

УДК 621.317.73

DOI: 10.31891/2219-9365-2019-63-1-16-21

МАЦЮК М. В.,  
ГОРОШКО А. В.,  
РОЙЗМАН В. П.

Хмельницький національний університет

## ВИЗНАЧЕННЯ РУЙНІВНИХ НАВАНТАЖЕНЬ І ДЕФОРМАЦІЙ ПРИ РОЗТЯГУВАННІ КОНДЕНСАТОРІВ З ВИМІРЮВАННЯМ СИГНАЛІВ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ

*В статті викладені матеріали щодо дослідження причин відслоювання контактних ділянок у конденсаторах і надані рекомендації з усунення дефекта. Встановлено, що причиною відслоювання контактних вузлів конденсаторів є недогрів цього вузла при пайці конденсаторів. Попереднє прогрівання конденсаторів при  $t=220\text{ }^{\circ}\text{C}$  показує, що міцність контактних вузлів підвищується в середньому на 50%.*

*Ключові слова: конденсатори, сплав Розе, пайка, метод акустичної емісії, руйнування.*

MATSYUK V.,  
GOROSHKO A.,  
ROYZMAN V.

Khmelnyskyi National University

## DETERMINATION OF DESTRUCTIVE LOADS AND DEFORMATIONS DURING STRETCHING OF CAPACITORS WITH MEASUREMENT OF ACOUSTIC EMISSION SIGNALS

*The object of research was SMD type ceramic capacitors, which are increasingly used in electronic systems. Part of such capacitors during assembly, testing and operation fail due to the detachment of the contact areas and the destruction of the capacitor, which requires a study of the static strength of these products. Tests of the capacitors for shear under the action of lateral force showed that in this case the peeling occurs at a magnitude of force that is two to four times greater than the destructive tensile load, so capacitors type K10-9 and KM-5B were tested for tensile. The article describes the materials for studying the causes of burring of contact areas in capacitors and gives recommendations for the elimination of the defect. It is established that the cause of the dismemberment of the contact nodes of the capacitors is the underdevelopment of this node when soldering the capacitors. Pre-heating of condensers at  $t = 220\text{ }^{\circ}\text{C}$  shows that the strength of contact nodes rises by an average of 50%.*

*Keywords: capacitors, Rose alloy, soldering, acoustic emission, fracture.*

**Вступ.** Об'єктом досліджень були металокерамічні конденсатори типу SMD, які все частіше використовуються в електронних системах. Частина таких конденсаторів в процесі складання, випробування і при експлуатації виходять з ладу через відшарування контактних ділянок і руйнування конденсатора, що вимагає дослідження статичної міцності зазначених виробів. Випробування конденсаторів на зрушення під дією поперечної сили показали, що в даному випадку відшарування виникає при величині сили, яка в два-чотири рази перевищує руйнівне навантаження розтягування, тому конденсатори типу K10-9 і KM-5B випробовували на розтягнення.

**Метою роботи** було визначення навантаження, що приводить до відшарування контактних ділянок конденсаторів типу K10-9 і KM-5B при розтягуванні, деформацій, що виникають в конденсаторах при розтягуванні, визначення та порівняння руйнівних навантажень, що виникають в конденсаторах типу KM-5B при пайці з перегрівом і "холодним" сплавом Розе, встановлення зв'язку між сигналами акустичної емісії (АЕ) та міцністю паяних з'єднань (ПС) конденсаторів, паяних при різних технологічних умовах.

