

УДК [611.018.51+615.47]:612.086.2

## ТЕРМОЗВУКОВАЯ МИКРОСВАРКА ПРОВОЛОЧНЫХ ВЫВОДОВ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ



**В.Л. Ланин**

*Профессор кафедры электронной техники и технологии, доктор технических наук*



**Ж.В. Нгуен**

*Магистрант кафедры электронной техники и технологии*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь  
Email: vlanin@bsuir.by, giavien1996@gmail.com*

### **В.Л. Ланин**

*Профессор кафедры электронной техники и технологии. Имеет 30 летний опыт работы в области технологии ультразвуковой и термозвуковой микросварки. Автор более 10 монографий в данной области.*

### **Ж.В. Нгуен**

*Окончил Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники в 2020. Магистрант кафедры электронной системы и технологии. Проводит научные исследования по технологии ультразвуковой микросварки проволочных выводов интегральных схем с активацией импульсами электрического тока.*

**Аннотация.** Процесс термозвуковой микросварки позволяет увеличить прочность микросварных соединений для различных типов покрытий корпусов интегральных схем. Результаты моделирования показали, что температура в зоне микросварки растёт до 200<sup>0</sup>С за 1,5 – 2 с, а затем температура на поверхности кристалла достигается максимального значения 220<sup>0</sup>С. Максимальные значения прочности микросварных соединений для выводов корпуса с никелевым покрытием увеличиваются на 14,28 % и достигают 48,5 сН, а для корпуса с золотым покрытием – на 14,44 % и достигают 51,5 сН.

**Ключевые слова:** Термозвуковая микросварка, температурные поля, микросварные соединения.

Термозвуковая микросварка представляет собой процесс соединения проволочных выводов в результате совокупного действия температуры, давления и ультразвуковых (УЗ) колебаний. Процесс термозвуковой микросварки представляет собой комбинацию ультразвуковых колебаний с дополнительным источником тепла. Ультразвуковая энергия удаляет загрязнения на контактных поверхностях и подготавливает необработанные поверхности соединяемых материалов к микросварке. Тепловая энергия может вводиться от источника тепла методом косвенного или прямого нагрева. Этот процесс предлагает более низкую ультразвуковую энергию и надежное соединение [1].

Термозвуковую микросварку используют для сварки золотых проводников к золотым или алюминиевым покрытиям на подложках. Нагрев осуществляется за счёт размещения свариваемого образца на нагревательном столике («нижний подогрев»). Дополнительно к нижнему подогреву применяют нагрев сварочного инструмента – «верхний подогрев», что улучшает параметры микросварки. Усилие прикладывается к сварочному инструменту вертикально вниз, прижимая проволоку к свариваемой поверхности. Ультразвуковые колебания передаются на микроинструмент во время его контакта с проволокой [2].

Основная проблема процесса микросварки – это окисление поверхности. При термозвуковой сварке в месте контакта алюминиевой проволоки с выводом шарик

образуется под действием поверхностного натяжения при воздействии высокого напряжения и электрического разряда. При этом возникает локальная среда с повышенной температурой, и легко происходит окисление. Окисление шарика приводит к нестабильности его геометрии.

Процессы диффузии находятся в экспоненциальной зависимости от температуры. Поэтому увеличение температуры процесса может значительно сказываться на улучшении качества микросварки [3].

Коэффициент диффузии вычисляется по формуле:

$$D = D_0 e^{-\frac{E_a - \Delta E}{kT}}, \quad (1)$$

где  $D_0$  – предэкспоненциальный множитель;  
 $E_a$  – энергия активации диффузии;  
 $\Delta E$  – изменение энергии активации диффузии в УЗ поле;  
 $k$  – постоянная Больцмана;  
 $T$  – абсолютная температура.

В процессе термозвуковой микросварки теплопередача от нагревателя в зону сварки осуществляется за счёт теплопроводности. Передаваемое тепло определяется по формуле:

$$Q = -\lambda \times A \times t \times \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (2)$$

где  $Q$  – тепловая энергия, Дж;  
 $\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/м·К;  
 $A$  – площадь теплового потока, м<sup>2</sup>;  
 $t$  – время, с;  
 $\Delta T$  – разница температур, К;  
 $\Delta x$  – расстояние, м.

Для моделирования тепловых полей в УЗ системе микросварки применён программный пакет COMSOL Multiphysics, который позволил получить зависимость температуры на поверхности кристалла от времени. Исходные данные для моделирования тепловых полей в системе УЗ микросварки в программе COMSOL Multiphysics показаны в таблице 1.

