

УДК 621.317.73

DOI: 10.31891/2219-9365-2019-63-1-26-31

СВІДЕРСЬКИЙ Р. В.,  
РОЙЗМАН В. П.

Хмельницький національний університет

## ВИЯВЛЕННЯ ПРИЧИНИ РУЙНУВАННЯ СКЛА ФОТОДАТЧИКІВ

*В даній роботі представлені матеріали по дослідженню причин розтріскування скла фоторезисторів при роботі в розріджених шарах атмосфери, проаналізовані результати, надані висновки і рекомендації щодо усунення дефекту і проведення зв'язаних з цим робіт. Встановлено, що внутрішні напруження в склах і кришках фоторезисторів, які виникають після операції зварки, мають великий розкид по величині і можуть бути стискаючими або розтягуючими через значний розкид коефіцієнтів температурного розширення. Поверхня скла готових фоторезисторів має велике число значних концентратів напруження, які зменшують їх міцність. Встановлено, що розтріскування скла фоторезистора відбувається, в основному, від дій розтягувальних напружень, так як міцність скла С-49-2 і С-51-2 на розтягування може бути в 60 разів менше його міцності на стисканні.*

*Ключові слова: коефіцієнт температурного розширення (КТР), фоторезистор, напруження, тензорезистор, вакуум, фотодатчики.*

SVIDERSKYI R.,  
ROYZMAN V.

Khmelnitskyi National University

## DETERMINATION OF THE CAUSE OF DRAWING OF THE PHOTOGRAPHIC CLASS

*One of the important tasks in the modern level of development of glass-welding is the task of reliable manufacturing of solders of glass with metal, and it depends on the reduction to a safe amount of stress that occurs in the glass when connecting with metal. To this end, they create so-called joints in which the coefficient of thermal expansion (TKR) of glass and metal are close to each other in the entire temperature range, from room temperature and to the soldering temperature. Such coordinated joints can be attributed to the junction between the glass type 3C-5 and the alloy type "Kovar". Since the complete matching of the TKR of the two materials is impossible, it is important to work out an annealing mode that would reduce the internal stresses to a safe value. However, in the process of manufacturing, storage and operation of photo sensors, there is an increased output of defective products due to the sealing of the housing, which is due to the cracking of the glass brand C-49-2, welded into the covers of the photo sensor housing made of 29NK alloy. Due to the fact that a large number of these defects occurred in the conditions of factory storage at room temperature, it was speculated that the cracking of the glass occurs due to considerable internal stresses in the structures of products arising during its production and aging. Therefore, it was decided to measure these voltages after some technological steps and to check the efficiency of the adopted annealing mode to reduce the magnitude of these voltages. Also, experience shows that breakers of photoresistors occur during operation in the absence of air (vacuum) or at low atmospheric pressure. Therefore, it was decided to perform elevation experiments in the laboratory, measuring the magnitudes of stresses arising in the housings and glasses of photoresistors while reducing atmospheric pressure and to evaluate the strength of the research elements. In the given work the materials on investigation of causes of cracking of glass of photoresistors during work in rarefied layers of the atmosphere are presented, results of the analysis, conclusions and recommendations for the elimination of the defect and the related works are analyzed. It is established that the internal stresses in the glasses and covers of the photoresistors that arise after the welding operation have a large spread in size and can be compressive or stretching due to the significant expansion of the coefficients of temperature expansion. The surface of the finished photoresistor glass has a large number of significant concentrates of stress, which reduce their strength. It was found that the cracking of the glass of the photoresistor occurs mainly from the action of stretching stresses, since the strength of glass C-49-2 and C-51-2 on stretching can be 60 times less than its compressive strength.*

*Key words: coefficient of temperature expansion (KTR), photoresistor, voltage, strain gauge, vacuum, photodimension sensors.*

**Вступ.** Однією із важливих задач при сучасному рівні розвитку склосварювання є задача надійного виготовлення спаїв скла з металом, а це залежить від зменшення до безпечної величини напруження, яке виникає в склі при з'єднанні з металом. З цією метою створюють так звані узгоджені спаї, в яких коефіцієнт температурного розширення (ТКР) скла і металу близькі одне до одного у всьому інтервалі температур, від кімнатної і до температури спаювання. До числа таких узгоджених спаїв можна віднести і спай між склом типу 3С-5 і сплавом типу «ковар». Так, як повного співпадіння ТКР двох матеріалів досягнути неможливо, важливо опрацювати такий режим відпалу, який би зменшував внутрішні напруження до безпечної величини. Однак в процесі виготовлення, зберігання і експлуатації фотодатчиків спостерігається підвищений вихід бракованих виробів через розгерметизацію корпусів, що відбувається через розтріскування скла марки С-49-2, ввареного в кришки корпусів фотодатчика, виготовлених із сплаву 29НК. У зв'язку з тим, що значна кількість вказаних дефектів відбувалась в умовах заводського зберігання при кімнатній температурі, виникло припущення, що розтріскування скла відбувається через значні внутрішні