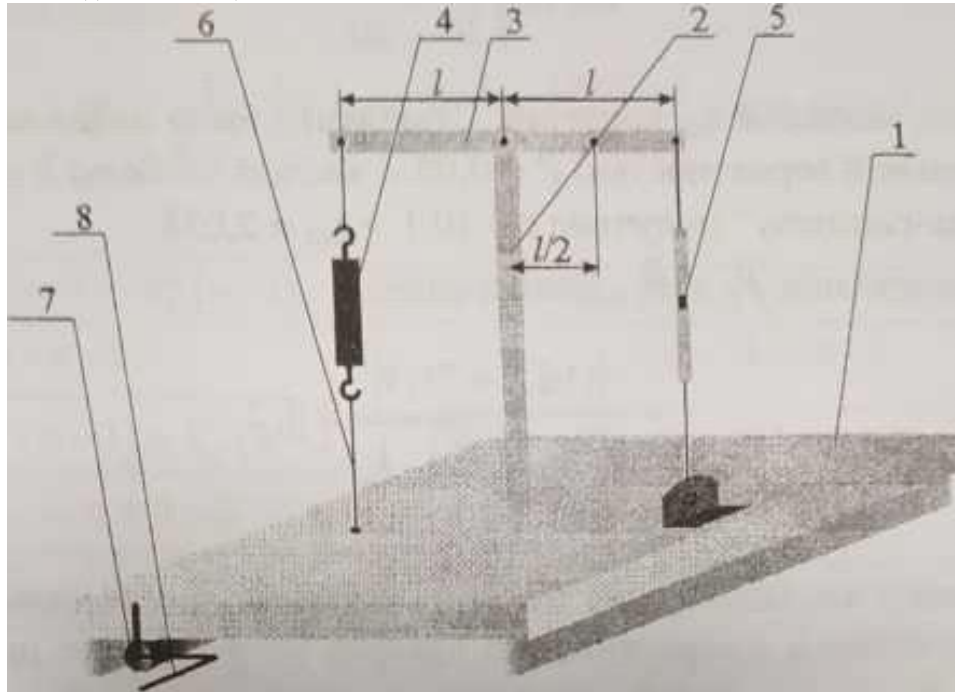
**Основні результати дослідження.** З метою зменшення похибки вимірювання малих значень навантажень випробування конденсаторів на розтягнення вирішено було проводити на спеціально розробленому пристрої, показаному на Рис. 1, що містить платформу 1, кронштейн 2, коромисло 3, динамометр 4, тягу 6, барабан 7 і рукоятку 8.

Пристрій для випробування також включав навантажувальну систему для випробування на розтягування, міст постійного струму АС-2, гальванометр типу М 17/2, комутаційний пристрій типу АП-1А, тензодатчики МБ-2, ПАСАЕ. Було випробувано 100 шт. конденсаторів K10-9 і 100 шт. конденсаторів KM-5B.

Навантаження конденсаторів здійснювалось наступним чином. Випробуваний конденсатор 5 кріпився до коромисла і платформи шляхом підпайки виводів. Обертаючи рукоятку 8, здійснювалось навантаження конденсатора з візуальної реєстрацією навантаження розтягування на динамометрі 4. Для підвищення точності вимірювання руйнівного навантаження при випробуванні конденсаторів K10-9 (які

мають менші значення руйнівних навантажень) в пристрої передбачена можливість зміни довжини коромисла 3, тобто зміна плечей важеля в навантажувальній системі.

