

# Модификация паяльных паст углеродными нанотрубками

**Модификация бессвинцовых паяльных паст углеродными нанотрубками позволяет повысить механическую прочность паяных соединений и растекаемость припоя при их оплавлении.**

**Сергей Жданок  
Виктор Емельянов  
Владимир Ланин  
Андрей Крауклис  
Иван Борисевич**

## Введение

Паяльные пасты представляют собой однородную смесь частиц припоя с флюсом, гелеобразующими веществами и являются основным материалом для пайки электронных модулей оплавлением (инфракрасной, в парогазовой фазе, конвекционной, лазерной). В технологии поверхностного монтажа паяльная паста служит не только материалом для пайки, но и технологическим клеем, что позволяет в ряде случаев исключить нанесение клея с последующим его отверждением. Нанесение паяльной пасты с помощью трафарета или дозированием обеспечивает повторяемость объема припоя на контактных площадках, снижая вероятность образования перемычек припоя при пайке компонентов с малым шагом выводов [1].

Наноразмерные частицы находят применение в процессах получения модифицированных полимерных композитов, в космических технологиях и в других областях науки и техники. Углеродные нанотрубки (УНТ) обладают уникальным комплексом свойств, поскольку они в 50–100 раз прочнее стали и имеют в 6 раз меньшую плотность [2]. Модуль Юнга у нанотрубок вдвое выше, чем у обычных углеродных волокон. Нанотрубки не только прочны, но гибки, поскольку перестраиваются под действием механических напряжений. Однако реализация таких уникальных свойств возможна при переходе от индивидуальных УНТ к макроскопическим объектам на их основе [3].

При использовании УНТ возникает ряд проблем коллоидно-химического характера, так как большинство наноструктурных частиц агломерировано, что вызывает необходимость разработки способов их диспергирования и введения в композиции различного назначения. Эффективным способом диспергирования УНТ в жидких средах становится применение ультразвуковых (УЗ) колебаний, под действием которых в результате процессов кавитации и мелкомасштабных микропотоков ослабляются силы сцепления между УНТ. Диспергирование УНТ в жидких средах осуществляют с помощью ультразвука частотой 40 кГц в течение 10 мин при мощности 60 Вт. В качестве жидких сред используют водные растворы ПАВ. Исходная концентрация дисперсной фазы в суспензиях может варьироваться в пределах 0,01–0,5% масс. [4].

Модифицированные УНТ паяльные пасты и припои проверяют на прочность сформированных паяных соединений и на растекание припоя по контактными поверхностям. Добавки УНТ в легкоплавкие бессвинцовые припои на основе олова улучшают паяемость, измельчают структуру припоя и тормозят рост интерметаллидов, увеличивают механическую прочность паяных соединений. При оптимальной концентрации УНТ 0,075% прочность соединений припоем Sn-Cu повысилась в 1,4 раза и достигла 25,1 МПа [5].

В работе исследуется влияние УНТ, вводимых в паяльные пасты на основе бессвинцовых припоев, на механические свойства паяных соединений и паяемость покрытий электронных компонентов.

## Методика экспериментальных исследований

Для исследований использовалась бессвинцовая паста Lead Free Solder Koki (+ 217 °С) Korea Co., Ltd. В качестве модифицирующей добавки в паяльную пасту вводился углеродный наноматериал «Арт-нано» (ТУ ВУ 690654033.001-2011), производимый в ООО «Передовые исследования и технологии» (г. Минск) по технологии пиролизного разложения сжиженного газа. Материал представляет собой смесь углеродных нанотрубок среднего диаметра 30–40 нм и длиной 0,5–1,5 мкм. Перед введением в пасту сырой материал подвергался комплексной обработке в шаровой мельнице, центрифугированию, функционализации. На рис. 1 и 2 показаны фотографии с просвечивающего (ПЭМ) и сканирующего (СЭМ) электронного микроскопа обработанного углеродного материала. Дисперсионный состав материала анализировался на лазерном измерителе диаметра частиц Analizette-22.

