

Валентин Иванович Козинцев родился в 1945 г., окончил в 1969 г. МВТУ им. Н.Э. Баумана. Д-р. техн. наук, зам. директора НИИ радиоэлектроники и лазерной техники МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 150 научных работ в области лазерной техники.

V.I. Kozintsev (b.1945) graduated from the Bauman Moscow Higher Technical School in 1969. D. Sc. (Eng.), Deputy director of "Radioelectronics and Laser Technology" Research Institute of Moscow State Technical University n.a. Bauman. Author of more than 150 publications in the field of laser technology.

Людмила Николаевна Еременко родилась в 1957 г., окончила в 1980 г. МВТУ им. Н.Э. Баумана. Ассистент кафедры "Лазерные и оптико-электронные системы" МГТУ им. Н.Э. Баумана.

L.N. Eremenko (b.1957) graduated from the Bauman Moscow Higher Technical School in 1980. Assistant of "Laser and Optoelectronic Systems" department of the Bauman Moscow State Technical University.

Юрий Викторович Федотов родился в 1974 г., окончил в 1998 г. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Канд. техн. наук, научный сотрудник НИИ радиоэлектроники и лазерной техники МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 20 научных работ в области лазерной техники.

Yu.V. Fedotov (b.1974) graduated from the Bauman Moscow Higher Technical University in 1998. Ph. D. (Eng.), researcher of "Radioelectronics and Laser Technology" Research Institute of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 20 publications in the field of laser technology.

---

## КОНСТРУИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ

УДК 621.88-192

Фэн Лэй, Б. В. Букеткин,  
А. Н. Чеканов

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ БЕССВИНЦОВЫХ ПРИПОЕВ**

*Рассмотрены основы расчетов механических параметров паяных соединений. Описана методика проведения эксперимента на растяжение. На основе экспериментальных данных исследовано влияние температуры пайки на предел прочности при растяжении паяных соединений.*

С 1 июля 2006 г. свинец запрещен к использованию при производстве РЭА в ЕС, поэтому переход на бессвинцовую технологию пайки является главной проблемой изготовителей, которые направляют исследования на поиск оптимальных материалов для производства РЭА и соответствующей технологии.

Прочность паяных соединений при растяжении является одним из важных свойств используемых припоев.

**Основы расчетов механических параметров паяных соединений.** Чаще всего используются показатели качества и прочности паяных соединения в соответствии с ГОСТ 30535–97. Оценка среднего арифметического и среднего квадратического отклонения (СКО) является основой расчетов параметров надежности. Значения СКО характеризуют разброс наблюдаемых значений вокруг среднего значения. Чем больше СКО, тем больше разброс.

Если результаты, полученные в процессе независимых испытаний образцов, записаны в виде упорядоченного ряда значений и объем выборки  $n < 25$ , что соответствует малой выборке, то вычисляются оценки выборочного среднего арифметического  $X_{\text{ср}}$  и среднего квадратического отклонения  $S$  по известным зависимостям.

В ряде испытаний можно встретить элементы выборки, значительно отличающиеся от других элементов. Независимо от причины возникновения таких отличий (наличие ошибки наблюдения или весьма редкого события) необходимо оценить правомерность пребывания указанных наблюдаемых значений в этом статистическом ряду.

Выполняя анализ, например, пребывания значения  $X_{\text{max}}$  в ряду наблюдаемых значений  $X_1, X_2, \dots, X_n$ , при нормальной совокупности  $N(X, \sigma)$ , рассматривают безразмерную дробь

$$\nu = \frac{X_{\text{max}} - X_{\text{ср}}}{S}. \quad (1)$$

Если по заданному объему выборки  $n$  и заданной доверительной вероятности  $P^* = 1 - p$  из таблицы квантилей распределения находят величины  $\nu = \frac{X_{\text{max}} - X_{\text{ср}}}{S}$ , сопоставляемые с числом  $\xi$ , что соответствует выполнению неравенства

$$P(\nu \geq \xi) = p, \quad (2)$$

то это означает, что оценка  $\nu$  лежит вне пределов доверительного интервала.

Если неравенство при каком-либо из уровней  $p$  выполняется, то  $X_{\text{max}}$  для принятого  $P^*$  надо отбросить как грубую ошибку. При  $\nu \leq \xi$   $X_{\text{max}}$  остается внутри данного ряда.

**Методика проведения эксперимента на растяжение.** Технологический процесс пайки как бессвинцовых, так и свинцовых паяных соединений должен состоять из следующих операций: механической или химической очистки поверхности пайки; предварительного облуживания припоем; введения припоя, его расплавления и удаления излишков.

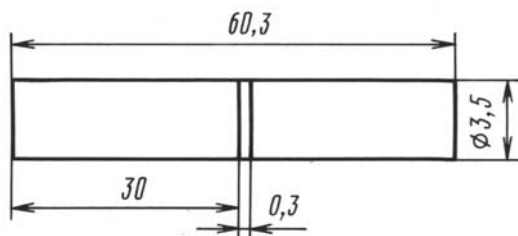


Рис. 1. Изготовленный образец

Очистка и предварительное облуживание имеют важное значение, так как в этом случае достигается меньший разброс значений характеристик прочности и плотности спая. В случае невозможности предварительного лужения пайку ведут и по чистой поверхности, но результаты будут хуже. Для предварительного лужения применяют припой такой же, как и для последующей пайки.