Таблице 1 – Исходные данные для моделирования

Элементы УЗ системы	Материал	Толщина
Проволока	Алюминий	Диаметр 80 мкм
Вывод	Ковар 29Н18К	0,1 мм
Контактная площадка	Никель	20 мкм
Кристалл	Кремний	500 мкм
Корпус	Ковар 29Н18К	1,5 мм

Для моделирования температурных полей в УЗ системы задана температура нагревателя 220<sup>0</sup>С. Модель температурных полей в УЗ системе показана на рисунке 1, а, а зависимость температуры на поверхности кристалла от времени в течение 3 с показана на рисунке 1, б.

В течение интервала времени 0–0,2 с температура на поверхности кристалла почти не изменяется. Затем она повышается до 180<sup>0</sup>С в течение 0,2–1,5 с. Температура растет до 200<sup>0</sup>С за время 1,5–2 с, так как каждый элемент УЗ системы состоит из материалов, имеющих хорошую теплопроводность. После этого температура на поверхности кристалла в течение 2–3 с увеличивается до максимального значения 220 <sup>0</sup>С (температура нагревателя).

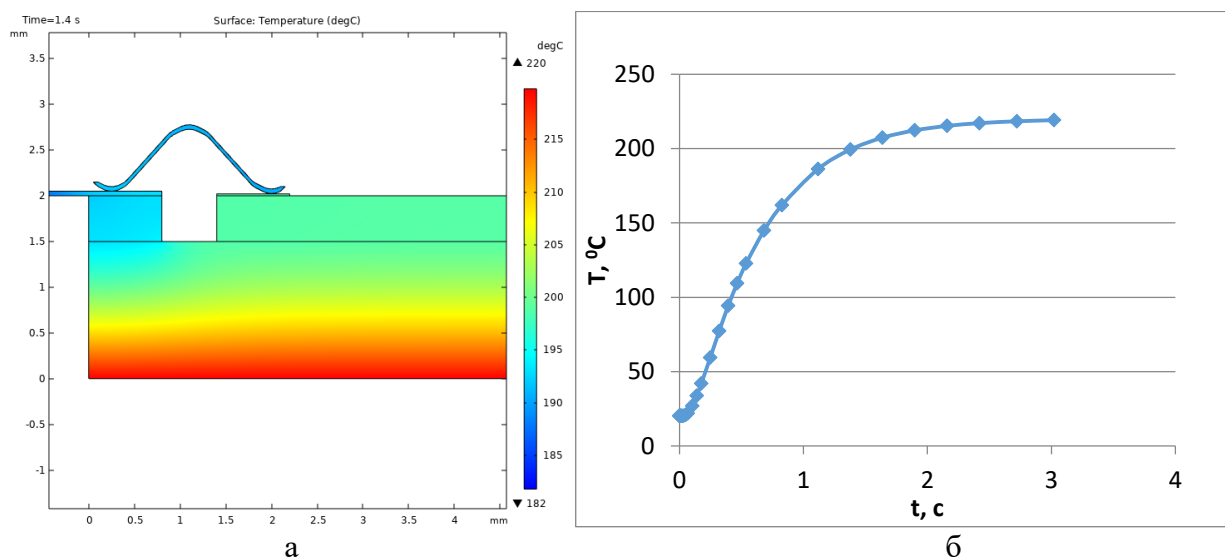
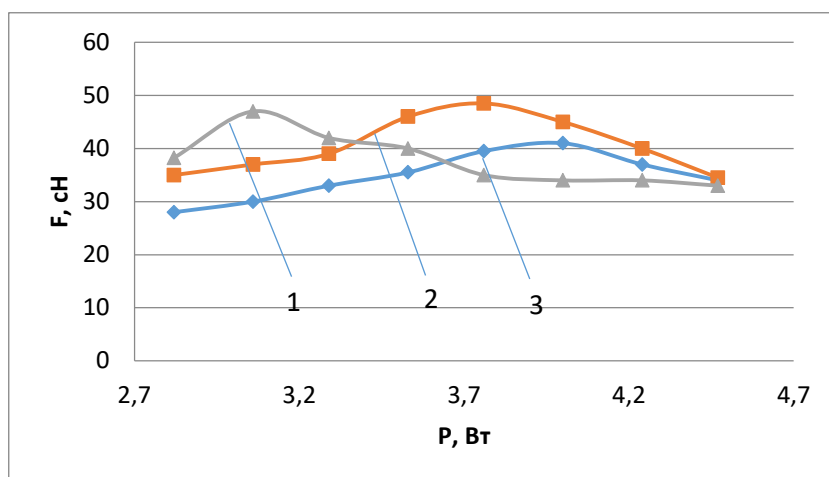


Рисунок 1 – Модель температурных полей в УЗ системе (а) и зависимость температуры на поверхности кристалла от времени (б)

Для экспериментов использованы проволока алюминия диаметром 80 мкм и корпуса ИС с никелевым и золотым покрытием. На рисунке 2 и 3 показаны зависимости усилия отрыва сварных соединений от мощности и температуры для корпусов с никелевым и с золотым покрытием соответственно.

