

*Л.А. Андрющенко, к.т.н., с.н.с., ИСМА НАНУ,
А.М. Кудин, д.т.н., профессор, НУГЗУ,
В.К. Мунтян, к.т.н., зав. каф., НУГЗУ,
Л.Н. Трефилова, к.ф.-м.н., доцент, НУГЗУ*

ОГНЕЗАЩИТНЫЕ КЕРАМООБРАЗУЮЩИЕ КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ СИЛОКСАНОВЫХ КАУЧУКОВ

(представлено д.т.н. Киреевым А.А.)

Обобщены результаты исследований по совершенствованию эксплуатационных свойств огнезащитных керамообразующих композиций на основе силиконовых каучуков. Определены пути повышения предела огнестойкости покрытий в условиях пожара и снижения содержания токсичных продуктов их горения. Рассмотрены современные наполнители и каталитические добавки.

Ключевые слова: силиконовые каучуки, керамообразование, наполнители, каталитические добавки, огнестойкость, токсичность.

Постановка проблемы. Совершенствование эксплуатационных свойств кабельных изделий по-прежнему остается актуальной мировой проблемой, поскольку значительная доля пожаров связана с их возгоранием и дальнейшим распространением огня по кабельным коммуникациям. Для защиты материалов и оборудования от пожара и связанных с ним чрезвычайных ситуаций широко используются полимерные покрытия. В настоящее время принято полагать, что наиболее эффективным методом огнезащиты является применение наполненных полимерных составов, а именно таких, которые способны образовывать керамоподобный слой при высоких температурах. Обеспечение огнестойкости кабельных изделий и стабильности их характеристик в процессе эксплуатации за счет применения огнезащитных керамообразующих композиций (ОКК) является актуальной проблемой.

Анализ последних исследований и публикаций. Достоинством ОКК является то обстоятельство, что их температурный интервал работоспособности, как правило, значительно шире, чем у хорошо известных интумесцентных (вспучивающихся) составов. Огнестойкость покрытий, прежде всего, зависит от состава композиций и физико-механического взаимодействия между компонентами до и после воздействия высоких температур и пламени [1]. В настоящее время известен ряд ОКК на основе органических полимеров (полиолефинов, полиэфиров, сополимеров полистирола и др.) [2, 3]. Недостатком подобных составов является их невысокая термостойкость, а также низкий предел огнестойкости.

Для создания ОКК в качестве перспективных связующих материалов в литературе рассматриваются кремнийорганические каучуки (СК – силиконовые каучуки). Композиции на основе СК, благодаря уникальному комплексу свойств, наиболее полно отвечают требованиям ста-

бильности характеристик в экстремальных условиях [4–6]. По сравнению с другими полимерами, они показывают некоторые отличия в условиях пожара, например, низкую скорость горения без образования горящих капель, низкий уровень токсичных выбросов. Однако остаток сгорания СК представляет собой порошок, который неспособен к структурированию. Основным недостатком резин на основе низкомолекулярных и высокомолекулярных СК, смешанных с традиционным наполнителем – диоксидом кремния, является то, что изоляционные покрытия на их основе рассыпаются, оголяя силовые провода и кабели, нарушая тем самым безопасность эксплуатации электротехнических устройств [7].

Подчеркнем, что эффективно работающее огнезащитное покрытие не должно плавиться и стекать, превращаться в пыль и осыпаться при воздействии температуры. Известны технические решения, где описана технология изготовления ОКК на основе силоксановых каучуков [8–9] и приведена рецептура состава. К недостаткам этих решений следует отнести достаточно сложный химический состав дополнительных компонентов (стеклянных фритт), наличие карбонатов щелочноземельных металлов, которые нестабильны при высоких температурах. Кроме того, высокое содержание Al_2O_3 приводит к ухудшению эластичности покрытия.