напруження в конструкціях виробів, виникаючих в процесі його виробництва і старіння. Тому було прийнято рішення виміряти ці напруження після деяких технологічних етапів і перевірити ефективність прийнятого режиму відпалу для зниження величини вказаних напружень. Також, як показує досвід, полумки фоторезисторів мають місце у процесі експлуатації в умовах відсутності повітря (вакуумі) або при низькому атмосферному тиску. Тому було вирішено провести в лабораторних умовах досліди на висотність, вимірюючи величини напружень, виникаючих в корпусах і склах фоторезисторів при зниженні атмосферного тиску і дати оцінку міцності досліджувальних елементів.

**Мета роботи** полягає у виявленні причини руйнування скла фотодатчиків. Для досягнення мети потрібно було розв'язати **наступні задачі**: розробити методику тензометрування фотодатчиків; розробити і виготовити устаткування для вимірювання залишкових напружень в корпусах фотодатчиків; виміряти величину залишкових напружень, виникаючих в корпусах і склах фотодатчиків; дослідити вплив технологічних операцій штампування, склоспаю, відпалу, зварки на залишкові напруження в корпусах і склах; зробити висновок про причини розтріскування скла і дати рекомендації, направлені на усунення дефекту.

**Основні результати досліджень.** Для вимірення напружень, виникаючих в корпусах і склах фоторезисторів, при висотних випробовуваннях використовувались дровові тензорезистори двухпетельні з базою 10 мм, і також малобазні безпетельні з базою 1 мм.

Крім того, при визначенні залишкових напружень в корпусах і склах фоторезисторів використовувались дровові чотирьохпетельні тензорезистори з базою 5 мм, і також малобазні безпетельні з базою 2 мм.

Для вимірення деформації кришок корпусів фоторезисторів тензорезистори наклеювались на кришки по округлості.

Приймаючи до уваги малі габарити фоторезистора і неможливість в ряді випадків використовувати по цій причині тензорезистори звичайних розмірів, для вимірення напружень в склах, і також в корпусах, були використані малобазні тензорезистори, по спеціально допрацьованій технології препарування досліджувальних виробів.

Кришки корпусів пропарувались таким чином, що чутливий елемент тензорезистора розміщувався по колу, на кришці корпусу (Рис.1.)

На склах тензорезистори розміщувались уздовж радіусу, вимірюючи радикальні деформації, які в нашому випадку повинні бути постійними, незалежними від поточного радіусу і приблизно рівними окружній деформації (рис. 1).

З ціллю зменшення струму живлення малобазних тензорезисторів були внесені зміни у вимірювальну апаратуру і використано різні нестандартні прилади.

Для вимірювання напружень в корпусах і склах фоторезисторів апаратура включалась до початку відкачки повітря з-під скляного ковпака, тим самим на шкалі осцилографа виходили "нульові" деформації - лінії відрахунку. Після цього вмикався насос і відбувалась відкачка повітря із камери, в якій знаходились досліджувальні фоторезистори з наклеєними на них тензорезисторами. На шкалі осцилографа реєструвалась деформація корпусів фоторезисторів, які розпирались внутрішнім тиском і збільшували свої округлості і лінійні розміри (при зменшенні тиску в досліджувальній камері). Після цього для визначення залишкових напружень вимірення опору тензорезистора проводилось двічі: до розрізання корпусу і вибиванні скла і після його розрізу вздовж осі, або вибиванні скла, коли система скло-корпус розмикалась і звільнялась від зв'язку між собою.

