



УДК 621.315.616.9  
doi: 10.21685/2587-7704-2023-8-1-12



Open  
Access

RESEARCH  
ARTICLE

## Исследование влияния компаундов на тепловые характеристики печатного узла

**Егор Андреевич Вершинин**

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40  
egor.verschinin2011@yandex.ru

**Вадим Денисович Степанов**

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40  
vadim.ste99@mail.ru

**Евгения Анатольевна Данилова**

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40  
siori@list.ru

**Илья Михайлович Рыбаков**

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40  
rybakov\_im@mail.ru

**Николай Владимирович Горячев**

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40  
ra4foc@yandex.ru

**Аннотация.** Рассмотрены наиболее распространенные виды компаундов, которые используются для снижения температурных характеристик нагревательного элемента. Результаты исследования представлены в виде таблицы, позволяющей осуществить выбор наилучшего варианта термопасты.

**Ключевые слова:** компаунд, теплопроводность, расчет, печатный узел, тепловые характеристики, композитные материалы, термоинтерфейс

**Финансирование:** исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-29-20318, <https://rscf.ru/project/22-29-20318>

**Для цитирования:** Вершинин Е. А., Степанов В. Д., Данилова Е. А., Рыбаков И. М., Горячев Н. В. Исследование влияния компаундов на тепловые характеристики печатного узла // Инжиниринг и технологии. 2023. Т. 8 (1). С. 1–8. doi: 10.21685/2587-7704-2023-8-1-12

## Investigation of the effect of compounds on the thermal characteristics of the printing unit

**Egor A. Vershinin**

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia  
egor.verschinin2011@yandex.ru

**Vadim D. Stepanov**

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia  
vadim.ste99@mail.ru

**Eugenia A. Danilova**

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia  
siori@list.ru

**Ilya M. Rybakov**

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia  
rybakov\_im@mail.ru

**Nikolay V. Goryachev**

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia  
ra4foc@yandex.ru



**Abstract.** This scientific article discusses the most common types compound that are used to reduce the temperature characteristics of the heating element. The results of the study are presented in the form of a table that allows you to choose the best option of thermal paste.

**Keywords:** compound, thermal conductivity, calculation, printed circuit assembly, thermal characteristics, composite materials, thermal interface

**Financing:** the research has been realized at the expense of the grant of the Russian Science Foundation the project № 22-29-20318, <https://rscf.ru/en/project/22-29-20318/>

**For citation:** Vershinin E.A., Stepanov V.D., Danilova E.A., Rybakov I.M., Goryachev N.V. Investigation of the effect of compounds on the thermal characteristics of the printing unit. *Inzhiniring i tekhnologii = Engineering and Technology. 2023;8(1):1–8.* (In Russ.). doi: 10.21685/2587-7704-2023-8-1-12

## Введение

Одной из важнейших задач термоинтерфейса является защита контактов на платах и микросхемах от негативного влияния окружающей среды (пыли, влаги, а также от загрязнений и механических воздействий). Достаточно часто эту задачу выполняют компаунды (от англ. *compound*), которые представляют собой смесь каких-либо веществ, но не являются химическим соединением [1]. Компаунды бывают полимерными и эпоксидными. К полимерным относят силиконовые, полиуретановые материалы, а также жидкие термопасты. Различные вязкие клеящие составы на основе эпоксидов, соответственно – к эпоксидным.

Эпоксидные компаунды – это материалы, находящиеся в жидком состоянии и застывающие при высыхании либо под воздействием определенных температур (рис. 1) [2].



Рис. 1. Эпоксидный компаунд

Эпоксидные компаунды бывают двух видов: формовочные и вязко-текучие, которые в свою очередь подразделяются:

- на заливочные;
- литьевые;
- обволакивающие;
- пропиточные.

К достоинствам эпоксидных компаундов относят хорошие механические и электрические свойства; хорошую текучесть, высокую химическую стойкость, отсутствие выделения летучих фракций, малую усадку [3].

В качестве недостатков эпоксидных компаундов можно отметить высокую цену на сам материал, высокие и строгие требования контроля температур, повреждение или полное разрушение термоинтерфеса при высоких температурах, герметичность отливных форм.

Эпоксидные компаунды широко применяются в различных отраслях промышленности, в частности в радиоэлектронике и электротехнике. Заливочные эпоксидные составы используются также для заливки катушек зажигания, трансформаторов, элементов высоковольтной техники. Для подобных



применений в состав материала должны входить гидроксид алюминия, пентабромдифенилоксид, смеси изомеров и эпоксидная смола.