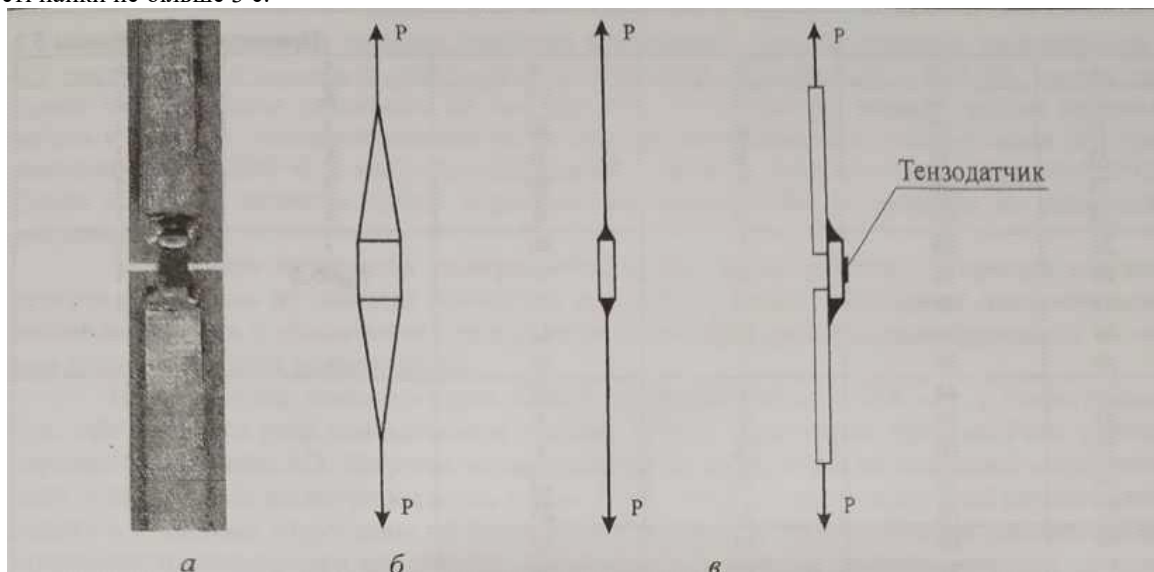
Випробуванню підлягали конденсатори типу К10-9 і КМ-5В, кожен з яких були взяті з однієї партії. Частина конденсаторів була припаяна на смугах, вирізаних із друкованих плат ПМ (рис. 2, а), а до частини конденсаторів припаювалися дротові виводи (рис. 2, б). Далі конденсатори піддавали розтягуванню на пристрої (рис. 1) до руйнування з одночасним записом сигналів АЕ і фіксували значення руйнівних навантажень. У всіх випадках руйнування відбувалося через відшарування контактної ділянки. Результати експериментів наведені в таблиці 1.



**Рис. 1. Пристрій для випробування на розтягування**

Кілька конденсаторів були припаровані тензодатчиками (рис. 2, в), за допомогою яких визначали залежність між деформаціями поверхні конденсатора, де розташовувався тензодатчик, і величиною прикладеного навантаження  $P$ .

Галузевим стандартом [1-5] передбачено монтаж конденсаторів КМ-5В на плату ММ припоєм, ПОС-61 ГОСТ 21931-76 [19] (допускається припій ПСрОО-3-58) при потужності паяльника 15-20 Вт і тривалості пайки не більше 3 с.



**Рис. 2. Випробувальні зразки конденсаторів: а) зовнішній вигляд розташування конденсаторів на платах ММ; б) схема припайки дротяних виводів до конденсатору; в) розташування тензодатчика на конденсаторі**

Таблиця 1

**Руйнівні навантаження при розтягуванні конденсаторів КМ-5В і К10-9**

Зразок	Руйнівне навантаження				
	Для КМ-5В		Для К10-9	Для К10-9	Для К10-9
	На платах	Проволочні виводи d=0,38 мм	На платах	d=0,2 мм	d=0,1 мм
1	5	10	46	7	2,5
2	5	13	19	9	1,5
3	10	9	58	4	1,5
4	23	14	22	2,5	1
5	17	10	13	8	1
6	52	9	15	7	1
7	34	8	15	2,5	1
8	33	6	22	1	1
9	31	7	32	6	1
10	33	8	12	7	1
11	40	11	10	2,5	1
12	27	11	37	2,5	1
13	46	10	5	9	1
14	29	25	28	2,5	1,5
15	32	7	5	10	1
16	38	8	25	2,5	1
17	15	12	21	4	1
18	35	7	8	6	1,5
19	47	9	26	7	1
20	21	11	25	8	1
21	34	9	27	6	1
22	27	2	30	7	1
23	34	8	35	8	1
24	26	3	29	9	1
25	44	9	6	8	1
26	58	5	40	7	1
27	31	8	5	$P_{cp}=5,5$	1
28	16	10	5		1
29	24	13	22		$P_{cp}=1,1$
30	30	9	35		
31	44	5	37		
32	35	9	5		
33	60	15	5		
34	38	16	22		
35	38	8	23		
36	65	14	35		
37	52	11	50		
38	26	8	27		
39	25	6	27		
40	42	10	22		
41	5	10	24		
42	22	9	41		
43	22	10	$P_{cp}=23,7$		
44	23	$P_{cp}=9,0$			
45	37				
46	42				
47	23				
	$P_{cp}=37,8$				

