

УДК 621.396.6.019.3 : 620.172.21

Ю.М. БОЙКО, І.І. КОВТУН, С.В. ПЕТРАЩУК, Р.А. ТЕРТИЧНИЙ  
Хмельницький національний університет**ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМУВАННЯ ВИВОДІВ ДИСКРЕТНИХ КОМПОНЕНТІВ  
НА ПЕРЕДАЧУ ДЕФОРМАЦІЙ ВІД ОБ'ЄДНУВАЛЬНОЇ ПЛАТИ**

Метою представленого дослідження є виявлення і оцінка впливу технології та способів монтажу електронних компонентів на виникнення та передачу напружень і деформацій в конструкціях об'єднувальної плати. В якості об'єктів дослідження були вибрані металокерамічні резистори ОМЛТ-0,125 встановлені на об'єднувальну плату за технологією наскрізного монтажу в трьох варіантах формування виводів. Для експериментального дослідження деформацій та напружень встановлених електронних компонентів було використано метод статичного випробування під дією зовнішнього механічного навантаження на згин та метод електротензометрії. З метою забезпечення ідентичності напружено-деформованого стану резисторів, змонтованих на об'єднувальній платі за вказаними технологіями формування виводів, випробування проводились навантаженням плати на розробленій установці за схемою чистого згину. Порівняльний аналіз результатів експериментальних досліджень показав, що запропонований спосіб високого наскрізного монтажу електронних компонентів на об'єднувальній платі дозволяє зменшити передачу деформацій від об'єднувальної плати до електронних компонентів, порівняно із технологією низького наскрізного та поверхневого монтажу.

Ключові слова: друкована плата, електронний компонент, паяне з'єднання, короблення, напруження, деформація.

J. BOIKO, I. KOVTUN, S. PETRASHCHUK, R. TERTYCHNY  
Khmelnytsky National University**EFFECTS OF LEAD FORMING TECHNOLOGY FOR DISCRETE COMPONENTS TO STRAIN TRANSMISSION  
FROM MAIN BOARD**

The main boards of electronic packages to be their main building blocks are likely to be exposed to variety of external impacts as in manufacturing so in exploring conditions, which effect main board substrates and installed electronic components to bear mechanical strain and stress, which are often the main reasons of damages and malfunctions in the electronic packages. The research represented in the paper is aimed at identification and assessment of the strain and stress, which is produced and transmitted in the main board assemblies with respect to their installation technology. The identification of mechanical interaction between parts of printed circuit boards is based on representing them as mechanical system "main board – electronic component", in which producing and transmitting strain depends on rigidity of their parts, in particular leads of the electronic components. The consideration was made to reduce rigidity of leads in order to reduce strain transmission from main board to installed electronic components due to changes in installation technologies that implied forming mounting leads so as to increase their length. The research objectives were chosen to be metal-ceramic resistors OMLT-0.125 installed on the main board by using through-hole technology in three variants of installation: high; low; and standard. The experimental research of strain and stress in installed electronic components was performed by using method for mechanical static bending test and method for electro-tensometry. In order to provide identical strain and stress conditions during tests for all resistors mounted on the main board by mentioned technologies their tests were conducted by using test appliance designed to provide pure bending to tested boards. The assessment of the obtained research data indicated that the proposed installation technology by through-hole high installation of electronic components on the main boards allows reducing strain transmission from the main board to the installed electronic components against technologies of low and standard installation.

Keywords: printed circuit board, electronic component, solder joint, warpage, stress, strain.

**Вступ**

Одним із основних вузлів сучасної електронної апаратури є друкована плата, на яку встановлюють мікросхеми, дискретні компоненти, роз'єми, провідники та інші електронні компоненти. Такі плати часто називають об'єднувальними або функціональними.

