

УДК 621.3

С.П. Наджерничний, П.В. Голубєв

## Оцінка змочування компонентів поверхневого монтажу установками TherMoire та Microcad

В данной работе предложен новый метод оценки смачивания припоем электронных компонент поверхностного монтажа. Для выполнения экспериментов были применены две оптические системы, которые позволяют фиксировать высоту компонента во время пайки – типа TherMoire (Thermal Moire) и типа MicroCAD (Computer Aided Design). Для анализа смачивания определялось изменение высоты компонента по отношению к плате и время смачивания. В результате проведенных экспериментов были установлены типы пасты и виды поверхностей печатных плат, для которых исследуемые компоненты обладали наилучшей смачиваемостью.

New method of wetting test for surface mount technology of electronic components was offered in this paper. Two optical systems for fixation of component height during the soldering – type TherMoire (Thermal Moire) and type MicroCAD (Computer Aided Design) were used for realization of experiments. The height change of component relatively to printed board and wetting time was estimated for analysis of solder wetting. As a result of performed experiments the types of pastes and the kinds of surfaces of printed circuit boards, for which investigated components have the best wetting, were estimated.

**Ключевые слова:** смачивание, поверхностный монтаж, печатная плата, паста, статистический анализ.

### Вступ

На сьогодні основними проблемами при виготовленні електронних модулів являються пустоти в припаї (особливо для BGA компонентів), бусинки припаю та ефект могильної плити [1]. Однією з основних причин являється недостатнє змочування компонентів під час пайки.

Проблема змочування електронних компонентів під час пайки є актуальною і потребує знаходження нових шляхів її вирішення. На сьогодні розробляються нові безсвинцеві припаї та паяльні пасты на їх основі, які мають бути досліджені ефективними методами оцінювання. Тому розробка нових методів оцінки змочування заслуговує на належну увагу.

Активні дослідження методик оцінки змочування розпочалися ще на початку 90-х років минулого сторіччя. Відтоді були розвинуті наступні методи – тест змочування, метод краплі припаю, тест меніска припаю, тест поширення краплі припаю [2]. В даний момент найпоширенішим тестом, який фіксує динаміку змочування є тест змочування. Принцип дії цього тесту ґрунтується на тому, що до спеціальних терез підвішується компонент та потім опускається у припай. В цей час вимірюється сила змочування та час змочування. Вже знаходяться у комерційному використанні відповідні вимірювальні системи (наприклад, System Must 3 фірми Gen3 Systems), в яких процес дослідження повністю автоматизований. Основним недоліком існуючих методів оцінки змочування являється проведення досліджень в лабораторних умовах. Тобто отримані результати тесту змочування можна тільки якісно розширити на реальний процес пайки.

Метою даної роботи була розробка методики оцінки змочування, використання б якої відповідало вимогам реальних процесів пайки. В роботі пропонується вимірювати відносне зниження компоненту під час пайки. На основі отриманих даних стає можливим кількісно оцінити рівень змочування компонентів в реальних умовах. Характеристиками оцінювання є величина відносного зниження компонента та час, протягом якого відбулося зниження. На основі проведених експериментів (для різних типів паст та типів поверхонь друкованих монтажних плат) та статистичного аналізу робиться оцінка рівня змочування для заданих комбінацій.

### Виконання експериментів

Для досліджень були використані резистори типу 1206, які мають геометричні розміри 3,2x1,6 мм<sup>2</sup>. Спочатку на друковану плату в місцях контактних площадок наноситься паста (друк через шаблон). Потім на ці області монтуються резистори. Для даних досліджень були застосовані 3 типи паст (F640, F823, F815 фірми Heraeus) та три типи поверхонь друкованих плат (Cu, OSP, chemical Sn). Пасты F640 та F823 відносяться до типу SAC305 (Sn<sub>96,5</sub>Ag<sub>3</sub>Cu<sub>0,5</sub>) з  $T_{пл}=217^{\circ}\text{C}$ , які відрізняються тільки складом флюсу. Паста F815 має тип Sn<sub>63</sub>Pb<sub>37</sub>,  $T_{пл}=183^{\circ}\text{C}$ . Захисна поверхня OSP (organic surface protec-