Для визначення впливу прогріву контактної вузла на величину руйнівних навантажень був

проведений наступний експеримент. Конденсатори КМ-5В, взяті з однієї партії, були розділені на дві групи. Конденсатори першої групи припаювалися до плати за вказаною технологією, але при тривалості пайки не менше 10 с при температурі 220–270 ° С, а конденсатори другої – сплавом Розе при температурі 94–120 ° С. Після контролю якості пайки конденсатори піддавалися випробуванню по вказаній методиці.

Аналізуючи матеріали експерименту (наведені, в таблиці 1) можна припустити, що прогрів конденсаторів при пайці не знижує міцності контактних вузлів, а покращує зчеплення контактних ділянок з обкладинками конденсатора і тому навіть підвищує міцність на відрив цих ділянок від конденсатора.

При навантаженні конденсаторів К10-9, паяних припоєм ПОС-61 з "перегрівом", (тобто при прогріванні Вузла паяльником протягом 10 с) і "холодної" припоєм Розе, реєструвалися сигнали АЕ. Навантаження здійснювалося до руйнування за методикою, описаною вище. Сигнали АЕ реєструвалися одним ПЕП, закріпленим через шар акустичної смазки за допомогою струбцини на платі ММ. На рис. 3 представлені порівняльні залежності сумарної кількості АЕ-сигналів на протяжні часу навантаження конденсаторів, паяних припоєм ПОС-61 з "перегрівом", що відповідає відносній деформації (руйнування контактного вузла конденсаторів К10-9 паяних "холодним припоєм Розе відбувалось в середньому). Як видно з графіків, високоамплітудні сигнали з конденсаторів, паяних "холодним" припоєм Розе, з'являються набагато раніше, ніж у конденсаторів, паяних припоєм ПОС-61 з "перегрівом". Активність їх відповідно в 2,5, а сумарний рахунок в 1,5 разів більше.

$\Sigma \text{imp}$

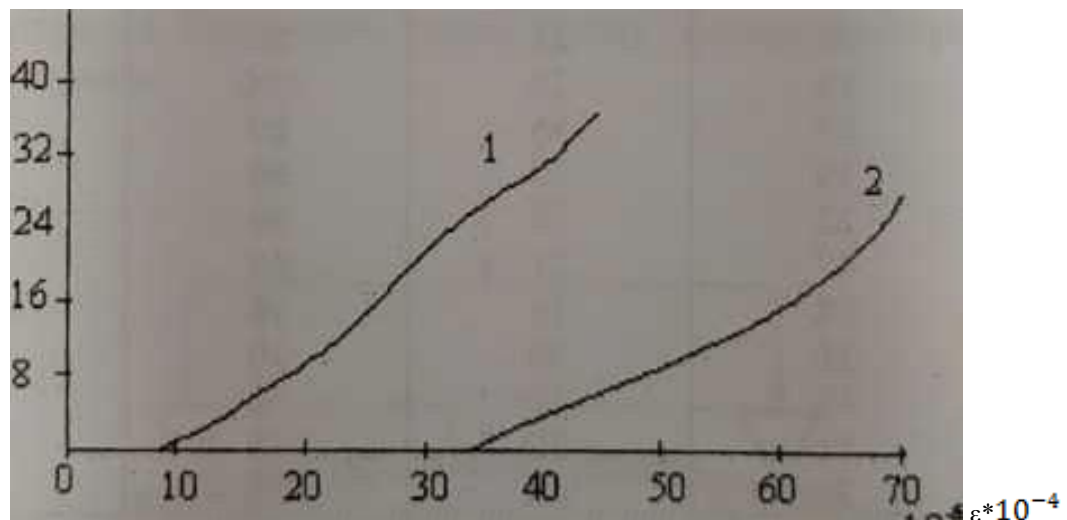


Рис. 3. Залежність сумарної кількості сигналів АЕ від відносної деформації:  
1 - "холодний" припой Розе; 2 - припой ПОС-61 з "перегрівом"

