

УДК: 678.664

doi 10.18101/978-5-9793-0803-6-12-15

## КОМПОЗИЦИОННЫЙ РЕЗИСТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНОПОЛНЕННОГО ПОЛИУРЕТАНА

© *Мелентьев Сергей Владимирович*, кандидат технических наук, заведующий лабораторией «Наноматериалы и нанотехнологии», старший преподаватель кафедры прикладной механики и материаловедения Томского государственного архитектурно-строительного университета Россия г. Томск  
E-mail: sergey.melentev.88@mail.ru

© *Малиновская Татьяна Дмитриевна*, доктор химических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Сибирского физико-технического института имени академика В. Д. Кузнецова Томского государственного университета Россия, г. Томск

© *Павлов Сергей Вячеславович*, студент 2-го курса, группа 323/2, механико-технологический факультет Томского государственного архитектурно-строительного университета Россия, г. Томск

В работе изучены эксплуатационные характеристики греющих покрытий из композиционного резистивного материала на основе полиуретана, наполненного коллоидно-графитовым препаратом С-1, которые могут быть использованы в конструкциях электрических нагревателей. Разработан технологический процесс формирования композиционного резистивного материала на металлических поверхностях элементов конструкций технологического оборудования, позволяющий создавать электрические нагреватели, которые отличаются простотой монтажа и эксплуатации, надежностью, сроком службы более 8000 часов, стабильностью электрического сопротивления в длительном временном и широком температурном интервалах, высокой адгезионной прочностью к металлическим поверхностям, равномерным распределением температуры по всей площади поверхности. Проведены эксплуатационные испытания композиционного резистивного материала на основе углероднаполненного полиуретана в конструкциях электрических нагревателей греющих щитов термоактивных опалубок, греющих плит прессов, масляных ванн для горячей посадки деталей, которые подтверждают эффективность его использования в машиностроении.

**Ключевые слова:** композиционный резистивный материал, греющее покрытие, полиуретан, коллоидно-графитовый препарат, электрический нагреватель, машиностроение, технологическое оборудование.

## COMPOSITE RESISTIVE MATERIAL BASED ON CARBON-FILLED POLYURETHANE

*Sergey V. Melentyev*, Candidate of Engineering Sciences, Head of the Laboratory «Nanomaterials and Nanotechnologies», Senior Lecturer at the Applied Mechanics and Material Sciences Department, Tomsk State University of Architecture and Building Tomsk, Russia

*Tatiana D. Malinovskaya*, Doctor of Chemical Sciences, Professor,  
Leading Researcher at the Siberian Physico-Technical Institute named after V. D. Kuznetsova,  
Tomsk State University  
Tomsk, Russia

*Sergey V. Pavlov*, 2nd year student, group 323/2, Mechanics and Engineering Department,  
Tomsk State University of Architecture and Building  
Tomsk, Russia

The research paper deals with the performance of composite resistive material heating coatings based on the polyurethane binder, filled with colloidal-graphite preparation C-1, which can be used in the structures of electric heaters. The technological process of forming composite resistive material on the metal surfaces of structural elements of the technological equipment is developed. This allows to create electric heaters, which are characterized by the simplicity of installation and operation, reliability, service life more than 8000 hours, the stability of the electrical resistance in a long time and a wide temperature range, high adhesive strength to metal surfaces, a uniform temperature distribution over the entire surface. Composite resistive material performance tests on the basis of carbon filled polyurethane in the construction of electric heaters heating panels thermosetting formwork, heating plate presses, oil baths for shrink fitting details have been conducted, which confirm the effectiveness of its use in mechanical engineering.

*Keywords:* composite resistive material, the heating covering, polyurethane, colloidal and graphite preparation, electric heater, mechanical engineering, processing equipment.

Актуальным направлением в материаловедении является разработка композитов на основе полимеров. К ним относятся, в частности, композиционные резистивные материалы (КРМ), применяемые в виде покрытий для нагрева элементов конструкций технологического оборудования. В настоящее время при создании КРМ в качестве связующих широко применяют такие полимеры, как полиамид, полипропилен, эпоксидные смолы и др. Однако этим материалам присущи свойства, которые усложняют их использование в КРМ: низкая адгезия к металлическим поверхностям, значительная размерная нестабильность, выделение большого количества летучих веществ при полимеризации.

