

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С ФЕРРИТОВЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Буй К.Д., Дерман А.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
г. Минск, Республика Беларусь

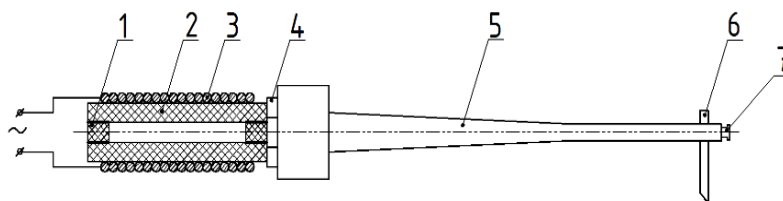
Научный руководитель: Ланин В.Л. – д-р техн. наук., профессор

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

**Ключевые слова:** контактные соединения, ультразвуковая металлизация, ферритовые материалы, моделирование системы УЗ микросварки.

**Введение.** Контактные соединения в изделиях электроники должны обладать высокой надежностью и долговечность 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 в основном бесконтактное воздействие на соединяемые материалы, ускоряют процессы физико-химического взаимодействия материалов [1].

**Основная часть.** 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 1 показана ультразвуковой преобразователь для микросварки.

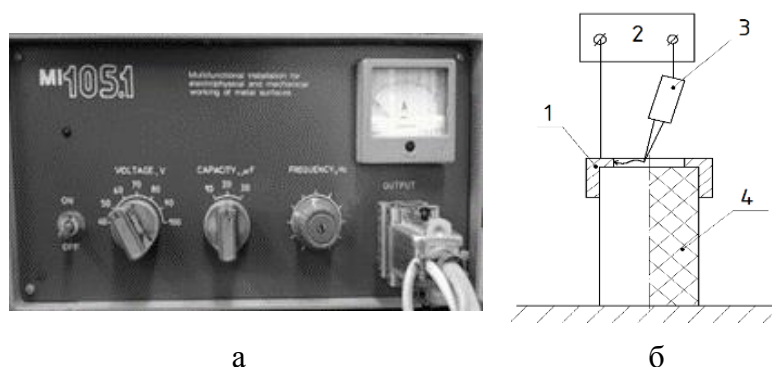


1 – магнит, 2 – феррит, 3 – провод, 4 – винт, 5 – волновод, 6 – инструмент, 7 – крепёжный винт  
Рисунок 1 – УЗ колебательная система микросварки

Для исследования влияния контактного соединения между преобразователем и волноводом рассмотрены два способа соединений: клей и ультразвуковая пайка.

В случае соединения с клеем использован универсальный цианокрилат. Во втором способе соединения введена ультразвуковая пайка с помощью алюминиевого припоя AL-220. Для металлизации припоя на феррите предварительно проведена электроискровая обработка его поверхности. В этом процессе применен генератор импульсов зарядов MI105.1 (рисунок

2а) при напряжении 60 В, ёмкости конденсатора 20 мкФ, и частоте 60 Гц. Схема электроискровой обработки показана на рисунке 2б.



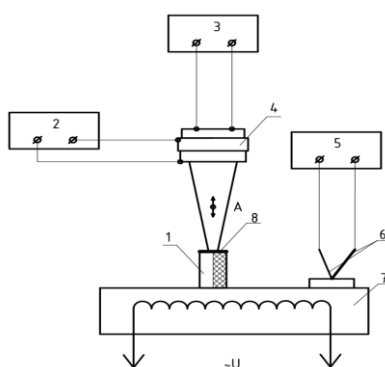
1 – кольцо, 2 – генератор импульсов, 3 – медный электрод, 4 – ферритовый стержень  
Рисунок 2 – Генератор импульсов зарядов М1105.1(а), схема процесса электроискровой обработки феррита (б):

В таблице 1 приведены значения сопротивления поверхности феррита после электроискровой обработки с разными материалами электрода.

Таблица 1 – Сопротивление поверхности феррита

Материал электрода	Сопротивление поверхности $R_{пов}$ , кОм
Медь	2–4
Припой (20% Zn, 80% Sn)	1–2
Латунь	$\geq 10000$
Цинк	5000-7000

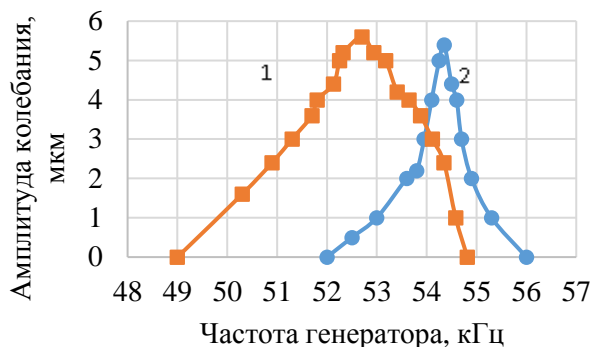
По результатам электроискровой обработки, получен тонкий слой припоя с минимальным значением сопротивления на поверхности феррита. Для латуни и цинка снижение поверхностного сопротивления весьма незначительно. После поверхностной обработки выполнена УЗ пайка феррита с металлическим волноводом. На рисунке 3 показана схема процесса УЗ пайки феррита с помощью припоя AL-220.