Полимерные компаунды – это материалы, изготовленные на основе полимеров, олигомеров или мономеров (например, каучука, полиэфирной и/или эпоксидной смолы, силикона (смазочные компаунды) и т.д.). Полимерные компаунды применяются для заливки и пропитки некоторых элементов и блоков различной радиоаппаратуры для электроизоляции, защиты от внешней среды, механических воздействий. Заливка осуществляется методом литья под давлением, свободным и центробежным литьем, литьем без давления в вакуумируемую форму, методом автоматического гелеобразования под давлением (АГД) (рис. 2) [4].



Рис. 2. Полимерный компаунд

В отличие от эпоксидных, у полимерных компаундов имеются следующие преимущества: отсутствие летучих веществ, хорошие теплофизические, электроизоляционные и реологические свойства.

Отдельным видом компаундов являются смазочные компаунды. Данные материалы были разработаны на основе силиконов с загустителем (политетрафторэтилен (ПТФЭ) или силикагель, оксиды металлов и кремнезем). Смазочные компаунды также используют для смазывания и/или герметизации различных уплотнений, подвижных и неподвижных соединений в качестве теплопроводящей среды (термопасты в электронике, разделительной среды). Существенным преимуществом смазочных компаундов является их долговечность. Смазочные компаунды также отличаются химической стабильностью, негорючестью, высокими диэлектрическими свойствами, гидрофобностью, широким диапазоном рабочих температур. Благодаря этим преимуществам они и получили широкое распространение.

Далее приведен обзор наиболее распространенных в настоящее время компаундов.

КПТД-1/1-1Т-8,5 – это компаунд, который является 100 % силиконовыми эластомерами, разработанный для герметизации от внешней среды, электрической изоляции и обеспечения отвода тепла от электронных схем и микросборок в изделиях тепло-, электро- и радиоэлектронной техники. Данный термоинтерфейс обеспечивает эффективный отвод тепла и электрическую изоляцию за счет повышенных теплопроводящих и диэлектрических свойств керамических наполнителей (рис. 3) [5].



Рис. 3. КПТД-1/1-1Т-8,5

ЗЛК-200 – двухкомпонентный заливочный кремнийорганический эпоксидный компаунд, предназначенный для корпусной заливки изделий радиоэлектронной техники с целью защиты компонентов от внешних воздействующих факторов (вибрации, ударные нагрузки, загрязнения, влага, химически активные вещества и др.) и обеспечения теплового режима работы изделия (рис. 4).



Рис. 4. ЗЛК-200

Виксинт ПК-68 предназначен для защиты от внешнего воздействия изделий радиотехнической и электронной техники, электроприборов, различных плат, длительно работающих в воздушной среде и в условиях повышенной влажности. Обладает способностью некоторое время находиться в воде без разложения. Мягкость и эластичность компаунда позволяет применять его для герметизации изделий из ферритов и пермаллоев (рис. 5) [6, 7].



Рис. 5. Виксинт ПК-68



SC2001 – теплопроводный силиконовый компаунд – представляет собой двухкомпонентный термоинтерфейс, предназначенный для защиты радиоэлектронных средств, который подходит для заливки электрических и электронных изделий, работающих при высокой температуре (рис. 6).



Рис. 6. SC2001

ER2183 – это двухкомпонентный, заливочный, герметизирующий и эпоксидный компаунд. Для данного термоинтерфейса используется технология ингибированного горения – «чистого» типа, что приводит к испусканию сравнительно малотоксичных паров и слабому дымообразованию (рис. 7).



Рис. 7. ER2183

UR5633 – термоинтерфейс, представляющий собой теплопроводящий двухкомпонентный, заливочный и герметизирующий материал, ингибирующий горение. Этот отвержденный полиуретан в особенности хорошо подходит для изделий с жесткими требованиями по термоциклированию или тепловому удару, прочный и гибкий (рис. 8) [8].



Рис. 8. UR5633

Далее в табл. 1 и на рис. 9 и 10 более детально рассмотрены характеристики компаундов.

Таблица 1

Технические характеристики жидких металлов

| Название компаунда | Теплопроводность, Вт/(м·К) | Плотность, г/см <sup>3</sup> | Диапазон рабочих температур, °С | Масса упаковки, г |
|--------------------|----------------------------|------------------------------|---------------------------------|-------------------|
| КПТД-1/1-1Т-8,5    | 0,7                        | 2                            | -60...+250                      | 100               |
| ЗЛК-200            | 0,8                        | 1,2                          | -60...+250                      | 100               |
| Виксинт ПК-68      | 0,4                        | 1                            | -60...+200                      | 100               |
| SC2001             | 0,6                        | 1,4                          | -50...+200                      | 250               |
| ER2183             | 1,1                        | 1,95                         | -40...+130                      | 250               |
| UR5633             | 1,24                       | 1,65                         | -50...+125                      | 250               |