Об'єднувальна плата складається із основи – пластини, виконаної із діелектрика (склотекстоліту, текстоліту, гетинаксу, ситалу тощо), на поверхні або/і всередині якої сформовано хоча б один шар з провідними доріжками. На основу плати монтується електронні компоненти, які з'єднуються своїми виводами із елементами провідного рисунку (контактними площадками). Основним методом отримання електричних з'єднань, а також кріплення компонентів в вузлах і блоках електронних систем, залишається на сьогоднішній день пайка або, значно рідше, зварювання.

Паяні з'єднання є широким класом нероз'ємних з'єднань, утворення яких здійснюється в результаті взаємодії матеріалів деталей із матеріалом припою [1, 2, 3]. Кристалізація, тобто затвердіння припою утворює електричний контакт та жорсткий механічний зв'язок між об'єднувальною платою та електронними компонентами забезпечуючи підтримку останніх на платі. Завдяки механічному зв'язку, який представляє собою жорстке і нерухоме защемлення двох або більше виводів електронних компонентів, виникає взаємодія об'єднувальної плати з тілами електронних компонентів через вузли паяних з'єднань, які виступають тепер механічними в'язями. Защемлення виводів ЕК створює передумови для виникнення та передачі деформацій і напружень у всіх ланках механічного зв'язку, тобто в об'єднувальній платі, електронних компонентах, контактних вузлах та виводах.

Такі деформації і напруження виникають в результаті дії як експлуатаційних факторів, так і технології монтажу і слід зазначити, що саме вони не рідко виявляються причиною руйнування електричних ланцюгів та втрати працездатності електронних вузлів та модулів.

Метою представлено дослідження є виявлення та оцінка впливу технології та способів монтажу електронних компонентів на виникнення та передачу напружень і деформацій в конструкціях об'єднувальної плати.

### Характер механічної взаємодії в системі «об'єднувальна плата – електронний компонент»

Наскрізний монтаж електронних компонентів з двома осьовими виводами (наприклад, резисторів, конденсаторів та діодів) здійснюється шляхом згинання виводів під кутом 90 градусів в одному напрямку, та установки в металізовані отвори друкованої плати, паяння виводів і обрізання кінців; часто виводи, що знаходяться на зворотній стороні плати, згинають в протилежних напрямках з метою підвищення їх механічної міцності. У технології поверхневого монтажу компонент розміщується на друкованій платі таким чином, щоб виводи розташовувались на поверхні контактних площадок і потім припаювались.

Аналіз експлуатації виробів електроніки показує, що за існуючої технології формування виводів мали місце їх численні поломки, що спричинило порушення функціональної працездатності електронних вузлів та блоків [2–6].

Всі елементи механічної системи, яка представляє собою нероз'ємне паяне з'єднання між об'єднувальною платою та дискретним компонентом, відчувають в тій чи іншій мірі пружні деформації. Перш за все, це лінійні деформації та деформації згину. Наявність в такому ланцюзі пружних робочих органів, зокрема виводів, що зв'язують об'єднувальну плату та електронний компонент, однозначно визначає необхідність врахування пружних властивостей цих елементів, таких як модуль пружності та коефіцієнт лінійної жорсткості.

У відповідності до закону Гука механічне напруження при розтягу визначається так [7]:

$$\sigma = \varepsilon \cdot E, \quad (1)$$

де  $\varepsilon$  – відносна деформація (видовження) тіла;  $E$  – модуль Юнга матеріалу тіла.

Відносна деформація тіла визначається за формулою:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}, \quad (2)$$

де  $\Delta l$  – деформація тіла;  $l$  – початкова довжина тіла.

Механічне напруження  $\sigma$  також представляє собою інтенсивність розподілення внутрішньої сили опору матеріалу на площі його поперечного перерізу:

$$\sigma = \frac{F}{S}, \quad (3)$$

де  $F$  – внутрішня сила опору матеріалу;  $S$  – площа поперечного перерізу тіла.

Для врахування впливу конструктивних особливостей виводів електронних компонентів на вид залежності між силовим параметром і деформацією закон Гука записується у виді:

$$F = C \cdot \Delta l, \quad (4)$$

де  $C$  – коефіцієнт жорсткості тіла.