Для пайки использовалась паяльная станция в виде нагревающей пластины со стабилизатором заданной температуры. В процессе пайки стабилизируются два фактора: температура и продолжительность пайки, которые влияют на прочность и однообразие получаемых паяных соединений.

В соответствии с ГОСТ 28830–90 образцы для испытания на растяжение изготавливались путем спаивания двух медных стержней диаметром 3,5 мм. Геометрические параметры образца приведены на рис. 1, размеры образцов, полученных с применением бессвинцовой и свинцовой технологий, были одинаковыми.

В процессе испытаний исследовали влияние температуры пайки на прочность паяного соединения. Время пайки для каждой группы образцов было одинаковым. Образцы паялись припоем ПОС 61 и припоем следующего состава: Sn–99,3 %, Cu–0,7 %. Температура плавления данного бессвинцового припоя составляла 227 °С.

Параметром оценки прочности был выбран предел прочности при растяжении.

Образец, растягиваемый на разрывной машине, приведен на рис. 2. Для всех испытанных образцов фиксировали силу разрыва паяного

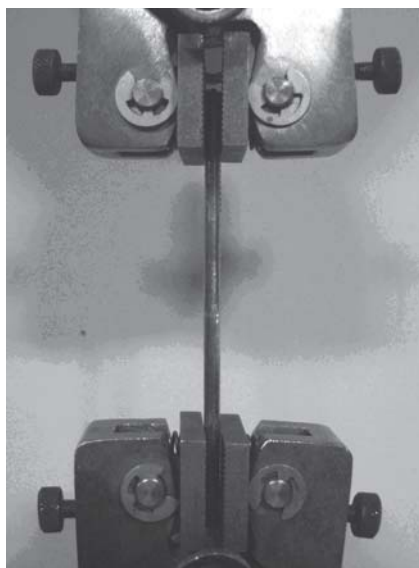


Рис. 2. Растягиваемый образец

соединения и вычисляли прочность на растяжение. Испытания всех образцов проводились при комнатной температуре.

**Обработка результатов.** Результаты эксперимента (таблица) получены путем деления значения силы разрыва на значение площади паяного соединения.

Таблица

**Предел прочности паяного соединения, МПа**

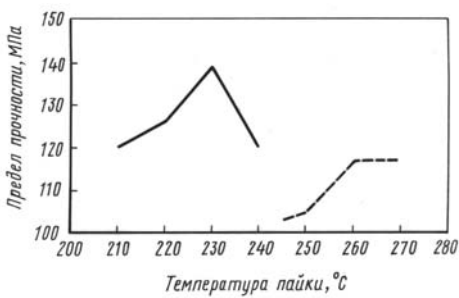
Номер образца	Температура пайки, °С, при использовании припоя							
	свинцового (ПОС 61)				бессвинцового (Sn/0,7Cu)			
	210	220	230	240	245	250	260	270
1	118	108	134	130	106	104	110	105
2	112	126	153	108	88	97	110	102
3	130	125	136	109	82	100	107	94
4	127	133	142	123	122	97	131	130
5	116	127	133	127	90	105	125	126
6	128	132	133	132	124	94	115	134
7	117	125	146	129	111	95	112	113
8	117	128	148	107	99	116	117	122
9	125	126	120	115	118	114	114	126
10	111	—	142	121	88	127	125	—
$X_{cp}$	120	126	139	120	103	105	117	117
СКО	6,8	7,3	9,5	9,7	15,5	10,9	7,9	14

При температуре 245 °С у бессвинцового припоя получен самый большой разброс значений предела прочности образца, поэтому необходимо оценить правомерность пребывания значения  $X_{max}$  в данном ряду.

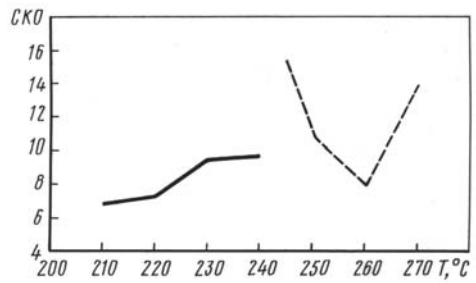
При доверительной вероятности  $P^* = 0,95$  для числа наблюдений  $n = 10$  из таблицы квантилей распределения величины  $\nu = \frac{X_{max} - X_{cp}}{S}$  находим квантиль  $\xi = 2,29$ , определяем  $\nu = \frac{124 - 103}{15,5} = 1,35$ , сравниваем оценки  $\nu$  и  $\xi$ ; если выполняется неравенство  $\nu < \xi$ , то значение  $X_{max}$  остается. Таким образом, все результаты наблюдений остаются.

