

температурой начала образования пористой керамической структуры. Это означает, что компоненты огнезащитной шихты при термическом воздействии должны участвовать в захвате материала кремнийорганической матрицы, а один или несколько компонентов шихты должны облегчать диффузионный процесс спекания.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патент US7652090 Fire-resistant silicone polymer composition, 2010.
2. Патент US2011186330 – Ceramisable composition for a power and/or telecommunication cable, 2011.
3. Патент US4269753 Siloxane compositions which can be ceramified at high temperatures, 1981.
4. David C. Timpe Jr. Developing silicon rubber flame resistance. Rubber&Plastic News, February 11, 2008.

Статью рекомендовал к опубликованию д.х.н. С.А. Пономаренко.

**Перов Николай Сергеевич** – Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН; e-mail: peropost@yandex.ru; 117393, Москва, ул. Профсоюзная, 70; тел.: 84953325813, факс: +74957183404; с.н.с.

**Рудакова Татьяна Алексеевна** – с.н.с.

**Бешенко Марина Александровна** – с.н.с.

**Попова Татьяна Вениаминовна** – с.н.с.

**Озерин Александр Никифорович** – директор ИСПМ РАН.

**Perov Nikolai Sergeevich** – Enikolopov Institute of Synthetic Polymeric Materials of the Russian Academy of Science; e-mail: peropost@yandex.ru; 70, Profsoyunaya street, Moscow, 117393, Russia; phone: +74953325813, fax: +74957183404; senior research.

**Rudakova Tatjana Alekseevna** – senior research.

**Beshenko Marina Aleksandrovna** – senior research.

**Popova Tatjana Veniaminovna** – senior research.

**Ozerin Aleksandr Nikiforovich** – director ISPM RAS.

УДК 536.46

**Т.А. Рудакова, Н.С. Перов, А.Н. Озерин**

#### **ОГНЕТЕПЛОЗАЩИТНЫЕ ЭЛАСТИЧНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКОМ СВЯЗУЮЩЕМ**

*Представлена разработка составов для гибких эластичных теплоогнезащитных покрытий на кремнийорганическом связующем, предназначенных для защиты пожароопасных узлов и деталей. В качестве связующего были использованы силоксановые каучуки и ряд промышленных компаундов, в качестве наполнителя смесь ряда оксидов и солей металлов. Образующиеся в процессе огневого воздействия под внешним слоем огнеупорные структуры имеют мелкоячеистое строение и низкую температуропроводность. Показано, что неорганические компоненты при 20 % наполнении эффективно взаимодействуют с кремнийорганическим остатком матрицы с образованием защитного покрытия. Величина относительного удлинения при разрыве покрытия на основе такой композиции составляет до 650 %.*

*Силоксановые каучуки; оксиды металлов; соли металлов; огнеупорные структуры; теплопроводность; теплоогнезащита.*

**T.A. Rudakova, N.S. Perov, A.N. Ozerin**

### **HEAT- AND FIRE- PROTECTIVE ELASTIC COATINGS BASED ON ORGANOSILICON COMPOUNDS**

*Composition development of flexible elastic heat- and fire- protective coatings based on organosilicon compounds for protection of fire hazardous components is presented. Siloxane rubbers were used as the binder, while a mixture of metal oxides and salts was used as the filler. Fireproof structures formed under fire exposure have fine-meshed structure and low heat conductivity. It is shown that the inorganic components at 20 % filling are effectively interacting with residual silicon matrix with forming a protective coating. The elongation at break value the coating from this composition is approaching to 650 %.*

*Organosilicon compounds; metal oxides; metal salts; fireproof structures; heat conductivity; heat and fire protection.*

В последнее время в области теплоогнезащиты одним из перспективных направлений стало создание гибких защитных покрытий, предназначенных для работы в условиях огневого воздействия и жестких тепловых напряжений. Материал таких покрытий в условиях наложения теплового потока разлагается со смещением общего течения процесса термоокислительной деструкции в сторону увеличения выхода остатка. Это учитывается при разработке различных огне-теплозащитных составов для покрытий и реализуется путем введения в связующее комплекса антипиренов и структурирующих добавок, регулирующих процесс деструкции и образования конденсированных структур. Несмотря на повышение интереса и расширение области применения, увеличение количества разработок при создании огнетеплозащитных составов часто не сопровождается системным научным подходом. Обусловлено это в большинстве случаев сложностью аэротермохимических превращений композита под действием теплового потока. Разработка новых составов для покрытий часто основывается на эмпирическом поиске и очень мало данных о взаимосвязи механических свойств образующегося под действием внешнего теплового потока защитного слоя и химического состава композита. Часто трудно выявить корреляцию между термохимическими свойствами исходного связующего, наполнителя и теплофизическими характеристиками получаемого в процессе нагрева и горения материала покрытия.