Враховуючи формули (1–4) вираз для коефіцієнту жорсткості прийме вид:

$$C = \frac{E \cdot S}{l} \quad (5)$$

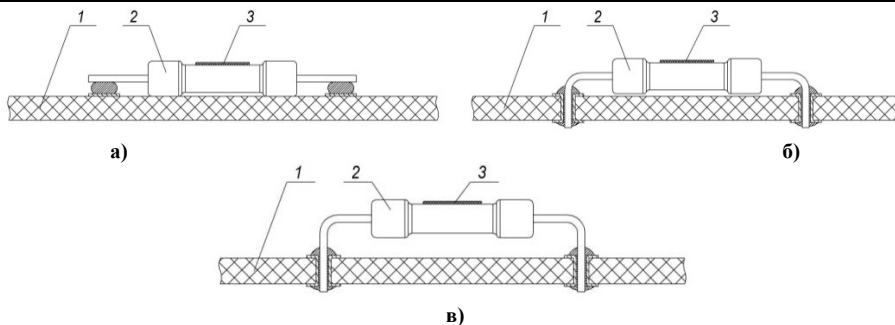
Таким чином  $C$ , від якого залежить створення та передача деформації в механічній системі «об'єднувальна плата – електронний компонент», в свою чергу, залежить від таких параметрів виводів електронного компонента, як модуль Юнга  $E$ , площа поперечного перерізу  $S$  та довжина  $l$ .

Було запропоновано зменшити жорсткість виводів, що дозволяло б зменшити передачу деформації від об'єднувальної плати до електронного компоненту, шляхом внесення зміни в технологію монтажу за рахунок формування монтажних виводів із збільшенням їх довжини.

### Випробування об'єднувальних плат під дією зовнішнього механічного навантаження на згин

В якості об'єктів дослідження були вибрані металокерамічні резистори ОМЛТ-0,125. Для вимірювання монтажних деформацій резистори препарувались тензодатчиками МПБ-1. Далі здійснювався монтаж резисторів за заводською технологією на об'єднувальну плату розміром 350×75 мм. Випробування плат проводилось під дією зовнішнього механічного навантаження на згин [4, 5]. Експеримент було проведено для партії резисторів за трьома способами формування їх виводів (рис. 1). Крім випробувань резисторів встановлених за двома існуючими способами: без формування виводів (рис. 1, а) та з низьким формуванням виводів (рис. 1, б), з метою вдосконалення існуючої технології монтажу було запропоновано спосіб з високим формування виводів резисторів показаний на рис. 1, в.

З метою забезпечення ідентичності напружено-деформованого стану резисторів, змонтованих на об'єднувальній платі за вказаними технологіями формування виводів, випробування проводились навантаженням плати за схемою чистого згину на установці, показаній на рис. 2.



1 – об'єднувальна плата; 2 – резистор; 3 – тензодатчик  
 Рис. 1. Способи установки резисторів на об'єднувальній платі:  
 а) без формування виводів; б) з низьким формуванням виводів; в) з високим формуванням виводів

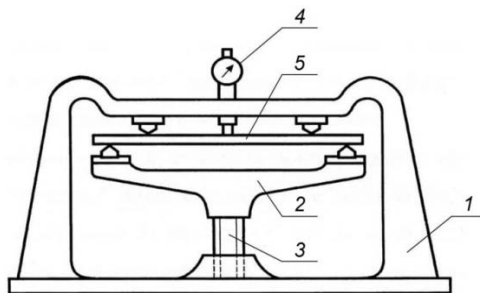


Рис. 2. Установка для випробування об'єднувальних плат на чистий згин:  
 1 – основа; 2 – рухома балка; 3 – гвинт підйому; 4 – індикатор; 5 – об'єднувальна плата

Розрахункова схема чистого згину представлена схемою навантаження та епюрою згинальних моментів на рис. 3, де  $P$  – сила з якою відбувається навантаження під час випробування,  $f$  – прогин основи друкованої плати під дією навантаження,  $l$  – відстань між опорами, яка представляє собою довжину ділянки чистого згину,  $M$  – згинальний момент що діє в поперечному перерізі друкованої плати.