tion) отримується методом, у якому виготовлену друковану плату з мідною металізацією опускають у розчин бензімідазолу, внаслідок чого формується захисне покриття товщиною  $0,2 \pm 0,5$  мкм. Функцією даного покриття являється захист мідної поверхні від окисації в оточуючому середовищі. При цьому під час пайки вже при температурі приблизно  $150^\circ\text{C}$  органічне покриття випаровується та власне пайка компонента відбувається вже на мідній поверхні. Тип поверхні chemical Sn (хімічне олово) отримується методом хімічного осадження олова на мідну поверхню друкованої плати. Товщина нанесеного шару не перевищує 2 мкм.

Основною ідеєю проведених досліджень є те, що під час пайки компонента внаслідок змочування припаєм його висота зменшується від початкового рівня до кінцевого стаціонарного стану [3]. Внаслідок цього кількісною характеристикою змочування виступають відносно зменшення висоти компонента та час, протягом якого відбулося змочування. Відповідні фази пайки представлені на рис. 1.

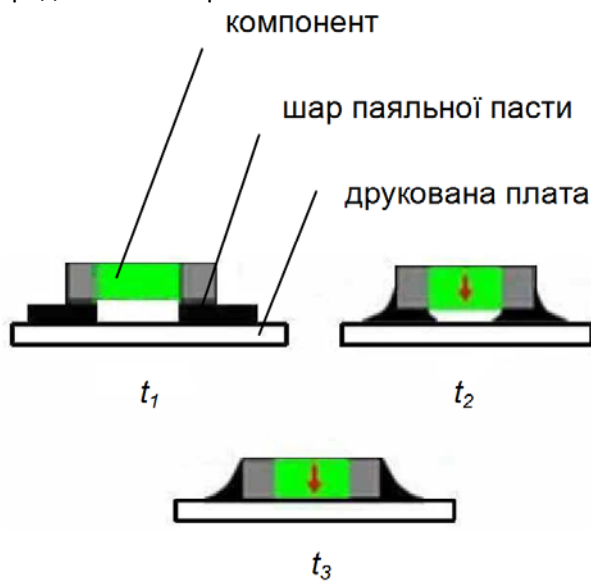


Рис. 1. Змочування компонента під час пайки:  $t_1$  - початковий момент часу;  $t_2$  - момент часу, що відповідає процесу змочування;  $t_3$  - кінцевий момент часу

В перший момент часу резистор установлюється на друковану плату. В процесі пайки, коли досягається температура плавлення пасти, металічні контакти компонента починають змочуватися, внаслідок чого відбувається зниження висоти розміщення компонента. В кінці змочування компонент займає стаціонарний стан. Таким чином, в кожний момент вимірювання фіксується висота компонента. На основі отриманих даних будується графічна залежність відносної висоти компонента від часу пайки. Потім оцінюються ці-

льові величини  $\Delta H$  (відносне зниження чипу під час пайки) та  $\Delta T$  (час змочування).

Для виконання даних досліджень були застосовані армовані друковані плати з матеріалу FR-4 на основі епоксидної смоли. Для обох оптичних установок TherMoire та MikroCAD були застосовані друковані плати однакового розміру  $70 \times 70 \text{ мм}^2$ , які відрізнялися зовнішньою побудовою металізації в зв'язку з необхідністю урахування способу монтажу та вимірювання параметрів (рис. 2).

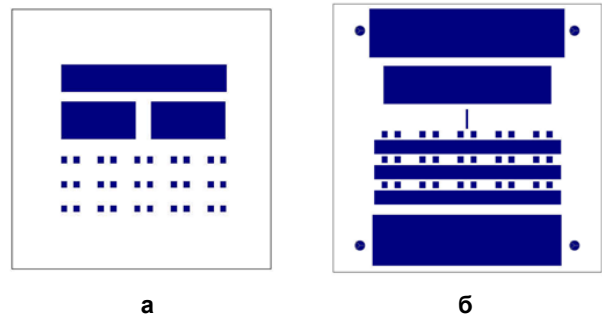


Рис. 2. Зовнішній вигляд друкованих плат для TherMoire (а) та MikroCAD (б) обладнання. Чотирикутниками позначені мідні площадки

Під час виконання досліджень на відповідні місця друкованої плати друкується паста через отвори мідного шаблону. Товщина пасти приблизно становить 150 мкм. Після цього на друковану плату установлюються резистори. Надалі проводяться безпосередні дослідження змочування компонентів з допомогою TherMoire та MikroCAD обладнання.