Особую актуальность в настоящее время приобретает разработка составов с повышенной термостойкостью и высокими физико-механическими показателями. По требованиям, которые предъявляют такие отрасли, как авиационная, электротехническая, энергетическая и др., материалы покрытий не только должны быть термостойкими, но и обладать высокой стойкостью к фракциям углеводородных топлив, быть химически стойкими, негорючими и, наконец, длительное время иметь высокие эксплуатационные свойства в жестких штатных условиях и способность к надежному разовому срабатыванию в экстремальной ситуации.

В настоящей работе представлена разработка составов для гибких эластичных теплоогнезащитных покрытий на кремнийорганическом связующем, предназначенных для защиты пожароопасных узлов и деталей. В качестве связующего были использованы силоксановые каучуки и ряд промышленных компаундов, в качестве наполнителя смесь ряда тугоплавких оксидов и солей металлов. Компоненты шихты предварительно высушивались, измельчались на роторной мельнице KICA-WERKE M20, фракционировались и интенсивно перемешивались со свя-

зующим. Полученную композицию наносили на тканевую подложку из кремнеземного волокна «ТЕРМ» и вулканизировали в выбранном температурном режиме.

В качестве физико-механических показателей отслеживали прочность на разрыв и относительное удлинение при разрыве. С целью изучения термического поведения компонентов и композитов проводили термогравиметрический и ДСК-анализ на приборе STA 449F3 Jupiter фирмы NETZSCH.

Огнетеплозащитные свойства покрытий исследовали по методике, сущность которой заключается в измерении полей температуры (контактным или бесконтактным методом) на тыльной стороне образца с огнезащитным покрытием на фасадной стороне при огнетепловом воздействии пропан-бутановой горелкой на образец и построении температурной зависимости от времени от начала теплового воздействия до наступления предельного состояния материала образца.

Схематично при наложении интенсивного теплового потока на защищаемую поверхность последовательно и параллельно протекают следующие процессы:

- ◆ пиролиз-выделение в газовую фазу продуктов деструкции покрытия;
- ◆ отслаивание – отделение размягченных или отделившихся зон поверхности под действием газового потока или инерционных сил;
- ◆ шелушение – растрескивание поверхности и отделение от нее чешуек вследствие теплового расширения;
- ◆ сгорание – высокотемпературный процесс окисления выделившихся продуктов и отделившихся частиц.

Поступающий на поверхность тепловой поток частично поглощается и частично рассеивается. Основную роль при этом играют: тепло, поглощаемое за счет эффективной теплоемкости защитного материала и продуктов его деструкции; тепло, расходуемое на фазовые превращения в поверхностном слое материала; энергия, излучаемая с поверхности защитного материала; энергия химических реакций, происходящих в газовой и конденсированной фазах. Большинство тепловых процессов, составляющих физическую сущность огнетеплозащиты, протекает почти одновременно, что объясняется напряженными потоками и высокими температурами.

В качестве примера на рис. 1 представлены температурные зависимости в центре пятна прогрева на тыльной стороне незащищенной и защищенной стальной пластины толщиной 2,5 мм с защитными покрытиями в 2 мм, содержащими в своем составе по весу 20 и 30 % шихты на связующем 718 Пентэласт. В состав шихты входили оксиды алюминия, магния, цинка, железа, кремния, сульфат алюминия.

По результатам исследования установлено, что по сравнению с незащищенной стальной пластинкой, использование защитных покрытий на связующем Пентэласт 718 позволяет существенно снизить температуру на тыльной стороне образца – с 639 °С до 237 °С для 20 % наполнения и до 218 °С для 30 % наполнения шихтой при 15-минутной экспозиции внешнего потока.

В зоне приложения теплового потока с повышением температуры начинаются процессы деструкции связующего и реакции взаимодействия между компонентами покрытия. Поверхность покрытия под действием пламени горелки покрывается белым налетом и вспенивается с невысокой кратностью (не выше 3 единиц). При этом по толщине покрытия фатальных изменений в виде глубокого растрескивания, осыпания, плавления, каплепадения или растекания не наблюдается (рис. 2).

Образующиеся в процессе огневого воздействия под внешним слоем огнеупорные структуры имеют мелкоячеистое строение и низкую теплопроводность.