Величину відносну деформації визначали за виразом:

$$\varepsilon = \frac{\Delta R}{RS}$$

де  $\varepsilon$  – відносна деформація в місці розташування на ній тензорезисторів;

$\Delta R$  – відносна зміна опору тензорезистора;

S – тензочутливість тензорезистора;

Приймаючи, що виміри деформації не перевищують межу пропорціональності досліджувальних матеріалів, можна по закону Гука знайти залишкові напруження:

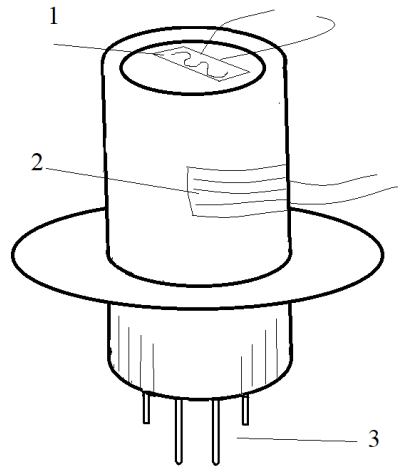
$$\sigma = \varepsilon E$$

де  $\sigma$  – напруження;

E – модуль пружності першого роду для даного матеріалу;

$\varepsilon$  – відносна деформація;

Контрольна партія фоторезисторів була препарована тензорезисторами по схемі, наведеній на рис.1.



**Рис. 1.** Схема препарування корпусу фоторезисторів

- 1) на склі по радіусу;
- 2) на корпусі по округлості.
- 3) контактні виводи.

Після цього було проведено вимірення напружень, утворених в корпусах і склах фоторезисторів при дослідженні на висотність, зменшенні тиску у навколишньому середовищі фоторезистора. На склах уздовж радіусів були покляні тензорезистори з базою 1 мм.

Дані вимірення амплітуд промінів осцилографа, деформація корпусів і скла фоторезисторів показані в таблиці 1.

Таблиця 1

**Вимірені деформації корпусів фоторезисторів – амплітуди осцилографа**

№ виробу	1	2	3	4	5	6		
№ датчика	А мм		А мм		А мм		А мм	
3	-		+14 -8	-		-		+30 -
4	+32 -17	+1 -13	+44 -12	+40 -17	+41 -11	+33 -14		
5	+4 -5	0 -5	+10 -12	+20 -19	+27 -7	+25 -5		
6	+30 -17	0 0	+19 -8	+24 0	+18 -6	+19 -7		

Таблиця 2

**Вимірені деформації в корпусах фоторезисторів – відносна деформація**

№ виробу	1	2	3	5	6	7
№ датчика	$\epsilon \cdot 10^{-4}$					
3	-		+1.84 -1.5	-		+24.8 0
4	+4.3 -1.3	+0.13 -1.7	+5.9 -1.6	+5.4 -2.3	+5.5 -1.5	+4.72 -1.8
5	+0.5 -0.62	0 -0.62	+1.25 -1.5	+2.5 -2.38	+3.36 -0.8	+3.12 -0.6
6	+6.5 -3.6	0 0	+4.12 -1.7	+5.2 0	+3.9 -1.3	+4.12 -1.5

Таблиця 3

**Вимірені деформації корпуса фоторезисторів – напруження в корпусах фоторезисторів**

№ виробу	1	2	3	4	5	6
№ датчика	$\sigma \text{ кг/см}^2$					
3	-		+272 -155	-		+3670 0
4	+640 -341	+20 -250	+880 -240	+800 -339	+820 -219	+700 -280
5	+74 -92,5	0 -92,5	+185 -222	+370 -352	+500 -129	+462 -92
6	+962 -545	0 0	+610 -256	+770 0	+577 -192	+610 -223

Таблиця 4

**Вимірені деформації скла фоторезистора. Амплітуда промінів осцилографа**

№ датчика	A (мм) посилення 1	A (мм) посилення 2	A (мм) посилення 3	A (мм) посилення 4
1	-	+29	-	-
2	-	+45	+8	-
3	+41	-	-	-
4	-	-	+45	-
5	-	+55	+73	+25
6	-	-	+23	+20

Таблиця 5

**Вимірені деформації скла фоторезистора. Відносна деформація**

№ датчика	$\varepsilon \cdot 10^{-4}$	$\varepsilon \cdot 10^{-4}$	$\varepsilon \cdot 10^{-4}$	$\varepsilon \cdot 10^{-4}$
1	-	0,9	-	-
2	-	1,77	1,35	-
3	1,62	-	-	-
4	-	-	7,48	-
5	-	2,19	11,7	4,2
6	-	-	3,9	3,33

Таблиця 6

**Вимірення деформації і напруження в склах фоторезисторів**

№ датчика	$\sigma$ кг/см <sup>2</sup>	$\sigma$ кг/см <sup>2</sup>	$\sigma$ кг/см <sup>2</sup>	$\sigma$ кг/см <sup>2</sup>
1	-	21,84	-	-
2	-	59,36	10,6	-
3	29,72	-	-	-
4	-	-	58,8	-
5	-	73,36	95,2	128,2
6	-	-	30,24	109,6

Вивчення осцилограм показало, що корпуси фоторезисторів не являються абсолютно герметичними. Цим пояснюється той факт, що промінь осцилографа після максимального відхилення від лінії відрахунку, що відповідає максимальній деформації корпусу, перебуваючи у вакуумі (-0,86 атм.) і розширеного внутрішнього тиску, поступово повертається до нульової лінії (рис. 2).