Для испытаний модифицированных составов паст были выполнены паяные соединения внахлест типа IV в соответствии с ГОСТ 82280-90 при температуре пайки  $(240 \pm 5)$  °С (рис. 3).

Образцы, изготовленные из латунной ленты Л62 толщиной 0,7 мм, паялись индукционным нагревом на частоте 66 кГц в течение 70 с. Термопрофиль индукционной пайки приведен на рис. 4. Контроль прочности паяных соединений на сдвиг проводился с помощью разрывной машины НПЦ-13.04.5 с регистрацией кривой нагружения на дисплее компьютера.

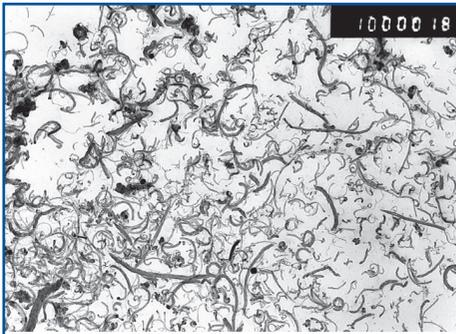


Рис. 1. ПЭМ-фотография материала



Рис. 2. СЭМ-фотография материала

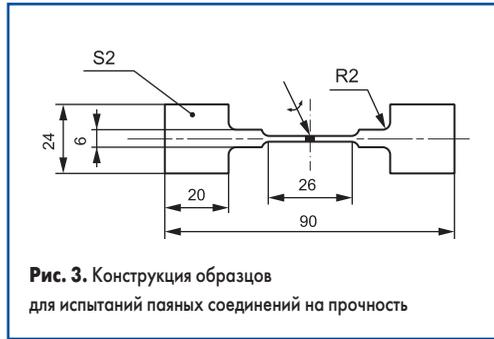


Рис. 3. Конструкция образцов для испытаний паяных соединений на прочность

Таблица 1. Экспериментальные данные по прочности паяных соединений на сдвиг образцов из латуни

Содержание УНТ%	Площадь, мм <sup>2</sup>	F, Н	P, МПа
–	20	720	36
0,01	13	530	40,7
0,02	13	580	44,6
0,03	13	600	46,2
0,03	13	620	47,7
0,05	13	523,3	40,2

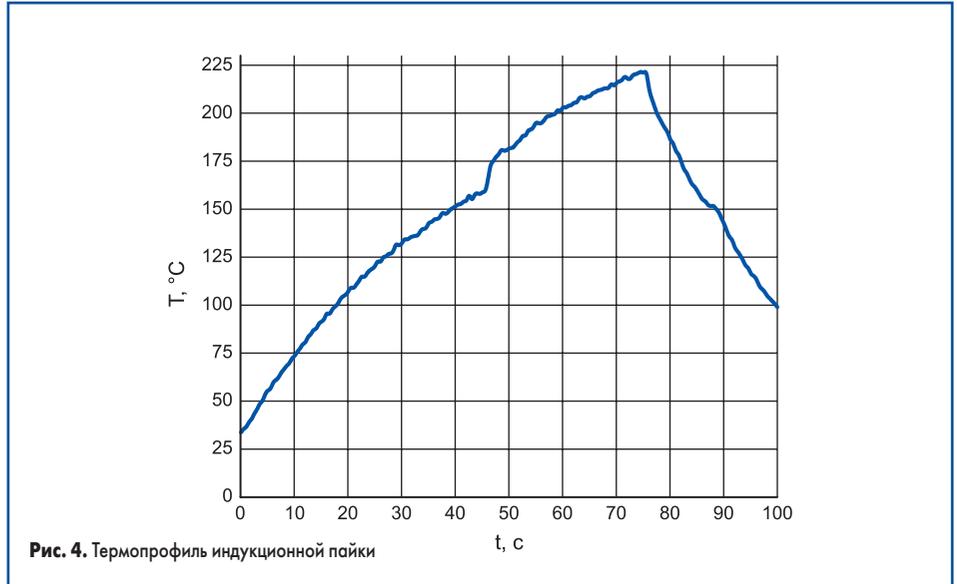


Рис. 4. Термопрофиль индукционной пайки

Зависимости усилия на сдвиг от перемещения захвата образца приведены на рис. 5, а экспериментальные данные по прочности паяных соединений — в таблице 1.