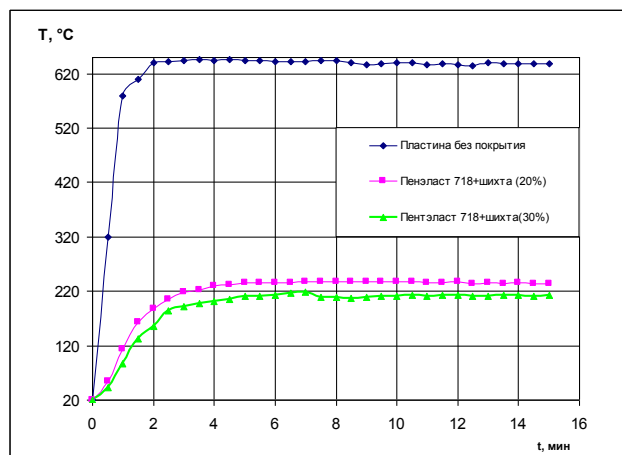


Рис. 1. Зависимость температуры на тыльной стороне исследуемых образцов от времени теплового воздействия



а



б

Рис. 2. Внешний вид покрытия на связующем Пенэласт 718 с 30 % шихты: а – до; б – после 15 минут огневого воздействия

Термогравиметрический анализ композиций с наполнением 20 и 30 % показал, что рост термостойкости композиции возрастает с 330 °C при 20 % наполнении шихтой до 370 °C для 30 %, при этом коксовый остаток при 1000 °C увеличивается с 53,5 до 62,8 %. Однако разница значений точек перегиба на участке наибольших потерь веса в данных композициях отличаются уже в обратную сторону и составляют примерно 485 °C для 20 % и 440 °C для 30 %.

Приведенные данные ТГА вместе близкими значениями результатов огневого испытания показывают, что компоненты шихты уже при 20 % наполнении эффективно взаимодействуют с остатком кремнийорганической матрицы, образуя защитное покрытие. При этом относительное удлинение при разрыве композиции с наполнением 20% составляет 650 %, а с наполнением 30–540 %.

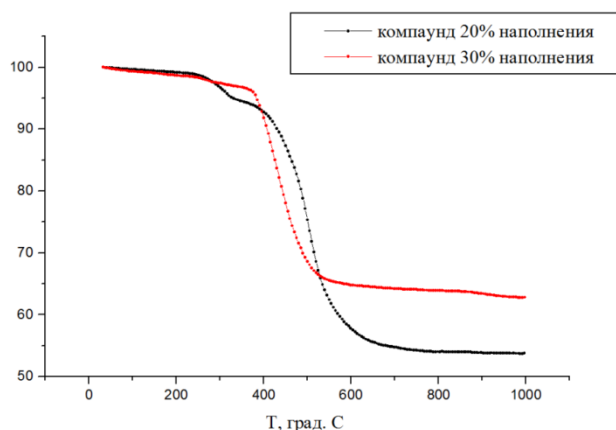


Рис. 3. Термогравиметрические кривые исследуемых образцов Пентэласт 718 с 30 и 20 % шихты

**Выводы.** Разработаны огнетеплозащитные материалы на кремнийорганическом связующем для эластичных покрытий.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. David C. Timpe Jr. Developing silicon rubber flame resistance. Rubber&Plastic News, February 11, 2008.
2. Вагин С.Ю., Васин В.П., Рудакова Т.А., Здорикова Г.А., Озерин А.Н. Исследование антипиренных свойств компонентов в составе трудногорючего вибродемпфирующего полимерного материала // Пластические массы. – 2011. – № 2.
3. Рудакова Т.А., Васин В.П., Григорьев Ю.А., Озерин А.Н. Огнетеплозащитные вспенивающиеся покрытия на полимерном связующем // Пластические массы. – 2009. – № 2.

Статью рекомендовал к опубликованию д.х.н. С.А. Пономаренко.

**Перов Николай Сергеевич** – Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН; e-mail: peropost@yandex.ru; 117393, Москва, ул. Профсоюзная, 70; тел.: 84953325813, факс: +74957183404; с.н.с.

**Рудакова Татьяна Алексеевна** – с.н.с.

**Озерин Александр Никифорович** – директор ИСПМ РАН.

**Perov Nikolai Sergeevich** – Enikolopov Institute of Synthetic Polymeric Materials of the Russian Academy of Science; e-mail: peropost@yandex.ru; 70, Profsoyunaya street, Moscow, 117393, Russia; phone: +74953325813, fax: +74957183404; senior research.

**Rudakova Tatjana Alekseevna** – senior research.

**Ozerin Aleksandr Nikiforovich** – director ISPM RAS.