TherMoire установка представляє собою спеціальну шафу з нагрівальною камерою, в яку вміщується досліджуваний об'єкт. В установці реалізується нагрівання з допомогою інфрачервоного випромінювання зі швидкістю  $1^\circ\text{C}/\text{с}$  до максимальної робочої температури  $300^\circ\text{C}$ . Похибка визначення висоти розміщення компонента складає 2 мкм. Принцип дії установки базується на ефекті тінювого муара (зображення формується як суперпозиція чотирьох муарових картинок) [4]. Система контролюється та управляється комп'ютером.

MikroCAD установка працює на принципі проектування світлових смуг на досліджувану область. Час проектування однієї серії смуг приблизно становить 5 секунд. Точність визначення розміщення об'єкта по вертикалі становить 1 мкм. Для виконання досліджень змочування електронних компонент додатково застосовується резистивний нагрівальний елемент з плоскою керамічною основою. Таким чином в установці використаний конвекційний нагрів. Необхідно мати на увазі, що максимальні розміри зони дослідження становлять  $53 \times 40 \times 10 \text{ мм}^3$ .

Тому зона дослідження розміщується всередині плати розміром  $70 \times 70$  мм<sup>2</sup>. Управління установок виконується через комп'ютер.

Особливістю роботи нагрівальної камери TherMoire установок є те, що під час вимірювання топографічного профілю досліджуваного об'єкта (час вимірювання приблизно становить 3 секунди) джерело інфрачервоного випромінювання нагрівальної камери має бути вимкненим, щоб не порушувати роботу вимірювальної системи. Внаслідок цього під час пайки реальний температурний профіль відхиляється від заданого (рис. 3а). На відміну від TherMoire, MicroCAD установка виконує вимірювання топографії об'єкта безперервно та без вимкнення нагрівального елемента. При цьому пайка друкованої плати виконується без коливань температури (рис. 3б). Температури в обох установках вимірюються з допомогою термодатчиків.

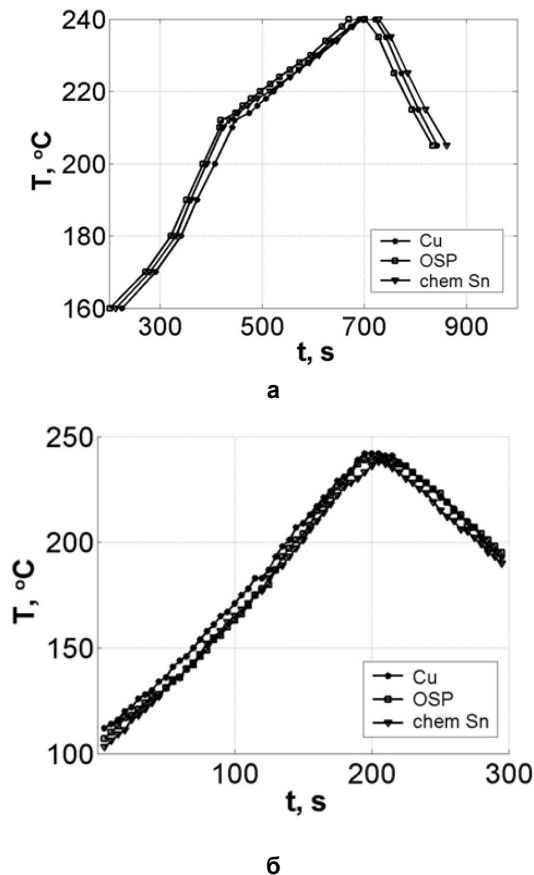


Рис. 3. Температурні профілі пайки для пасти F640 та різноманітних типів металізації (Cu, OSP, chemical Sn) для установок TherMoire (а) та MicroCAD (б)