Испытания на паяемость проводились на поверхностях образцов из меди с серебряным покрытием толщиной 6 мкм при температуре +245 °С, при массе пасты 250 мг. Коэффициент

растекания припоя определяли по высоте капли припоя до и после растекания (рис. 6) и по их соотношению оценивали паяемость:

$$K_{p2} = (H_0 - H_p) / H_0 = 1 - H_p / H_0, \quad (1)$$

где  $H_p$  — высота капли припоя после растекания;  $H_0$  — высота «лежащей» капли припоя

до растекания, которая находится из условий несмачивания поверхности:

$$H_0 = \sqrt{2\sigma_{1,2} / \rho g}, \quad (2)$$

где  $\rho$  — плотность припоя;  $g$  — ускорение силы тяжести;  $\sigma$  — поверхностное натяжение на границе припой — металлическая поверхность.

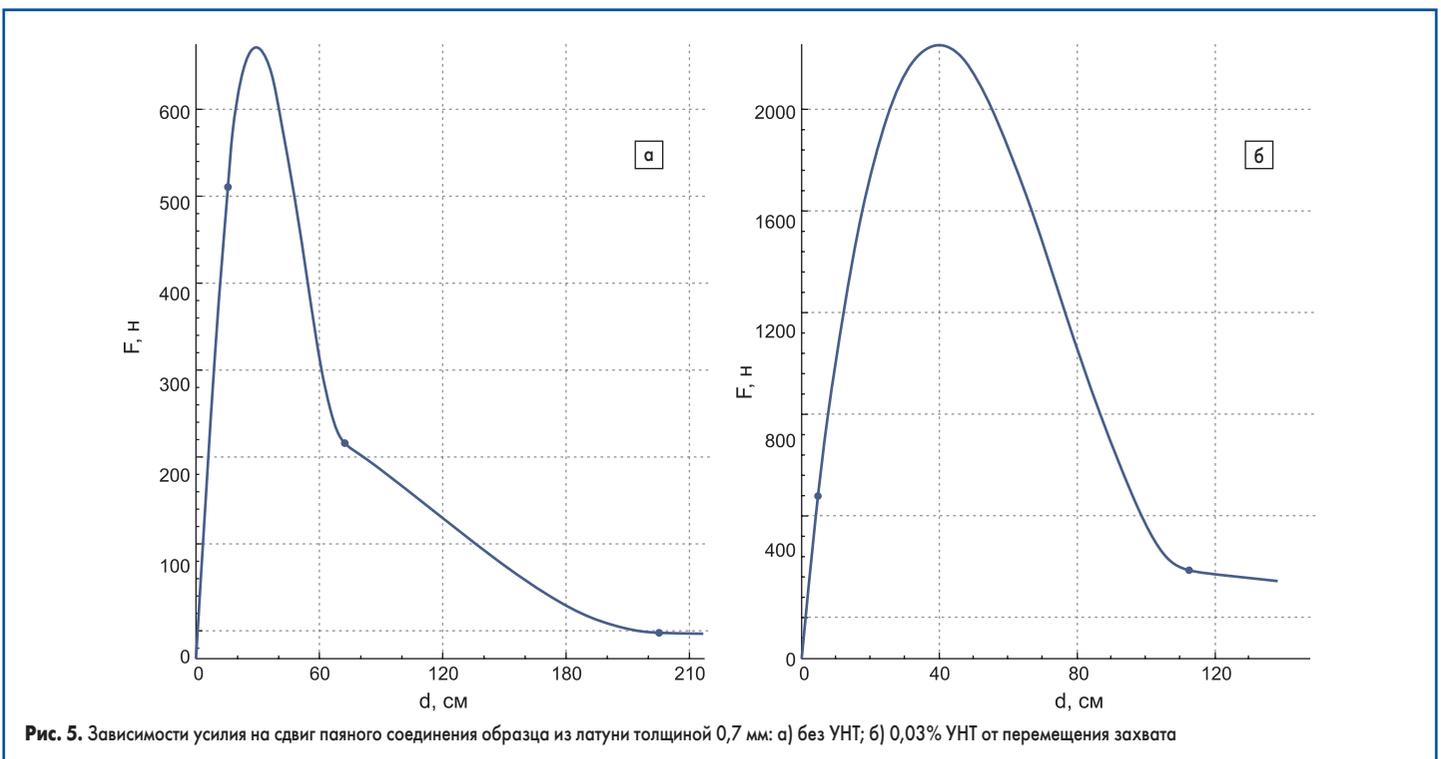
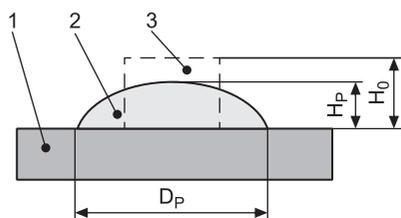