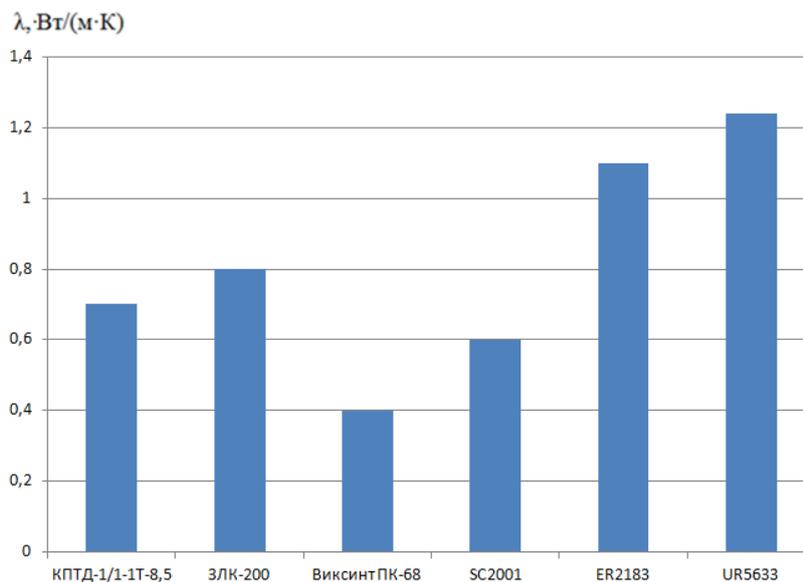


Рис. 9. Исследование параметра теплопроводности компаундов

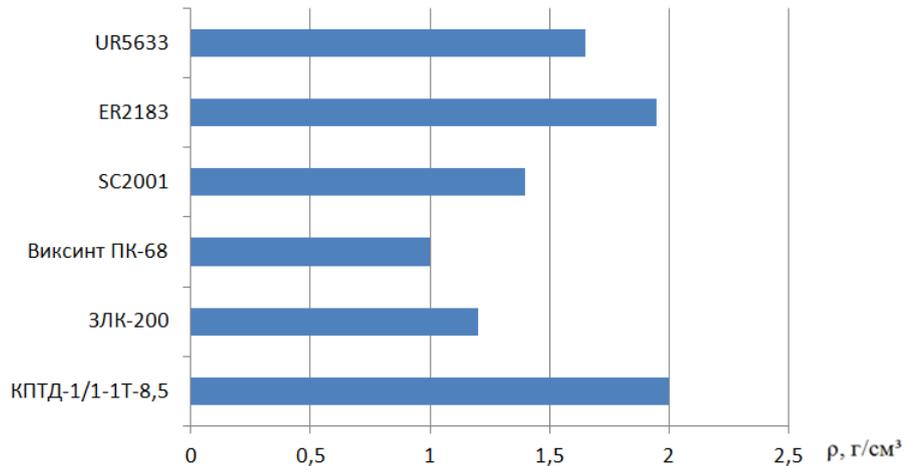


Рис. 10. Исследование параметра плотности компаундов

### Заключение

Анализ различных видов компаундов показал, что одними из главных параметров, которые позволяют стабильно поддерживать температуру, являются высокий коэффициент теплопроводности и плотность компаундов. Таким образом, из рассмотренных вариантов по параметру плотности высоким значением обладает компаунд КПТД-1/1-1Т-8,5, а по теплопроводности – компаунд UR5633. Недостаточно высокими характеристиками имеет компаунд Висксинт ПК-68 [9–12].