Зависимости предела прочности при растяжении от температуры пайки и СКО от температуры пайки приведены на рис. 3 и 4.

**Выводы.** 1. Предел прочности бессвинцовых паяных соединений при растяжении на 12 % меньше, чем свинцовых соединений. Такое различие можно считать несущественным (для промышленности).



**Рис. 3. Зависимость предела прочности при растяжении от температуры пайки**



**Рис. 4. Зависимость СКО от температуры пайки**

2. Для данного технологического процесса при пайке свинцовым припоем предел прочности при растяжении имеет меньший разброс, чем при пайке бессвинцовым припоем.

3. В диапазоне использованных температур разброс значений предела прочности образца при пайке бессвинцовым припоем резко меняется. Стабильные паяные соединения получаются только в узком диапазоне температур пайки.

4. С повышением температуры пайки в исследованном диапазоне предел прочности бессвинцовых паяных соединений повышается.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shohjс Ikuo, Yoshida Tomohiro, Takahashi Takehiko, Hioki Susumu. Comparison of low-melting lead-free solders in tensile properties with Sn-Pb eutectic solder // Journal of materials science. – 2004. – Vol. 15. – No. 4. – P. 219–223.
2. В о т и н ц е в А. М. Современные материалы для бессвинцовой технологии // Тез. докл. конф. “Подготовка к введению европейских директив RoHS и WEEE”.

Статья поступила в редакцию 28.05.2007

Фэн Лэй родился в 1978 г., окончил Харбинский политехнический университет (КНР) в 2002 г. Аспирант кафедры “Проектирование и технология производства электронной аппаратуры” МГТУ им. Н.Э.Баумана. Старший преподаватель кафедры “Электронные измерения” Харбинского политехнического университета. Автор 5 научных работ в области технологии приборостроения.

Fan Lay (b. 1978) graduated from the Harbin Polytechnic University (People’s Republic of China) in 2002. Post-graduate of “Design and Production Technology of Electronic Apparatus” department of the Bauman Moscow State Technical University. Senior lecturer of “Electronic Measurements” of the Harbin Polytechnic University. Author of 5 publications in the field of technology of instrument engineering.



Борис Васильевич Букеткин родился в 1939 г., окончил МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1963 г. Старший преподаватель кафедры “Прикладная механика” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор 17 научных работ в области испытаний материалов и элементов конструкций на прочность.

B.V. Buketkin (b. 1939) graduated from the Bauman Moscow Higher Technical School in 1963. Senior lecturer of “Applied Mechanics” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of 17 publications in the field of strength tests of materials and construction elements.

Анатолий Николаевич Чеканов родился в 1921 г., окончил МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1954 г. Канд. техн. наук, профессор кафедры “Проектирование и технология производства электронной аппаратуры” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор 160 научных работ в области конструирования и надежности электронной аппаратуры.

A.N. Chekanov (b. 1921) graduated from the Bauman Moscow Higher Technical School in 1954. Ph. D. (Eng.), professor of “Design and Production Technology of Electronic Apparatus” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of 160 publications in the field of design and reliability of electronic apparatus.

---

## **ЖУРНАЛ “ВЕСТНИК МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА имени Н.Э. БАУМАНА” ИЗДАТЕЛЬСТВО МГТУ имени Н.Э. БАУМАНА**

В журнале публикуются наиболее значимые результаты фундаментальных и прикладных исследований и совместных разработок, выполненных в МГТУ имени Н.Э. Баумана и других научных и промышленных организациях.

**Журнал “Вестник МГТУ имени Н.Э. Баумана” в соответствии с постановлением Высшей аттестационной комиссии Федерального агентства по образованию Российской Федерации включен в перечень периодических и научно-технических изданий, в которых рекомендуется публикация основных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора наук.**

Журнал издается в трех сериях: “Приборостроение”, “Машиностроение”, “Естественные науки” с периодичностью 12 номеров в год.

В серии “Приборостроение” (главный редактор серии — д-р техн. наук профессор В.А. Матвеев) публикуются материалы по следующим основным направлениям: информатика и вычислительная техника; системы управления; лазерные и оптоэлектронные системы; оптика; радиоэлектроника; навигационно-гироскопические системы; мехатроника и робототехника; биомедицинские технологии; конструирование и технология приборостроения.

Подписку на журнал “Вестник МГТУ имени Н.Э. Баумана” можно оформить через агентство “Роспечать”.

**Подписывайтесь и публикуйтесь!**

**Подписка по каталогу “Газеты, журналы” агентства “Роспечать”**

Индекс	Наименование серии	Объем выпуска	Подписная цена (руб.)	
		Полугодие	3 мес.	6 мес.
72781	“Машиностроение”	2	250	500
72783	“Приборостроение”	2	250	500
79982	“Естественные науки”	2	250	500

Адрес редакции журнала “Вестник МГТУ имени Н.Э. Баумана”: 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д.5.

Тел.: (499) 263-62-60; (499) 263-67-98. Факс: (495) 261-45-97. E-mail: [press@bmstu.ru](mailto:press@bmstu.ru)