Рис. 5. Зависимости усилия на сдвиг паяного соединения образца из латуни толщиной 0,7 мм: а) без УНТ; б) 0,03% УНТ от перемещения захвата



**Рис. 6.** Схема определения коэффициента растекания припоя:  
1 — образец металла; 2 — припой после растекания; 3 — доза припоя

**Таблица 2.** Экспериментальные данные по растекаемости паст с УНТ

Флюс	УНТ	Высота капли, мкм	Коэффициент растекания, %	Паяемость
–	–	1040	74	Удовлетворительная
ФКТ	–	1005	74,9	Удовлетворительная
СКФ	0,01%	1015	74,6	Удовлетворительная
СКФ	0,02%	818	79,5	Удовлетворительная
СКФ	0,03%	763	80,9	Хорошая

Результаты оценки паяемости серебряных покрытий пастами с УНТ с использованием спирто-канифольных флюсов ФКТ и СКФ с содержанием канифоли до 40%, рекомендуемых для пайки электронных компонентов, приведены в таблице 2, а внешний вид растекания капель припоя показан на рис. 7.

### Выводы

Механическая прочность паяных соединений, полученных с помощью бессвинцовых паяльных паст Lead Free Solder KOKI Korea Co., Ltd, модифицированных УНТ, увеличивается в 1,2–1,4 раза, дости-



**Рис. 7.** Образцы растекаемости пасты на серебряном 0,6-мкм покрытии с процентным содержанием УНТ: а) 0,01%; б) 0,02%; в) 0,03%

гая максимального значения 47,7 МПа при содержании УНТ 0,03%. Растекаемость припоя при оплавлении модифицированных паст по серебряным покрытиям также улучшается, но в меньшей степени. При содержании УНТ 0,01% растекаемость припоя улучшается на 0,6%, при 0,02% — 5,5%, при 0,03% — 6,9%. Таким образом, введение УНТ в паяльные пасты в оптимальном количестве позволит улучшить характеристики бессвинцовых припоев.

### Литература

1. Ли Н.-Ч. Технология пайки оплавлением, поиск и устранение дефектов: поверхностный монтаж, BGA-, CSP- и Flip-Chip-технологии. М.: Технологии, 2006.
2. Раков Э. Г. Нанотрубки и фуллерены. М.: Университетская книга, Логос, 2006.
3. Сухно И. В., Бузько В. Ю. Углеродные нанотрубки. Ч. 1. Высокотехнологические применения. Краснодар. 2008.
4. Гатауллин А. Р. и др. Диспергирование одностенных углеродных нанотрубок и фуллеренов C60 в воде и в водных растворах ПАВ // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 10.
5. Xu K.-K. et al. The Influence of Carbon Nanotubes on the Properties of Sn Solder // Materials Transactions. 2020. Vol. 61. No. 4.