1 – феррит, 2 – УЗ генератор, 3 - измеритель вибраций, 4 – УЗ паяльник, 5 – измеритель температуры, 6 – термопара, 7 – нагреватель, 8 – припой  
Рисунок 3 – Схема процесса УЗ пайки

Процесс УЗ металлизации феррита вели при температуре  $220 \pm 5$  °С в течении 10–12 с на частоте  $35 \pm 1$  кГц и напряжении на выходе генератора УЗГ3-0,4 50 – 60 В. Затем соединяли ферритовый стержень преобразователя с волноводом в специальном приспособлении без флюса и последующим охлаждением паяного соединения при давлении 0,15 – 0,25 МПа к

соединяемым деталям. На рисунке 4 показаны зависимости амплитуды колебаний УЗ преобразователя для микросварки от частоты генератора.



1 – с клеевым соединением; 2 – с паяным соединением  
Рисунок 4 – АЧХ магнитострикционного преобразователя:

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

Для моделирования параметров технологических устройств, имеющих сложную геометрическую конфигурацию и нерегулярную физическую структуру, применен 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.

Современное программное обеспечение, реализующее CAD/CAE-технологии проектирования, позволяет 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-системы микросварки.

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 [3].

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.

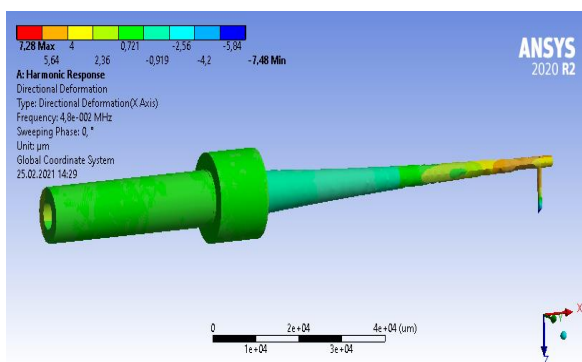
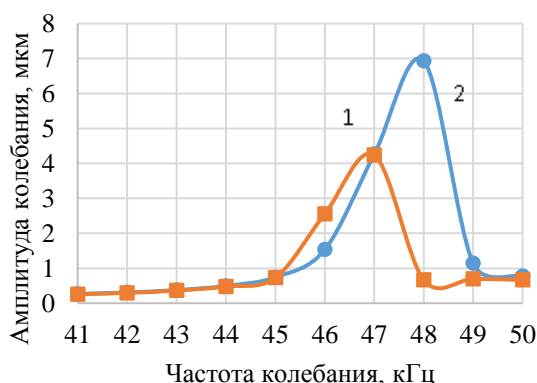


Рисунок 5 – УЗ система с паяным соединением на частоте 47000 Гц

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



1 – соединение клеем ; 2 – с паяным соединением

Рисунок 6 – АЧХ инструмента микросварки в пакете ANSYS:

**Заключение.** Разработан и исследован процесс формирования контактных соединений с ферритовыми материалами из разнородных материалов. Таким образом, при формировании контактных соединений между волноводом и преобразователем амплитуда УЗ системы микросварки с паяным соединением получена выше, чем с клеем в 1,6 раз. Т. е. формирование контактных паяных соединений обеспечивает более надежный акустический контакт, высокую усталостную прочность и меньшие потери энергии.

### Список литературы

1. Кундас, С.П. Ультразвуковые процессы в производстве изделий электронной техники. Т.1. / С.П. Кундас [и др.], Под общ. ред. акад. НАН Беларуси А.П. Достанко. Минск: Бестпринт 2020. – 404 с.
2. Lanin, V.L. Ultrasonic soldering in electronics / V.L Lanin // *Ultrasonics Sonochemistry* (2001), № 8. – P.379-385.
3. 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.*

UDC 534.8: 539.3

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

Bui C.D., Derman A.A.

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus*

*Lanin V.L. – Doctor, professor*

**Annotation:** The processes of formation of contact joints of magnetostrictive rods from ferrite of ultrasonic transducers with metal waveguides of emitters by various methods have been developed and investigated. Simulation of an ultrasonic transducer for microwelding in the ANSYS package has been carried out. The frequency response of microwelding transducers with different types of contact joints was obtained.

**Key words:** contact joints, ultrasonic metallization, ferrite materials, modeling of ultrasonic micro-welding system.