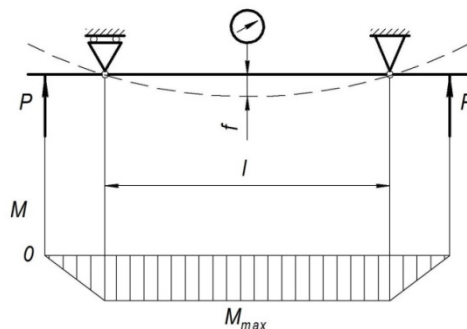


Рис. 3. Розрахункова схема установки для випробування об'єднувальних плат на чистий згин

Попередньо були проведені контрольні випробування умов чистого згину об'єднувальних плат при різних рівнях навантаження. Досліджувані плати препарували тензодатчиками базою 10 мм як в поздовжньому, так і в поперечному напрямках. Було встановлено, що розкид показань тензодатчиків як в поперечному, так і в поздовжньому напрямках не перевищує 5%. При цьому, деформації в поперечному напрямку – практично були відсутні.

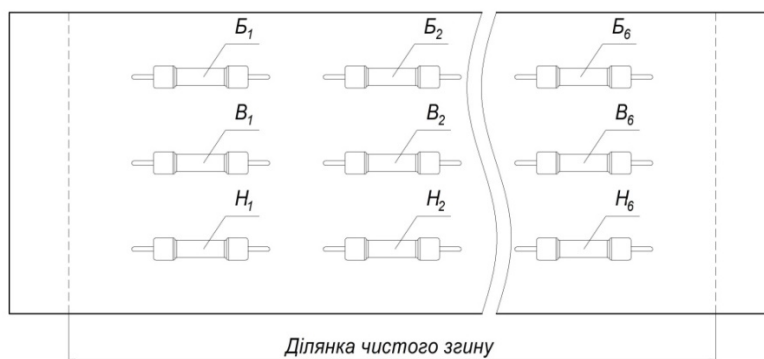


Рис. 4. Розташування резисторів на об'єднувальній платі:  
 без формування (Бj); з низьким (Hj); високим (Bj) формуванням виводів

Далі, для проведення експериментального дослідження передачі деформацій від об'єднувальної плати до резисторів останні монтувалися в три ряди на ділянці об'єднувальної плати, яка піддається деформації чистого згину (рис. 4). У кожному з рядів були резистори з однаковим способом формування виводів. При цьому монтаж резисторів проводився паралельно поздовжньої осі об'єднувальної плати і при згині останньої деформації резисторів та вузлів їх з'єднання були однаковими.

### Визначення деформацій і напружень дискретних компонентів методом електротензометрії та впливу на них технології формування монтажних виводів

Відносна деформація зовнішніх волокон об'єднувальної плати визначається через її максимальний прогин  $f$ , який вимірюється індикатором, залежністю [7, 8, 9]:

$$\varepsilon = \frac{4h}{l^2} f, \quad (6)$$

де  $h$  – товщина плати;  $f$  – прогин;  $l$  – довжина ділянки чистого згину.

Величину прогину  $f$  в установці можна змінювати в межах 0–10 мм. При цьому, зусилля не перевищує 50 Н. Варіюючи прогин об'єднувальної плати, реєстрували показники тензодатчиків [3, 6], наклеєних на резистори. Так як всі резистори перебували в однакових умовах, то відмінності в рівнях деформацій резисторів залежали тільки від типу формування їх виводів.

Результати тензометрування резисторів при максимальному прогині об'єднувальної плати, рівному 8 мм представлені графіками на рис. 5.