Отже, за допомогою методу АЕ було підтверджено, що прогрів конденсаторів при пайці не тільки не знижує міцності контактних вузлів, але і покращує зчеплення контактних ділянок з обкладинками конденсатора і тому навіть підвищує міцність на відрив цих ділянок від конденсатора.

У зв'язку з цим було висловлено припущення, що міцність контактних вузлів залежить від температури прогріву, яку можна регулювати, змінюючи температуру жала паяльника. Оскільки температуру пайки теоретично визначити досить складно, а практично можна регулювати тільки температуру жала паяльника і тривалість пайки, було вирішено провести експеримент таким чином, щоб технологія пайки залишилася без змін, а необхідна температура контактного вузла досягалася попереднім прогрівом конденсаторів. В ході експерименту конденсатори були розділені на групи, кожна з яких витримувалась в термостаті протягом однієї години при температурі відповідно 150 ° С, 180 ° С, 200 ° С, 215 ° С, 230 ° С 250 ° С, після чого відбувалося їх розпаювання. Припаяні конденсатори піддавалися випробуванню за описаною методикою. Матеріали випробувань показують, що в непрогрітому стані середнє значення руйнівних зусиль становить 30,6 Н, а після прогріву при 200 ° С - 47,6 Н, тобто міцність контактних вузлів в середньому підвищилася на 50%. Також встановлено, що оптимальна температура прогріву лежить в межах 180-200 ° С.

#### Висновки.

1. Причиною руйнування контактних вузлів конденсатора є недостатня температура і час припаювання контактних ділянок.
2. Попереднє прогрівання конденсаторів при  $t=220$  показує, що міцність контактних вузлів підвищується в середньому на 50.

Таблиця 2

Руйнівні навантаження при розтягуванні конденсаторів КМ-5В

Зразок	ПОС61, $t=220-270\text{ }^{\circ}\text{C}$	Сплав Розе, $t=94-120\text{ }^{\circ}\text{C}$	Без прогріву	З прогрівом		
				до $150\text{ }^{\circ}\text{C}$	до $200\text{ }^{\circ}\text{C}$	До $250\text{ }^{\circ}\text{C}$
1	2	3	4	5	6	7
1	55	34	21	6	41	16
2	50	45	18	45	60	13
3	20	35	59	16	74	16
4	24	49	5	68	30	16
5	57	6	12	18	70	24
6	60	31	3	15	30	21
7	73	54	30	105	61	23
8	35	30	50	5	64	15
9	42	19	36	12	30	10
10	20	44	25	67	90	20
11	38	35	70	39	55	28
12	90	33	30	45	45	15
13	110	38	25	30	45	25
14	77	18	23	100	45	18
15	67	27	55	20	42	16
16	42	39	20	80	85	10
17	45	22	72	89	38	14
18	57	47	21	36	95	17
19	55	38	15	26	40	35
20	70	38	20	10	90	25
21	63	42	47	30	60	17
22	80	41	35	18	23	15
23	$P_{cp}=59,7$	28	20	27	40	13
24	55	36	30	31	85	10
25	50	38	30	55	56	30
26	20	50	$P_{cp}=30,6$	30	13	43
27	24	48		25	31	21
28	57	40		35	28	11
29	60	45		87	20	18
30	73	$P_{cp}=36,2$		57	35	26
31	35			56	75	13
32	42			48	62	11
33	20			21	45	37
34	38			41	48	32
35	90			55	47	30
36	110			65	55	33
37	77			20	60	45
38	67			50	38	20
39	42			23	42	43
40	20			25	62	31
41	90			40	50	46
42	110			28	21	10
43	77			40	35	45
44	67			18	30	25
45	42			25	22	31
46	45			25	35	$P_{cp}=29,9$
47	57			31	30	
48	55			53	$P_{cp}=47,6$	
49	70			$P_{cp}=40,3$		
50	63					
51	80					
52						