### Список литературы

1. Electrolube. URL: <https://electrolube.com> (дата обращения: 03.10.22).
2. Висксинт ПК-68. URL: <https://www.himtehr.ru/products/viksint-pk-68/> (дата обращения: 03.10.22).
3. ЗЛК-200. URL: <https://npkstep.ru/products/thermal-conducting-compounds/zlk-200/> (дата обращения: 03.10.22).
4. Михеев В. А., Сулаберидзе В. Ш., Мушенко В. Д. Теплопроводность заливочных компаундов на основе силикона для диэлектрических теплопроводящих покрытий в электронике // 5-я Междунар. конф. по проблемам термометрии «Температура-2015»: сб. тезисов. СПб.: ФГУП ВНИИМ им. Д. И. Менделеева, 2015. С. 245–247.
5. ТУ РБ 100009933.004-2001. Материал керамико-полимерный теплопроводящий диэлектрический. Технические условия. Минск: Номакон, 2001. 46 с.
6. Горячев Н. В., Рыбаков И. М., Юрков Н. К. Методика однокритериального выбора теплоотвода дискретного теплонагруженного электрорадиоизделия // XXI Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM-2018): сб. докладов. СПб., 2018. Т. 1. С. 397–400.
7. Каримов И. И., Тюрина Л. А. Пластиковый изолятор как теплопроводный материал // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2018. Т. 2. С. 164–165.
8. Аброськин Н. С., Данилова Е. А., Жумашев Н. Г. Анализ современных средств тепловизионного исследования // Современные информационные технологии. 2017. № 2. С. 639–645.
9. Goryachev N., Yurkov N., Danilova E. Modelling thermoshock influence on printed units with metal ground // 2018 International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2018, Sochi, 09–16 September 2018. Sochi, 2018. P. 8501828.
10. Савин М. Л., Зуев В. Д., Кочегаров И. И., Соловьева Е. М., Лысенко А. В. Методика контроля работоспособности устройства по косвенным параметрам // Надежность и качество сложных систем. 2022. № 1. С. 98–107. doi: 10.21685/2307-4205-2022-1-11
11. Куатов Б. Ж., Рыбаков И. М., Юрков Н. К. К проблеме создания цифровых моделей теплонагруженных элементов радиоэлектронной системы // Надежность и качество сложных систем. 2022. № 1. С. 9–19. doi: 10.21685/2307-4205-2022-1-2
12. Ануар Г. А., Рыбаков И. М., Юрков Н. К. [и др.]. Анализ измерительных систем управления тепловым режимом с использованием материалов с фазовым переходом в электронной аппаратуре // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». 2022. Т. 2. С. 75–77.

### References

1. *Electrolube*. Available at: <https://electrolube.com> (accessed 03.10.22).
2. *Viksint PK-68*. Available at: <https://www.himtehr.ru/products/viksint-pk-68/> (accessed 03.10.22).
3. *ZLK-200*. Available at: <https://npkstep.ru/products/thermal-conducting-compounds/zlk-200/> (accessed 03.10.22).
4. Mikheev V.A., Sulaberidze V.Sh., Mushenko V.D. Thermal conductivity of silicone-based filling compounds for dielectric heat-conducting coatings in electronics *5-ya Mezhdunar. konf. po problemam termometrii «Temperatura-*



- 2015»: sb. Tezisev = 5th International Conference on problems of thermometry "Temperature-2015" : collection of theses. Saint Petersburg: FGUP VNIIM im. D.I. Mendeleeva, 2015:245–247. (In Russ.)
5. TU RB 100009933.004-2001. *Material keramiko-polimernyy teploprovodyashchiy dielektricheskiy. Tekhnicheskie usloviya = Ceramic-polymer heat-conducting dielectric material. Technical conditions.* Minsk: Nomakon, 2001:46. (In Russ.)
  6. Goryachev N.V., Rybakov I.M., Yurkov N.K. The method of single-criteria selection of the heat sink of discrete heat-loaded electric radio. *XXI Mezhdunarodnaya konferentsiya po myagkim vychisleniyam i izmereniyam (SCM-2018): sb. dokladov = XXI International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM-2018) : collection of reports.* Saint Petersburg, 2018;1:397–400. (In Russ.)
  7. Karimov I.I., Tyurina L.A. Plastic insulator as a heat-conducting material. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the International Symposium "Reliability and Quality".* 2018;2:164–165. (In Russ.)
  8. Abros'kin N.C., Danilova E.A., Zhumashev N.G. Analysis of modern means of thermal imaging research. *Sovremennye informatsionnye tekhnologii = Modern information technologies.* 2017;(2):639–645. (In Russ.)
  9. Goryachev N., Yurkov N., Danilova E. Modelling thermoshock influence on printed units with metal ground. *2018 International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2018 (Sochi, 09–16 sentyabrya 2018 g.).* Sochi, 2018:8501828.
  10. Savin M.L., Zuev V.D., Kocheharov I.I., Solov'eva E.M., Lysenko A.V. The method of monitoring the device's operability by indirect parameters. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system = Reliability and quality of complex systems.* 2022;(1):98–107. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-4205-2022-1-11
  11. Kvatov B.Zh., Rybakov I.M., Yurkov N.K. On the problem of creating digital models of heat-loaded elements of an electronic system. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system = Reliability and quality of complex systems.* 2022;(1):9–19. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-4205-2022-1-2
  12. Anuar G.A., Rybakov I.M., Yurkov N.K. et al. Analysis of measuring systems for thermal regime control using phase transition materials in electronic equipment. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the International Symposium "Reliability and Quality".* 2022;2:75–77. (In Russ.)

**Поступила в редакцию / Received 17.03.2023**

**Поступила после рецензирования и доработки / Revised 20.04.2023**

**Принята к публикации / Accepted 11.05.2023**