До складу обох оптичних систем входять відеокамери (типу CCD), які під час вимірювань реєструють топографічні профілі вимірюваних об'єктів. Сигнал з відеокамери поступає на комп'ютер та обробляється вбудованим програмним забезпеченням відповідної установки. Результати програмної обробки представлені даними у вигляді текс-

тових файлів. Вигляд топографічних профілів для обох установок представлений на рис. 4. На даних рисунках чітко виражені чипи, зміна висоти яких при пайці реєструється оптичними системами. Зовнішній вигляд рис. 4а обумовлений формуванням муарової картинки.

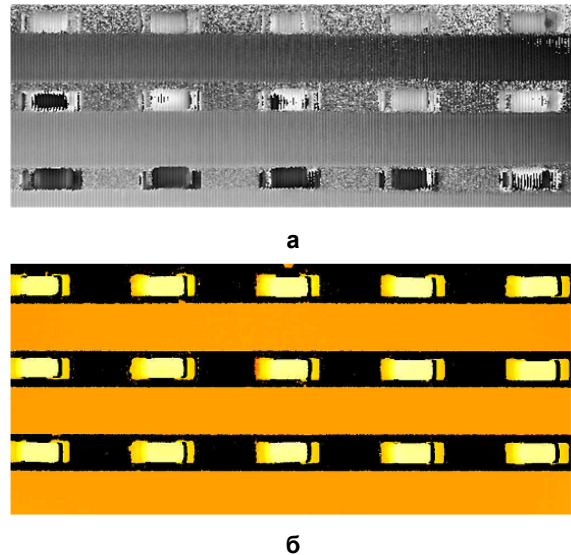


Рис. 4. Топографічні профілі друкованої плати для TherMoire (а) та MicroCAD (б) установок

#### Обробка даних

Текстові файли представляють собою данні, в яких кожній координаті  $X$  та  $Y$  топографічного профілю відповідає висота цієї точки  $H$ . Отримані дані в подальшому обробляються за допомогою спеціально розробленої нами програми у середовищі Matlab. Таким чином стає можливим отримати профіль зміни висоти компонента в будь-який момент часу. З отриманих даних програма обчислює такі цільові величини (рис. 5):

- 1)  $\Delta H$  – відносне зниження чипа під час пайки
- 2)  $\Delta T$  – час, протягом якого відбулося змочування

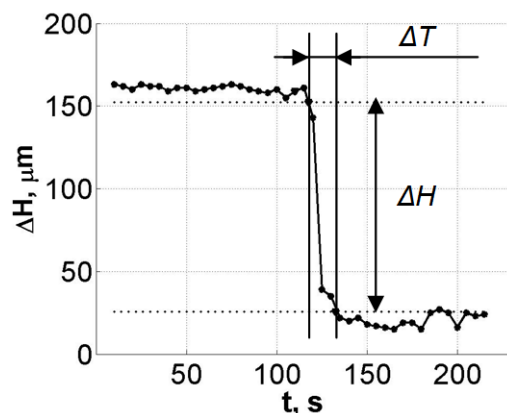


Рис. 5. Профіль зміни висоти розміщення компонента під час пайки

Умови для проведення тесту та матеріали, які були застосовані при проведенні експериментів, представлені у зведеному вигляді в табл. 1.

### Результати експериментів

Типовий вид графіка зміни висоти компонента від часу пайки представлений на рис. 5. Під час нагрівання друкованої плати до температури плавлення пасти висота резистора не змінюється. Деякі незначні флуктуації можна пояснити динамікою процесу, оскільки нагрівання пасти призводить до активації флюсу та проходження процесу дезоксидації металічної поверхні друкованої плати. Також при цьому виділяються продукти реакції у вигляді газів, які і спричиняють коливання рівня висоти чипа. Після досягнення температури плавлення пасти відбувається процес змочування компонента. Частина припою завдяки силам поверхневого натягу змочує верхні частини металізації резистора і завдяки даному процесу відбувається осідання компонента під час пайки. Даний процес дуже чітко відображено на рис. 5. Після різкого зниження компонента його висота розміщення у процесі пайки надалі майже не змінюється.