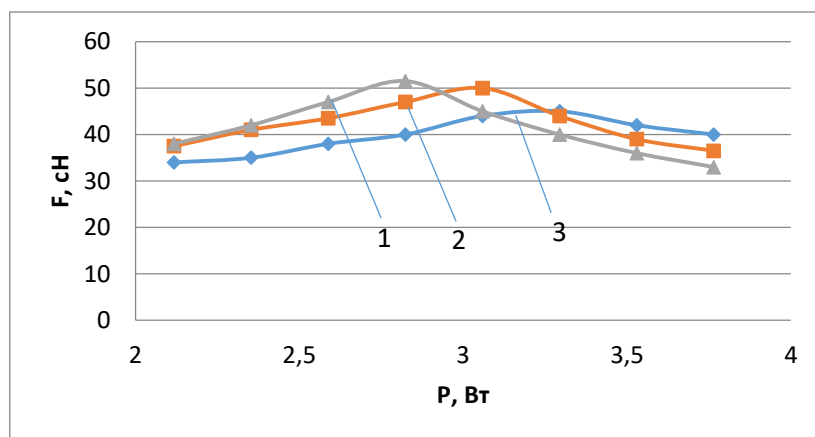
При повышении температуры прочность сварных соединений увеличивается и достигает значений 42 сН для комнатной температуре ( $T = 20$  <sup>0</sup>С) и 48,5 сН при  $T=100$ <sup>0</sup>С. С дальнейшим повышением температуры прочность сварных соединений начинает уменьшаться, так как окисление происходит на поверхности алюминиевой проволоки, так и покрытия. Прочность сварных соединений составила 47 сН при  $T=200$  <sup>0</sup>С. Максимальное значение сдвигается в сторону меньшей мощности ультразвуки, то есть при большой температуре прочность сварных соединений быстро достигает максимального значения.

Из рисунка 3 видно, что с повышением температуры прочность сварных соединений по золотым покрытиям увеличивается до 51,5 сН, а значение максимального значения прочности сдвигается в сторону меньше мощности ультразвуки. Значение прочности соединений достигает 45 сН при комнатной температуре ( $T = 20$  <sup>0</sup>С) и 51,5 сН при  $T = 200$  <sup>0</sup>С, то есть прочность соединений увеличивается на 14,44 %.



1 – T = 200 °C; 2 – T = 100 °C; 3 – T = 20 °C

Рисунок 2 – Зависимости усилия отрыва сварных соединений от мощности и температуры для корпуса с никелевым покрытием



1 – T = 200 °C; 2 – T = 100 °C; 3 – T = 20 °C

Рисунок 3 – Зависимости усилия отрыва сварных соединений от мощности и температуры для корпуса с золотым покрытием

Анализ результатов процесса термозвуковой микросварки позволяет сделать следующие выводы:

- максимальное значение прочности микросварных соединений, равное 51,5 сН, достигнуто для золотых покрытий;
- с повышением температуры зоны микросварки прочность соединений увеличивается на 12–14%.

Таким образом, термозвуковая микросварка позволяет получить высокую прочность микросварных соединений для различных покрытий корпусов интегральных схем.

#### Список литературы

- [1] Investigation of Thermosonic Wire Bonding Resistance of Gold Wire Onto Copper Pad / Yeau-Ren, Jeng, [etc.] // IEEE transactions on electronics packaging manufacturing. – 2010.– vol. 33. –№. 1.– P. 65 – 70.
- [2] Ланин, В.Л. Активация процессов формирования паяных соединений энергией ультразвуковых и электрических полей / В.Л. Ланин // Электронная обработка материалов. – 2008. – № 3. – С. 82–88.
- [3] Формирование диффузионной зоны на границе раздела биметалла никель/алюминий / С.В. Макаров, [и др.] // Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия. – 2018.– С. 29–33.

## **THERMOSONIC MICROWELDING OF INTEGRATED CIRCUIT WIRE LEADS**

**V.L. LANIN**

*Doctor of Technical Sciences*

*Professor, Department of Electronic System and Technology, BSUIR*

**G.V. NGUYEN**

*Master's student*

*Department of Electronic System and Technology, BSUIR*

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

*E-mail: vlanin@bsuir.by, giavien1996@gmail.com*

**Abstract.** The process of thermo-sonic microwelding makes it possible to increase the strength of microwelded joints with different housings. The simulation results show that temperature rise at 200 °C in a time of 1,5 – 2 s, after which the temperature on the surface of the crystal is reached up to a maximum value of 220 °C (heater temperature). The maximum strength values were obtained for the case on the aluminum surface increases for 14,28 % and reaches 48,5 sN, and for the case with gold plating for 14,44 % and reaches 51,5 sN.

**Keywords:** Thermosonic microwelding, temperature fields, microwelded joints.