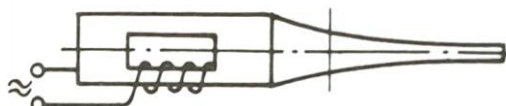


Рисунок 3. Общий вид экспоненциального концентратора-волновода

Длина и место закрепления полуволнового экспоненциального волновода:

$$l = \frac{v}{2f} \sqrt{1 + \left(\frac{\ln N}{\pi}\right)^2}; \quad N = D/d; \quad (1)$$

$$x_0 = \frac{l}{\pi} \operatorname{arctg}\left(\frac{\ln N}{\pi}\right); \quad k_y = N;$$

где  $l$  – длина волновода;  $v$  – скорость звука в материале волновода;  $x_0$  – места крепления волновода;  $f$  – резонансная частота волновода;  $D$  и  $d$  – диаметры входного и выходного торцов волновода;  $k_y$  – коэффициент усиления амплитуды смещения.

Изменение формы

$$S = S_0 e^{-bx}; \quad b = 2 \frac{\ln N}{l}; \quad (2)$$

где  $S_0$  и  $S$  – исходная и текущая площади поперечного сечения волновода соответственно;  $x$  – текущая координата;

В таблице 1. приведены параметры экспоненциального волновода для выполнения

моделирования.

Таблица 1. Параметры экспоненциального волновода

Диаметра входа $D$ , мм	8
Диаметра выхода $d$ , мм	2
Коэффициент усиления амплитуды смещения $k_y$	4
Резонансная частота волновода $f$ , Гц	47000
Скорость звука в материале волновода $v$ , м/с	5910
Длина $l$ , мм	69
Места крепления $x_0$ , мм	9

Для моделирования параметров технологических устройств, имеющих сложную геометрическую конфигурацию и нерегулярную физическую структуру, применяют метод конечных элементов (МКЭ), который заменяет задачу отыскания функции оптимизации на задачу отыскания конечного числа ее приближенных значений в отдельных точках-узлах. Основой метода является возможность разложить любую непрерывную функцию в бесконечный ряд по некоторым базисным функциям. Таким образом, существуют функции, удовлетворяющие определенным требованиям, по которым любую функцию  $f(x)$  можно представить на отрезке  $[a; b]$  в виде:

$$f(x) = \sum_{k=0}^{\infty} a_k \psi_k(x), \quad x \in [a; b], \quad (3)$$

где  $a_k$  – константы, зависящие от отрезка, базисных функций  $\Psi_k(x)$ .

Аппроксимация заключается в выборе базисных функций и последующем поиске коэффициентов  $a_k$  из предположения:

$$f(x) = \sum_{k=0}^k a_k \psi_k(x), \dots \quad (4)$$

Современное программное обеспечение, реализующее CAD/CAE-технологии проектирования, позволяет в настоящее время применить метод конечных элементов для поиска и анализа значений собственных частот и их форм волн УЗ преобразователя В качестве CAE-системы выбран пакет ANSYS Для моделирования в пакете ANSYS построена геометрическая модель УЗ-систем микросварки (рисунок 4) Для проведения анализа колебания в комплексе ANSYS для каждого материала задают плотность, модуль Юнга и коэффициента Пуассона Данные параметры приведены в таблице 2.

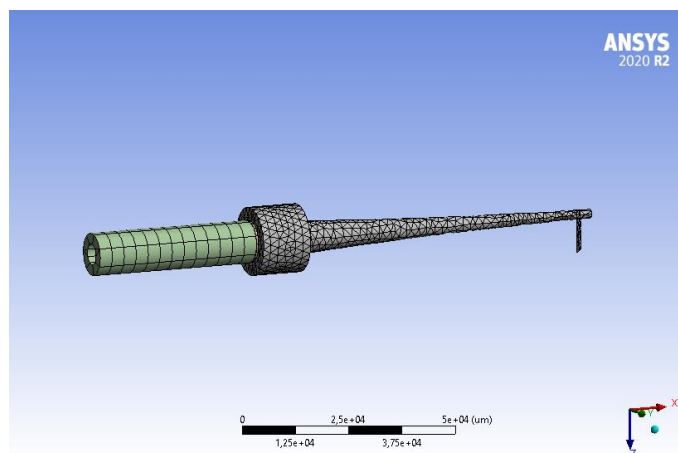


Рисунок 4. Модель УЗ системы микросварки в ANSYS

Таблица 2. Механические свойства материалов

Материал	Модуль Юнга, ГПа	Коэффициент Пуассона	Плотность, кг/м <sup>3</sup>
Сталь 45	200	0,29	7870
Феррит	215	0,29	7810
Клей	4	0,49	1250
Припой	15	0,42	8500

Анализ гармонического колебания системы в основном используется для анализа того, резонирует ли инструмент УЗ вибрационной системы на собственной частоте системы, а в условиях резонанса максимальная амплитуда инструмента должна удовлетворять фактические потребности обработки [4]. На рисунке 5. показана УЗ система с паяным соединением и резонансной частотой 48000 Гц с амплитудой колебаний 6,9 мкм. В случае УЗ системы с клеевым соединением амплитуда колебаний составила 4,2 мкм и резонансная частота получена 47000 Гц.