По этой причине значительный интерес представляют разработки по созданию ОКК на основе СК с улучшенными эксплуатационными свойствами. Созданием таких ОКК занимаются специалисты в разных странах мира, в частности такие фирмы, как «Wacker-Cheme AG» (Германия), «Dow Corning Corp.» (США) и др. Несмотря на большой интерес и растущее число работ по созданию кремнийорганических ОКК, разработку новых технологий трудно назвать наукоемкой. Поиск новых составов часто основывается на эмпирическом поиске, а данные о взаимосвязи свойств образующегося под действием внешнего теплового потока защитного керамоподобного слоя (КС) с химическим составом композиции практически отсутствуют.

В этой связи проведение патентных исследований с целью выявления тенденций развития ОКК на основе СК является целесообразным. На основе критического анализа литературных данных можно оценить влияние компонентного состава на эксплуатационные свойства ОКК и на свойства образующегося защитного КС. Важным моментом является выявление факторов, позволяющих сохранить механические свойства покрытия при экстремальных температурах, поскольку последнее должно обладать устойчивостью структуры и удерживаться на защищаемой поверхности самостоятельно.

Постановка задачи и ее решение. Задачей данной работы является обобщение результатов исследований по совершенствованию физико-механических свойств ОКК на основе СК, повышению предела их огнестойкости и снижению токсичных продуктов горения.

Для создания ОКК используют низкомолекулярные и высокомолекулярные полиорганосилоксановые (полидиметилсилоксановые, полидиметилвинилсилоксановые, полиметилфенилсилоксановые и фтор-

силоксановые) каучуки. В качестве керамообразующих наполнителей наиболее широко используют: волластонит, каолин, карбонат кальция, оксид магния, гидрооксид алюминия, слюду, тальк [10-13]. Применяются также каталитические добавки, подавляющие процессы деполимеризации, и радикальные реагенты, способствующие формированию полимера с высокой степенью сшивания [14].

Композиции на основе низкомолекулярных полиорганосилоксановых каучуков, которые отверждаются по реакции поликонденсации. Для создания ОКК в патенте [15] в качестве низкомолекулярного полиорганосилоксанового каучука использовали: СКТН; СКТНФ; смесь СКТН с СКТНФ; смесь СКТНФ с компаундом Виксинт У-1-18; компаунд на основе указанных выше каучуков, выбранных из ряда Пэнт-Эласт 711, Пэнт-Эласт 718; двухкомпонентный силикон Пэнт-Эласт 751, компоненты А и В в соотношении 1:1.

Разработанные композиции включали смеси, состоящие из указанных каучуков, а также из: одного или двух оксидов Fe_2O_3 , Cr_2O_3 ; по крайней мере, двух оксидов, выбранных из ряда ZnO , Al_2O_3 , MgO и соли Na_2SO_3 .

Композиции отверждались по реакции поликонденсации при температуре $20^\circ C$. В качестве структурирующих агентов использовали: этилсиликат-40, тетраэтоксисилан, катализатор №18 и катализатор №68. Композиции получали путем смешения исходных компонентов с последующим отверждением. Благодаря оптимальному подбору компонентов ОКК, покрытие на его основе способно к формированию в условиях пожара или при нагревании до $1100^\circ C$ слоя пористой керамической структуры. Оксид цинка и оксид алюминия, входящие в состав ОКК, способны при нагревании химически взаимодействовать с оксидом кремния, конечным продуктом термоллиза кремнийорганической резины, захватывать и удерживать его до начала формирования с участием окиси магния огнезащитного керамического слоя. Состав композиции подобран таким образом, чтобы при термическом воздействии в керамическом слое образуются шпинелевые и/или хромовитые структуры (связки), препятствующие расщеплению защитного покрытия. Для этой цели и введены оксиды Fe_2O_3 , Cr_2O_3 и ZnO . Введение соли сульфата натрия облегчает диффузионный процесс спекания, кроме того, присутствие этой соли необходимо для образования пористой структуры при $900^\circ C$.

Результаты исследований влияния компонентного состава композиций на основе низкомолекулярных СК на свойства покрытий на основе ОКК предоставлены в табл. 1.