Після поступової подачі повітря в досліджувальну камеру, таким чином зрівнюючи тиск в камері із навколишнім середовищем, промінь осцилографа відхиляється в другу сторону, що відповідає деформації стискання, оскільки в середині корпусу фоторезистора є понижений тиск, а в досліджувальній камері, в якій знаходиться корпус фоторезистора тиск вже нормальний, рівний 1 атм.

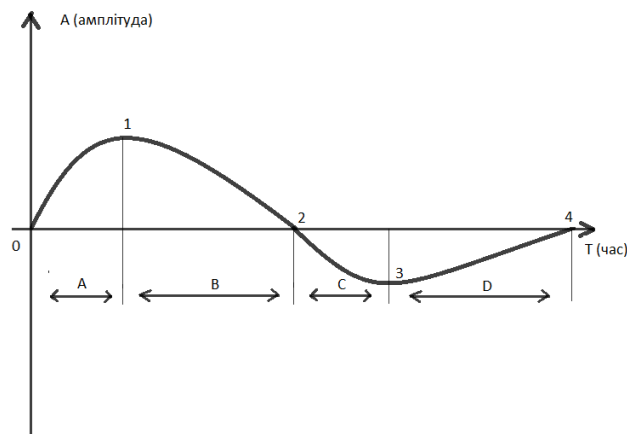


Рис. 2. Схематичний вид осцилограми після вакуумних випробувань готових фоторезисторів

Відрізок 0-1/час А – пониження навколишнього тиску і ріст деформації;  
 Відрізок 1-2/час В – травлення повітря з корпусу фоторезистора в вакуумну камеру;  
 Відрізок 2-3/час С – закачування повітря в вакуумну камеру, зжимаючі деформації;  
 Відрізок 3-4/час D – травлення повітря в корпус фоторезистора з вакуумної камери.

Через певний час вирівнюється зовнішній тиск із внутрішнім тиском корпусу фоторезистора, що можливо тільки у випадку неякісної герметизації корпусів. Це явище було виявлене на всіх досліджувальних корпусах фоторезисторів. В таблицях Т7 і Т8 наведені показники розтягувальних і стискаючих напружень в корпусах і склах фоторезисторів.

Таблиця 7

**Таблиця округлих напружень, діючих в корпусах фоторезисторів**

№ датчика	Розтягувальне напруження, кг/см <sup>2</sup>	Стискаюче напруження, кг/см <sup>2</sup>
1	+87,32 +370	-252,3 -114,7
2	+102,12 +427	-68,45 -191,6
3	+473,6 +430	-165,8 -68,45
4	+54,76 +516,5	-68,45 0
5	+711,8 +341,8	-207,2 -108
6	+65,3 +450	-162 -104,34
7	+34,2 +283,89	-95,5 -403,3
8	+14,8 +358,4	-142,1 -205,34
9	0 0	-137,7 -68,4

Таблиця 8

**Таблиця розтягуючих напружень в склах корпусів фоторезисторів**

№ датчика	Величина розтягувальних напружень, $\sigma$ (кг/см <sup>2</sup> )
1	21,84
2	29,7
3	103,6
4	59,86
5	73,36
6	10,5
7	58,8
8	95,8
9	95,2

Вимірювання внутрішніх напружень шляхом тензометрування скла фото резистора. Для безпосереднього вимірення залишкових напружень в склах фоторезисторів було проведено безпосереднє тензометрування скла фоторезистора після відрізання кришки. Як вже згадувалось, всі фотодатчики були задалегідь, до проведення яких небудь досліджень над ними, препаровані тензорезисторами, як показано на рис. 1(а, б). Група препарованих фотодатчиків підлягала травленню плавиковою кислотою (розчин фтороводню у воді), в результаті чого відбувалось відділення скла від кришки фотодатчика і наклеяний на нього тензорезистор "показував" величину залишкових деформацій. Величини напруження в склах фоторезисторів після витравлення скла приведені в таблиці 9.