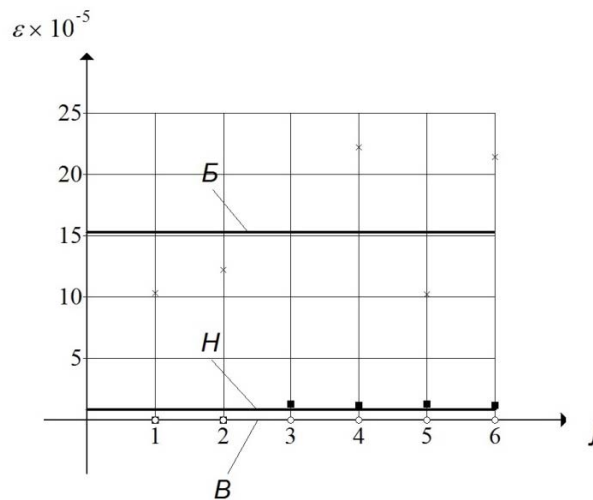


Рис. 5. Розподіл відносних деформацій розтягу резисторів (маркери) і їх середні значення (суцільні лінії) при максимальному прогині об'єднувальної плати, рівному 8 мм; маркери: × – без формування (Б); ■ – низького (Н); о – високого (В) формування виводів

Найбільш чутливими до деформацій об'єднувальної плати виявились резистори  $B_j$ , встановлені на плату без попереднього формування виводів, а найменш – резистори  $B_j$  з високим формуванням виводів. Це пояснюється тим, що при установці резистора на плату без формування виводів (рис. 1, а) їх ковпачки лежать на поверхні плати, а самі виводи посилені шаром припою. В цілому, така компоновка відповідає схемі навантаження резистора із заземленими кінцями (жорстка установка). При такій установці зусилля на резистор передаються не тільки через виводи, а й безпосередньо через ковпачки.

При високому формуванні виводів (рис. 1, в) гарантовано забезпечується зазор між ковпачками резисторів і платою, внаслідок чого ймовірність того, що вивід в цілому буде залитий припоєм, є низькою. Тому в цьому випадку при згині плат деформуються тільки виводи, а на резистор навантаження практично не передається (податлива установка).

Низьке формування виводів (рис. 1, б) з точки зору навантаження, слід розглядати як проміжне між двома описаними вище. У цьому випадку передача навантаження на резистор залежить від ступеня заливки виводів припоєм. Коли більша частина виводів залишається вільною від припою і ковпачки не торкаються монтажної плати (резистори  $H_1$  і  $H_2$ ), навантаження на резистор не передається, що наочно видно з рис. 5. Коли ж весь вивід залитий припоєм і між ковпачками і платою майже немає зазору (резистори  $H_3$  –  $H_6$ ), схема навантаження наближається до випадку жорсткої установки і відповідно зростають деформації і напруження.

Важливо зазначити, що за результатами обрахунку напружень, за формулою (1), який було проведено для модуля пружності матеріалу резисторів  $E = 1 \times 10^5$  МПа, було встановлено, що напруження, які передаються при деформації об'єднувальної плати на резистори без формування виводів ( $\sigma = 9,8...17,4$  МПа) складають приблизно 20 % від напружень руйнування ( $\sigma_{руйин} = 95...165$  МПа).

### Висновки

Для визначення характеру механічної взаємодії між елементами друкованих вузлів, їх конструкція представлена механічною системою «об'єднувальна плата – електронний компонент», в якій створення та передача деформації залежать від жорсткості її елементів, зокрема виводів електронних компонентів.

Запропоновано установку для випробування об'єднувальних плат навантаженням за схемою чистого згину, яка забезпечує ідентичність напружено-деформованого стану електронних компонентів, змонтованих на об'єднувальній платі.

Запропоновано спосіб високого наскрізного монтажу електронних компонентів на об'єднувальній платі, який дозволяє зменшити передачу деформацій від об'єднувальної плати до електронних компонентів, порівняно із технологією низького наскрізного та поверхневого монтажу.