Из данных табл. 1 видно, что введение в состав композиций дополнительных компонентов, в пределах от 20 до 40% от общей массы всех компонентов, обеспечивает высокую эластичность и огнестойкость покрытий. Высокие эксплуатационные свойства ОКК, способность структурироваться при комнатной температуре обуславливает возможность их применения для защиты от огня трубопроводов, кабелей и различных устройств, в том числе в авиации и судостроении.

Для повышения термостойкости композиций, подавления дымооб-

разования в условиях горения, образования нетоксичных продуктов горения и формирования КС используют новые каталитические добавки. С точки зрения повышения термостойкости покрытий особый интерес представляют следующие модифицирующие добавки: $ZrOCl_2$; $Zr(O_2C_5H_7)_4$; $Ce(OOCCCH_3)_3$; металлоорганосилоксаны (МОС) формулы $M[O_2C_5H_{7+p}R_{0.5p}]_n$ где $R - H(Me_2SiO)_7SiMe_2H$; $p = 1-2$; $n = 2, 3$; $M - Cr(III), Fe(III), Sm(III) - МОС-Cr, МОС-Fe, МОС-Sm, МОС-Sm+Fe$, цериевая соль полидиметилсилоксанкарбоновой кислоты – СеКК [16].

Табл. 1. Влияние компонентного состава (масс. %) композиций на основе низкомолекулярных СК на свойства огнезащитных керамообразующих покрытий при толщине слоя 1,5 мм [10]

№	Состав композиции				Свойства вулканизатов		
	Марка компаунда (%)	Оксиды (%)	Соли (%)	К (%)	L, %	t, мин	
1	Пэнт Эласт-711 (66)	Fe ₂ O ₃ (4)	BaSO ₄ (4)	№ 68 (2)	543	>15	
		ZnO (5)	Na ₂ SO ₃ (4)				
		Al ₂ O ₃ (3)					
		MgO (1)					
		Аэросил А300 (1)					
		Всего дополнительных компонентов – 32					
2	Пэнт Эласт-718 (78)	Fe ₂ O ₃ Cr ₂ O ₃ (2,2)	Na ₂ SO ₃ (1,4	№ 18 (2)	652	>20	
		ZnO (3,8))				
		Al ₂ O ₃ MgO (3,4)					
		(2,5)					
		(5,3)					
		Всего дополнительных компонентов – 20					
3	СКТН (25,6) СКТН-Ф (26)	Fe ₂ O ₃ (4)	Na ₂ SO ₃ (5)	№68 (2,2) +ТЭОС (6,0)	172	>15	
		Cr ₂ O ₃ (14)					
		MgO (9)					
		Всего дополнительных компонентов – 40					

Примечание: К – катализатор; ТЭОС – тетраэтоксисилан; L – относительное удлинение при разрыве; t – время выдержки при температуре 1100 °С.

Влияние наполнителей (карбоната кальция, силиката кальция, оксида магния, гидроксида алюминия) и каталитических добавок изучено в [17]. В качестве катализаторов, способствующих керамообразованию, использовались кремнийорганические комплексы железа и самария, а также церия (МОС-3-Fe+Sm; МОС-Ce). Методом термогравиметрии и дифференциальной термической гравиметрии показано, что наиболее интенсивно процессы окисления проходят при температурах 390-450°С. Установлено, что наибольший эффект керамообразования наблюдается в композиции на основе СКТН-А, содержащей силикат кальция и МОС-Ce, для которой выход керамики составил 55%. Каолин и силикат каль-

ция являются перспективными наполнителями для получения керамообразующих композиций на основе полидиметилсилоксанового каучука.