Таблиця 9

№ кришки (датчика)	$\varepsilon \cdot 10^{-4}$	$\sigma$ (кг/см <sup>2</sup> )
1	+0,8	+50
2	-8	-500
3	+0,5	+33
4	+1,4	+89
5	-11	-690
6	+1,6	+100

Як видно із таблиці напруження в склах фоторезисторів можуть досягати небезпечних величин. Якщо враховувати всі напруження, накопичені в процесі виготовлення фоторезисторів, то, як видно із вищеприведених таблиць, величина залишкових внутрішніх розтягуючих напружень може досягнути сумарної величини:

$$\sigma_p = 130 \text{ кг} / \text{см}^2$$

Великий розкид величин виміренних на обмеженому числі виробів напружень дозволяє припустити, що у всьому об'ємі виготовлених заводом виробів можуть існувати внутрішні напруження ще більшої величини, переважаючи межу міцності скла на розтязі, які і приведуть до руйнування скла в фоторезисторах.

**Висновки.** 1) Розроблена методика тензометрування, виготовлено устаткування і проведено вимірювання напружень в корпусах і склах фоторезисторів при їх дослідженнях на висотність;

2) Встановлено, що внутрішні напруження в склах і кришках фоторезисторів, виникаючі після операції зварки мають великий розкид по величині і можуть бути стискаючими або розтягуючими через значний розкид температурних коефіцієнтів розширення спаюваних елементів;

3) Встановлено, що розтріскування скла фоторезистора відбувається, в основному, від дій розтягувальних напружень, так як міцність скла С-49-2 і С-51-2 на розтягування може бути в 60 разів менше ніж його міцність на стисканні.

4) Поверхня скла готових фоторезисторів має велике число значних концентратів напруження, які зменшують їх міцність.

### Література

1. Солнцев С.С. Розтріскування скла / С.С. Солнцев, Е.М. Морозов. – М. : Машинобудування, 1978. – 152 с.
2. Lillie H.R. Slacking of Strength in Glass / A. Holland, W. Turner // *Jorn. Soc. Class Techn.* – 1934. – Vol 18, N 71. – P. 225.
3. Степанова В.А. Міцність скла / В.А. Степанова. – М. : Мир, 1969. – 430 с.
4. Збірник задач по технічній термодинаміці і теплопередачі / під ред. Б.Н. Юдаєва. – М. : Вища школа, 1968. – 371 с.
5. Біргер І.А. Розрахунки на міцність деталей машини / І.А. Біргер, Б.Ф. Шорр, Р.М. Шнейдерович. – М. : Mashgiz, 1959. – 459 с.
6. Уайт О. Метали, кераміка, полімери / О. Уайт, Д. Дью-Хьюз. – М. : Атоміздат, 1979. – 577 с.
7. Ройзман В.П. Вплив атмосферного тиску на міцність герметичних конструкцій / В.П. Ройзман, А.Г. Шайко-Шайковський // Теорія і проєктика конструювання і забезпечення надійності і якості радіоелектронної апаратури : тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конференції. – М., 1978. – С. 103–104.

### References

1. Solncev S.S. Rozstriskuvannya skla / S.S. Solncev, E.M. Morozov. – M. : Mashinobuduvannya, 1978. – 152 s.
2. Lillie H.R. Slacking of Strength in Glass / A. Holland, W. Turner // *Jorn. Soc. Class Techn.* – 1934. – Vol 18, N 71. – P. 225.
3. Micnist skla / V.A. Stepanova. – M. : Mir, 1969. – 430 s.
4. Zbirnik zadach po tehnicnij termodinamici i teploperedachi / Pod red. B.N. Yudayeva. – M. : Visha shkola, 1968. – 371 s.
5. Birger I.A. Rozrahunki na micnist detalей mashini / I.A. Barger, B.F. Shorr, R.M. Shnejderovich. – M.: Mashgiz, 1959, 459 s.
6. Uajyet O. Metali, keramika, polimeri / O. Uajyet, D. Dyu-Hyuz. – M. : Atomizdat, 1979. – 577 s.
7. Roizman V.P. Vplyv atmosferного tysku na mitsnist hermetichnykh konsturtsii / V.P. Roizman, A.H. Shaiko-Shaikovskyi // Teoriia i proktyka konstruiuvannya i zabezpechennia nadiinosti i yakosti radioelektronnoi aparatury : tez. dokl. Vsesoiuz. nauch.-tekhn. konferentsyy. – M., 1978. – S. 103–104.

Рецензія/Peer review : 17.11.2018      Надрукована/Printed : 14.02.2019  
Рецензент: д. т. н, проф. Мартинюк В. В.