При виконанні експериментів було проаналізовано 129 резисторів установкою TherMoire та 213 резисторів установкою MicroCAD. Для вирішення питання, на скільки суттєво впливають тип пасти або тип поверхні друкованої плати на змочування компонентів, був проведений статистичний аналіз для двох гіпотез.

Гіпотеза  $H_0$ : різноманітні типи одного фактора (паста або поверхня друкованої плати) призводять до однакового впливу на цільову величину.

Гіпотеза  $H_1$ : різноманітні типи одного фактора призводять до різного впливу на цільову величину. Це означає, що при заданому рівні ста-

тистичної значущості (5%) різний вплив на цільову величину є доказовим.

Статистичний аналіз отриманих даних відносно цільових характеристик ( $\Delta H$  та  $\Delta T$ ) проводився програмою статистичної обробки Statgraphics Centurion XV.

Основні результати статистичного аналізу для обох установок відносно цільових величин представлені у табл. 2.

Зі статистичного аналізу відносно гіпотез  $H_0$  та  $H_1$  випливає, що для обох установок вплив типу пасти на зміну висоти чипа під час пайки є визначальним. Це легко можна бачити на рис. 6. Тут зображені середні значення  $\Delta H$  з довірчими інтервалами для різних типів паст. Коли для певних типів паст довірчі інтервали не перекриваються, тоді ці фактори по-різному впливають на цільову величину. Це спостерігається для обох установок для пасти F823. Довірчі інтервали пасти F823 не перекриваються з довірчими інтервалами інших паст. При цьому величина  $\Delta H$  для пасти F823 має найнижчі значення серед всіх паст як для TherMoire, так і для MicroCAD установок. Натомість для TherMoire установки між пастами F640 та F815 не має різниці. Але для MicroCAD установки вплив кожної з паст на величину  $\Delta H$  є різним. Також слід відмітити, що для обох установок паста F815 призводить до максимально можливої величини  $\Delta H$ . Із аналізу залежності зміни висоти компонента від типу поверхні друкованої плати випливає (рис. 7), що для MicroCAD установки відмінності між типами поверхонь не є суттєвими. Натомість для TherMoire установки існують суттєві відмінності тільки між поверхнями Cu та OSP.

Таблиця 1. Умови тестування та матеріали для дослідження змочування

Електронний компонент	Резистор	1206		
		F640	F815	F823
Паста	Тип пасти	F640	F815	F823
	Склад	Sn <sub>96.5</sub> Ag <sub>3</sub> Cu <sub>0.5</sub>	Sn <sub>63</sub> Pb <sub>37</sub>	Sn <sub>96.5</sub> Ag <sub>3</sub> Cu <sub>0.5</sub>
	Товщина, мкм	150		
	Розмір ділянки (після друку), мм <sup>2</sup>	1,5x1,6		
Друкована плата	Матеріал	FR-4		
	Товщина, мм	1.2		
	Тип поверхні	Cu	OSP	Chemical Sn
	Розмір ділянки металізації, мм <sup>2</sup>	1,5x1,6		
Атмосфера	повітря			

Таблиця 2. Середні значення цільових величин при відповідних типах пасти та поверхні друкованої плати

Цільова величина	$\Delta H$ , мкм						$\Delta T$ , с					
	F640	F815	F823	Cu	OSP	chem Sn	F640	F815	F823	Cu	OSP	chem Sn
TherMoire	74	73	24	48	69	54	96	91	101	75	81	133
MicroCAD	90	113	21	67	66	59	18	16	15	22	16	12

Із аналізу залежності часу змочування від факторів впливу видно, що статистично значуща різниця існує тільки для MicroCAD установки між Cu та chemic Sn поверхнями (рис. 8). При порівнянні середніх значень часу змочування виходить, що для TherMoire найбільше значення  $\Delta T$  набуває при chemic Sn поверхні, а для MicroCAD – при Cu поверхні.