### Література

1. ДСТУ 2646-94. Плати друковані. Терміни та визначення.
2. Kovtun I. Effects of the strain transmission from the main board to the installed electronic components / I. Kovtun, J. Boiko, S. Petrashchuk, G. Baurienė, K. Pilkauskas // *Mechanika*. – 2016. – Vol. 22, Iss. 6. – P. 489–494. – DOI: <http://dx.doi.org/10.5755/j01.mech.22.6.16891>.
3. C. T. Robertson, “Printed Circuit Board Designer's Reference: Basics”, Prentice Hall, 2003.
4. Boiko J. Vibration transmission in electronic packages having structurally complex design / J. Boiko, I. Kovtun, S. Petrashchuk // *Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*, 2017 IEEE First Ukraine Conference on. – IEEE, 2017. – P. 514–517. – DOI: 10.1109/UKRCON.2017.8100294.
5. D. Vogel, V. Grosser, A. Schubert, B. Michel “MicroDAC strain measurement for electronics packaging structures”, *Optics and Lasers in Engineering*, Volume 36, Issue 2, 2001.
6. Kovtun I. Theory and practice of vibration analysis in electronic packages / I. Kovtun, J. Boiko, S. Petrashchuk, T. Kałaczyński // *MATEC Web Conf. 17th International Conference Diagnostics of Machines and Vehicles*. – 2018. – Vol. 182. – P. 10. – DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201818202015>.
7. Писаренко Г.С. Опір матеріалів / Г.С. Писаренко, О.Л. Квітка, Є.С. Уманський – К. : Вища школа, 1993. – 655 с.
8. R.M. Jones, “Buckling of Bars, Plates and Shells”, Virginia, USA: Blacksburg, Bull Ridge Publishing, 2006.
9. Левшина Е.С. Электрические измерения физических величин / Е.С. Левшина, П.В. Новицкий. – Л. : Энергоатомиздат, 1983. – 320 с.

### References

1. DSTU 2646-94. Printed circuit boards. Terms and definitions.
2. Kovtun I. Effects of the strain transmission from the main board to the installed electronic components / I. Kovtun, J. Boiko, S. Petrashchuk, G. Baurienė, K. Pilkauskas // *Mechanika*. – 2016. – Vol. 22, Iss. 6. – P. 489–494. – DOI: <http://dx.doi.org/10.5755/j01.mech.22.6.16891>.
3. C. T. Robertson, “Printed Circuit Board Designer's Reference: Basics”, Prentice Hall, 2003.
4. Boiko J. Vibration transmission in electronic packages having structurally complex design / J. Boiko, I. Kovtun, S. Petrashchuk // *Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*, 2017 IEEE First Ukraine Conference on. – IEEE, 2017. – P. 514–517. – DOI: 10.1109/UKRCON.2017.8100294.
5. D. Vogel, V. Grosser, A. Schubert, B. Michel “MicroDAC strain measurement for electronics packaging structures”, *Optics and Lasers in Engineering*, Volume 36, Issue 2, 2001.
6. Kovtun I. Theory and practice of vibration analysis in electronic packages / I. Kovtun, J. Boiko, S. Petrashchuk, T. Kałaczyński // *MATEC Web Conf. 17th International Conference Diagnostics of Machines and Vehicles*. – 2018. – Vol. 182. – P. 10. – DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201818202015>.
7. Pisarenko G.S. Strength of materials / G.S. Pisarenko, O.L. Kvitka, E.S. Umanski – K. : High school, 1993. – 655 p.
8. R.M. Jones, “Buckling of Bars, Plates and Shells”, Virginia, USA: Blacksburg, Bull Ridge Publishing, 2006.
9. Levshina E.S. Elektricheskie ismereniya phisicheskikh velichin / E.S. Levshina, P.V. Novitsky – L. : Energoatomizdat, 1983. – 320 p.

Рецензія/Peer review : 19.9.2018 р.

Надрукована/Printed : 19.9.2018 р.  
Стаття прорецензована редакційною колегією