Совершенствование кабельных изделий на основе керамообразующей огнестойкой силиконовой резины. Для создания защитных оболочек электрических кабелей, отвечающих повышенным требованиям безопасности, наиболее широко используют каучуки, которые характеризуются кинематической вязкостью, равной 10^6 сантистоксов ($\text{мм}^2/\text{с}$) и более [7, 10, 11]. Резиновая смесь (РС) включает один или несколько полимеров, которые описываются общей формулой $\text{R}_2\text{R}^1\text{SiO}[(\text{R}_2\text{SiO})_x(\text{RVSiO})_y]_n\text{Si}_2\text{R}^1$, где R является одинаковыми или различными и означают алкильную группу, содержащую 1-6 атомов углерода, фенильную группу или 3,3,3-трифторалкильную группу. Чаще всего каждая группа R представляет собой метильную или этильную группу; R^1 представляет собой гидроксигруппу или алкенильную группу, предпочтительно винильную или гексенильную группу; x – целое число и x+y находится в диапазоне от 700 до 10000. Вулканизирующими агентами, которые используются чаще всего, являются органические пероксиды, которые обладают способностью генерировать свободные радикалы при нагревании с образованием сшивок в результате протекания реакции с метильными, а в случае их наличия, и с алкенильными группами. Композиции на основе силоксановых каучуков можно вулканизовать или сшивать при помощи катализатора по реакции гидросилилирования в комбинации с органогидридсилоксаном в качестве вулканизирующего агента, вместо органического пероксида при условии, что каждая молекула полимера будет иметь, по меньшей мере, две ненасыщенные группы, подходящие для сшивания с органогидридсилоксаном.

В [18], разработан электрический кабель с изоляцией из кремний-органической резины на основе полиметилвинилсилокса-нового каучука (кислородный индекс не менее 30%). Кабель сохраняет работоспособность при воздействии открытого пламени одновременно с механическими ударными нагрузками.

Существенное влияние на свойства керамообразующей РС и выход керамики оказывает как химический состав наполнителей, так и их концентрация. В частности, для получения прочной керамики в силиконовые резины Elastosil R 401/BOS (Wacker Chemie) и NPC 80 (Dow Corning Corp.), вулканизуемые перекисью дикумила, в качестве керамообразующего наполнителя вводили 20% слюды GA100 [10]. При термообработке вулканизованных образцов на основе указанных выше резиновых смесей при температуре 1050°C на воздухе образуется керамика, выход которой составляет 62% для NPC 80 и 52% для Elastosil R 401/BOS.

Значительное повышение работоспособности высоковольтных кабелей (отсутствие пробоя в течение 180 минут в условиях воздействия пламени при номинальном напряжении 660 В) продемонстрировано в [19]. В этом патенте приведены составы керамообразующих РС на основе высокомолекулярного метилвинил-силоксанового каучука

СКТВ-1 и концентрационные пределы наполнителей, обеспечивающих заданные физико-механические, диэлектрические и технологические свойства ОКК. В указанном техническом решении комплекс платины, содержащий платинохлори-стыводородную кислоту и низкомолекулярный винилсодержащий органосилоксан (при соотношении компонент 0,6-1,1 : 99,4-98,9), выполнял функцию керамообразующей добавки. Введение в состав резиновой смеси кремнеземного наполнителя в сочетании с указанной добавкой, превращает полимерные оболочки при горении из резиновой смеси в неразрушающийся изоляционный керамоподобный слой. Включение в состав композиции силиката алюминия создает синергический эффект в образовании КС.

Результаты исследований по разработке ОКК, малоопасных с точки зрения токсичности продуктов горения, представлены в [11, 20-22]. Согласно стандарту для малоопасных кабельных изделий с низкой токсичностью продуктов горения, значение эквивалентного показателя токсичности продуктов горения (T_x) должно быть более 120 г/м^3 , при времени экспозиции 30 мин [21]. Максимальное значение эквивалентного показателя токсичности продуктов горения полимерных материалов, полученное авторами изобретения [20], составило 121 г/м^3 для кабеля с изоляцией из кремнийорганической резины (кислородный индекс 30%) и оболочкой (кислородный индекс 32%) из кремнийорганической резины, не содержащей галогенов. Результаты исследований по разработке керамообразующих огнестойких резин, полученных вулканизацией по перекисному, аддиционному или поликонденсационному механизму, представлены в [22]. Композиции на основе СК включали усиливающий наполнитель, антиструктурирующую добавку, сшивающий реагент, керамообразующий наполнитель и катализатор, содержащий соединения платины, палладия, кобальта, марганца, церия, железа, циркония и самария. Для приготовления резиновой смеси использовали СК общей формулы $R^1(\text{Si } R^1 R^2\text{O})_n (\text{Si } R^1 R^3\text{O})_m R^1$, где R^1 , R^2 , R^3 являются алкильными (предельными или непредельными) или арильными радикалами. R^1 может быть метил, этил, изопропил или фенил. R^2 может быть метил, этил, изопропил. R^3 может быть винил, или аллил. Соотношение $n:m$ может варьироваться от 90:10 до 99,99:0,01.