### Література

1. Ройзман В.П. Методи і засоби акустико-емісійної діагностики технічного стану деталей і вузлів машин / В.П. Ройзман, А.В. Горошко // Неруйнівний контроль та діагностика неоднорідних об'єктів : зб. наук. пр 8 міжнар. наук.-техн. конф.-виставки. Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів. – Л. : Фізико-механічний ін-т ім Г. В. Карпенка НАН України, 2003. – С. 40–47.
2. ОСТ 4ГО.054.061. Мікромодулі площинної конструкції. Типові технологічні процеси. – М.
3. ОСТ4 ГО.054.089. Вузли і блоки радіоелектронної апаратури. Пайка монтажних з'єднань. Типові технологічні процеси. – Введ. 01.10.82. – 1982. – 117 с.
4. Ройзман В. П. Локація небезпечних дефектів методом акустичної емісії / В. П. Ройзман, І. І. Ковтун, А. В. Горошко // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2002. – № 1. Ч. 1. – С. 195–200.
5. I. Kovtun, J. Boiko, S. Petrashchuk, G. Bauriene, K. Pilkauskas. Effects of the strain transmission from the main board to the installed electronic components. *MECHANIKA*, Vol. 22(6), pp. 489-494, (2016). DOI: <http://dx.doi.org/10.5755/j01.mech.22.6.16891>.
6. I. Kovtun, J. Boiko, S. Petrashchuk and T. Kałaczyński (2018, Jul.). Theory and practice of vibration analysis in electronic packages. *MATEC Web Conf.*, 182, 02015 (2018). <https://doi.org/10.1051/mateconf/201818202015>.

### References

1. Roizman V.P. Methods and means of acoustic emission diagnostics of technical condition of parts and units of machines / V.P. Roizman, A.V. Goroshki // Non-destructive control and diagnostics of heterogeneous objects: Sb. sciences pr 8 intern. Sci.-Tech. conferences-exhibitions. Physical methods and means of control of environments, materials and products. – L.: Physical and Mechanical Institute G. Karpenko, National Academy of Sciences of Ukraine, 2003. – P. 40–47.
2. ОСТ 4ГО.054.061. Micromodules of plane design. Typical technological processes. – M.
3. ОСТ4 ГО.054.089. Nodes and units of electronic equipment. Soldering mounting joints. Typical technological processes. Introduction 01.10.82. – 1982. – 117 p.
4. Roizman V.P. Location of dangerous defects by the method of acoustic emissii / V.P. Roizman, I. I. Kovtun, A.V. Goroshko // Herald of Technological University of Podillya. – Ch. 1. – 2002. – No. 1. – P. 195–200.
5. I. Kovtun, J. Boiko, S. Petrashchuk, G. Bauriene, K. Pilkauskas. Effects of the strain transmission from the main board to the installed electronic components. *MECHANIKA*, Vol. 22(6), pp. 489-494, (2016). DOI: <http://dx.doi.org/10.5755/j01.mech.22.6.16891>.
6. I. Kovtun, J. Boiko, S. Petrashchuk and T. Kałaczyński (2018, Jul.). Theory and practice of vibration analysis in electronic packages. *MATEC Web Conf.*, 182, 02015 (2018). <https://doi.org/10.1051/mateconf/201818202015>.

Рецензія/Peer review : 23.10.2018      Надрукована/Printed : 05.02.2019  
Рецензент: д. т. н., проф. Мартинюк В. В.