Использование полиуретана в качестве связующего КРМ является перспективным, т. к. он обладает хорошей адгезией практически ко всем материалам, способностью обеспечить прочный контакт молекул полимера с частицами наполнителя. Это может привести к их равномерному распределению в смеси и улучшению токопроводящих свойств КРМ с минимальным отклонением температуры нагрева.

Целью данной работы являлось изучение эксплуатационных характеристик КРМ на основе углероднаполненного полиуретана.

В качестве связующего КРМ использован полиуретановый лак VM 700 GLOSS. Он имеет высокие показатели прочности, адгезии к металлам, работоспособности в широком температурном интервале от  $-60$  до  $130$  °С без су-

ществленного ухудшения механических свойств. На основе анализа свойств токопроводящих наполнителей выбран коллоидно-графитовый препарат С-1. Этот углеродный материал химически пассивен к кислороду и большинству известных связующих в широком диапазоне температур.

Разработанный процесс формирования КРМ на элементах конструкций технологического оборудования состоит из ряда операций: подготовка их поверхностей (очистка, нанесение диэлектрического слоя); изготовление электрических контактов к КРМ; нанесение углероднаполненной композиции после диспергирующего смешения в течение 2 часов; полимеризация покрытия при температуре 120 °С в течение 2 часов [1].

Для изучения эксплуатационных характеристик греющих покрытий на щите термоактивной опалубки (рис. 1а) и плите пресса (рис. 1б) по описанному выше методу были изготовлены электрические нагреватели из КРМ. Нагреватель, размещенный на внешней стороне щита и плиты, выполнен в виде КРМ толщиной 300 мкм и электродов. Изолирующие слои с обеих сторон нагревателя выполнены в виде покрытий, одно из которых диэлектрическое, а второе — теплоизоляционное. Выбранная схема конструкций греющих щита и плиты обеспечивает отсутствие внешних воздействий на КРМ и его долговечность.

Использование КРМ в конструкции нагревателя позволяет добиться равномерного температурного поля (при максимальной рабочей температуре 130 °С перепад составляет  $\pm 0,7$  °С) по всей площади греющего щита, а также поверхности греющей плиты. Температура 130 °С и удельное объемное сопротивление 1,59 Ом·см нагревателя в течение 8000 часов сохраняют свои значения, что свидетельствует о его работоспособности. В ходе испытаний на морозостойкость нагревателя выявлено, что после 150 циклов его нагревания до температуры 130 °С и последующего охлаждения до -40 °С эксплуатационные характеристики КРМ не изменяются.

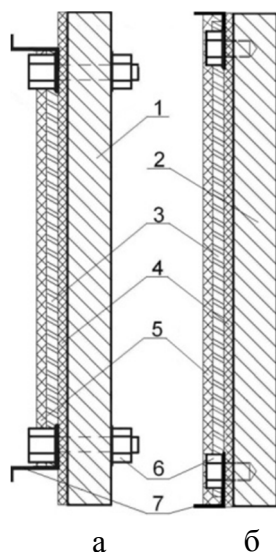


Рис. 1. Конструкции греющего щита термоактивной опалубки (а) и греющей плиты пресса (б) с электрическим нагревателем из КРМ: щит (1); плита (2); КРМ (3); диэлектрическое покрытие (4); теплоизоляционное покрытие (5); крепежное соединение (6); электроды (7)

Таким образом, разработан процесс формирования КРМ на элементах конструкций технологического оборудования, позволяющий создавать нагреватели, которые отличаются простотой монтажа и эксплуатации, надежностью, длительным сроком службы, стабильностью электрического сопротивления в длительном временном интервале, равномерным распределением температуры по всей площади поверхности.

#### **Литература**

1. Electrophysical and thermophysical characteristics of a multifunctional composite polyurethane-based material / T. D. Malinovskaya, V. I. Suslyayev, S. V. Melentyev, K. V. Dorozkin // *Russian Physics Journal*. 2014. Vol. 57, № 8. P. 1094–1098.
2. A review on the mechanical and electrical properties of graphite and modified graphite reinforced polymer composites / R. Sengupta [et al.] // *Progress in Polymer Science*. 2011. Vol. 36, № 5. P. 638–670.
3. Electrically conductive multiphase polymer blend carbon-based composites / J. Pearson [et al.] // *Polymer Engineering And Science*. 2014. Vol. 54, № 1. P. 1–16.
4. Malinovskaya T. D., Melentyev S. V. Electrophysical properties of polyurethane-based composite coatings // *Russian Physics Journal*. 2013. Vol. 56, № 8. P. 970–972.