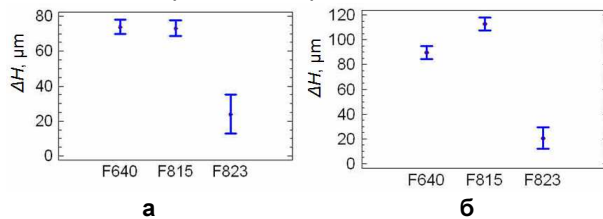


Рис. 6. Зміна висоти компонента  $\Delta H$  (середнє значення з довірчими інтервалами) для різних типів паст для установок TherMoire (а) та MicroCAD (б)

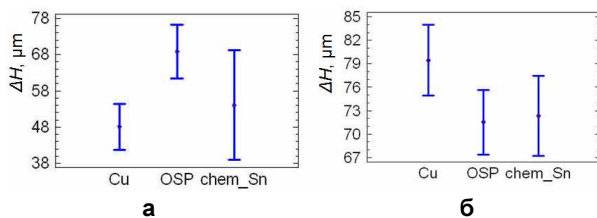


Рис. 7. Зміна висоти компонента  $\Delta H$  (середнє значення з довірчими інтервалами) для різних типів поверхонь друкованих плат для установок TherMoire (а) та MicroCAD (б)

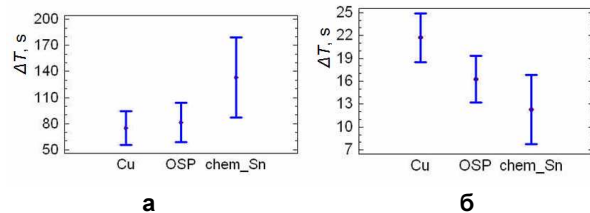


Рис. 8. Залежність часу змочування  $\Delta T$  (середнє значення з довірчими інтервалами) від типу поверхні друкованої плати для установок TherMoire (а) та MicroCAD (б)

## Висновки

В даній роботі був апробований новий метод оцінювання змочування електронних компонентів поверхневого монтажу з використанням оптичних систем TherMoire та MicroCAD.

Для аналізу змочування були обрані параметри - зміна висоти компонента під час пайки та час змочування. Дані параметри обчислюються з залежностей висоти компонента від часу. Аналіз був проведений для трьох типів паст та трьох типів поверхонь друкованих плат.

Були застосовані друковані плати з матеріалу FR-4 розмірами 70x70x1,2 мм<sup>3</sup>, на які наносилася паяльна паста товщиною 150 мкм та потім монтувалися резистори типу 1206 розмірами 3,2x1,6x0,6 мм<sup>3</sup>.

Результати експериментів показали, що найкраще змочування мають компоненти при застосуванні паст F640 та F815, хоча паста F640 та F823 мають однаковий склад паст. Це означає, що паста F823 має такий склад флюсу, що не може в повній мірі задовольнити потреби якісного змочування.

Дослідження впливу типу поверхні друкованої плати на змочування компоненти показало, що при застосуванні поверхні chemic Sn отримуються досить нестабільні результати. Це може пояснюватися окисацією поверхні chemic Sn внаслідок зберігання.

## Література

1. *Gregory Morose, Sammy Shina, Robert Farrell, Michael Ellenbecker, Rafael Moure-Eraso. Evaluation of Lead-free Solders, Halogen-free Laminates, and Nanomaterial Surface Finishes for Assembly of Printed Circuit Boards for High Reliability Applications. Journal of Surface Mount Technology, October – December 2009, Volume 22, Issue 4, p. 13-21.*
2. *В. Ланин. Оценка паяемости электронных компонентов и деталей в электронике. Компоненты и технологии, №2, 2008, с.150-154.*
3. *Kiyokazu Yasuda. Characterization for Dynamic Micro Wetting of Lead-Free Solder Paste, ESTC conference, Greenwich, London, 1-4.09.2008, p. 1349-1352.*
4. *H. Wohlrabe. Warpage Measurements of SMD-Components under Soldering Conditions. Electronics Technology, 2009. ISSE 2009. 32nd International Spring Seminar.*