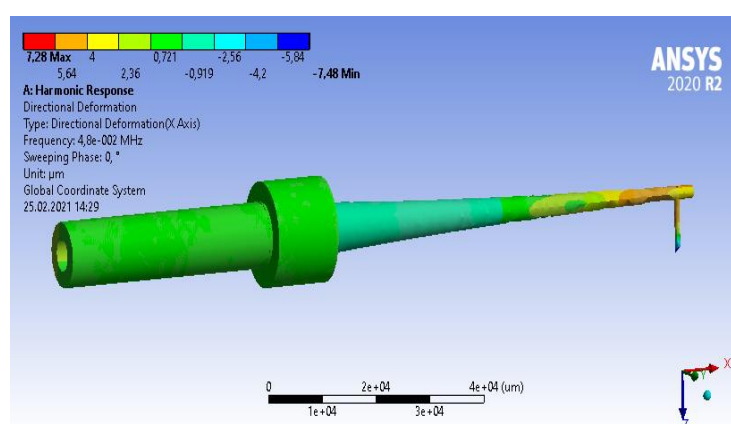


Рисунок 5. УЗ система с паяным соединением на частоте 47000 Гц

АЧХ УЗ систем микросварки в зависимости от типа контактного соединения приведены на рисунке 6.

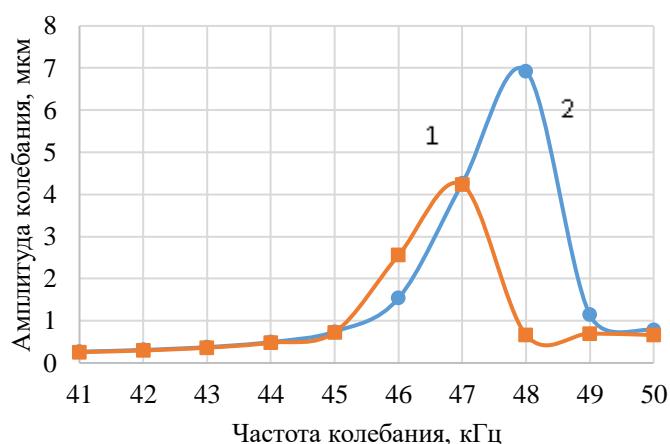


Рисунок 6. АЧХ инструмента микросварки в пакете ANSYS: 1 – с клеевым соединением; 2 – с паяным соединением

### Заключение

Таким образом, при формировании контактных соединений между волноводом и преобразователем амплитуда УЗ системы микросварки с паяным соединением получилась выше тем с клеевым в 1,6 раз, Формирование контактных соединений с пайкой надежнее

акустического контакта, выше усталостной прочности, и имеет меньше потери энергии.

### Список литературы

- [1] Кундас, С.П. Ультразвуковые процессы в производстве изделий электронной техники. Т.1. / С.П. Кундас, В.Л. Ланин, М.Д. Тявловский и др.; Под общ. ред. акад. НАН Беларуси А.П. Достанко. Минск.: Бестпринт 2002. – 404 с.
- [2] Lanin, V.L. Ultrasonic soldering in electronics / V.L. Lanin // Ultrasonics Sonochemistry (2001), № 8.– P. 379-385.
- [3] Холопов, Ю. В. Ультразвуковая сварка пластмасс и металлов. / Ю. В. Холопов // Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988. – 224 с.
- [4] The Analysis of Cymbal Transducer's Harmonic Response Based on 1-3 Piezocomposite / Denghua Li, [and ets] // Conference Proceedings: ICMTMA 2010. – Vol 3. – P. 746–749.

## RESEARCH OF PROCESSES FOR FORMATION OF CONTACT CONNECTIONS WITH FERRITE MATERIALS

**V.L. LANIN**

Doctor of Technical Sciences  
Professor, Department of Electronic System and  
Technology, BSUIR

**C.D. BUI**

Student  
Department of Electronic System and  
Technology, BSUIR

*Belarus State University of Informatics and Radioelectronics, Republic of Belarus*  
*E-mail: vlanin@bsuir.by, ,congdoan6997@gmail.com*

**Annotation.** The processes of formation of contact joints of magneto strictive rods from ferrite of ultrasonic transducers with metal waveguides of emitters by various methods have been developed and investigated. The frequency response of micro welding transducers with these different formations of contact joints was measured. A micro welding transducer is simulated in the ANSYS package.

**Keywords:** ultrasonic micro welding, formation of contact joints, modeling of ultrasonic micro welding system, Ansys.