Некоторые составы, разработанных керамообразующих огнестойких резин, полученные вулканизацией по перекисному (состав №2), аддиционному и поликонденсационному механизму (состав 3) приведены в табл. 2. Результаты исследований свойств вулканизатов, полученных из приведенных составов представлены в табл. 3. Для исследования свойств вулканизатов из полученных композиций готовили пластинки толщиной 2 мм. Для этого полученные смеси заливали во фторопластовые формы, вакуумировали в эксикаторе в течение 10 мин при температуре 20°C . Затем выдерживали на воздухе в течение 72 часов и подвергали испытаниям. Из табл. 3 видно, что, разработанные составы силиконовых резин, на основе кремнийорганических каучу-

ков, модифицированные различными типами керамообразующих наполнителей, и новых каталитических систем, обладают повышенной теплостойкостью и керамообразованием. В результате воздействия пламени они характеризуются очень низким содержанием вредных веществ в продуктах горения и не создают агрессивной среды, образуют гидрофобный КС, который обеспечивает изоляционные свойства при пожаре.

Табл. 2. Составы керамообразующих огнестойких резин на основе СК, модифицированных различными типами керамообразующих наполнителей и новых каталитических систем [22]

№	Состав резиновой смеси		Катализатор	
	Марка	C, %		C, %
1	Пентасил-2700,	100,0	Каолин	10
	каолин,	100,0	Pt ⁰ ,	1·10 ⁻⁴
2	катализатор,	1,0	Pd ⁺² ,	1·10 ⁻³
	2,4 дихлорбензоил		Co ⁺² ,	1·10 ⁻³
	пероксид	1,5	СКТВ-1	89,99
	ПЭНТЭЛАСТ-750	100,0	MgO;	5
(компонент А:		Pt ⁰ ,	1,5·10 ⁻³	
каучук СКТНВ;		Pd ²⁺ ,	0,01	
пирогенный Si ₂ O ₃ ;		Co ²⁺ ,	0,1	
катализатор		Zr ⁴⁺	0,1	
гидросилилирования;				
каолин	20,0	ПЭНТА-ДВК-5	0,1	
карбонат кальция,	2,0	(СТП 40245042-006-2004)	94,42	
корунд,	1,0			
катализатор)	5,0			
Компонент Б:	50,0			
СКТНВ,				
пирогенный Si ₂ O ₃ ; ПМГС;				
ацетиленовый спирт				
3	ПЭНТЭЛАСТ-710	100,0	ZnO;	1,0
	(компонент А:		Pt ⁰ ;	1,5·10 ⁻³
каучук СКТН-А;		Pd ⁺² ,	1·10 ⁻²	
пирогенный Si ₂ O ₃ ;	1,0	Sm ⁺³ ,	0,1	
каолин;	2,0	Ce ⁺⁴ ,	0,1	
корунд;	40,0	Fe ⁺³ ,	0,1	
волластонит;	10,0	СКТН-А	94,90	
оксид цинка;	1,0			
катализатор)	6,0			
Компонент Б:				
органосилоксан;				
органические соединения				
олова				

Примечание: С – содержание (масс. частей), для соединений платины, палладия, самария, циркония, церия, концентрация указана по металлу; СКТНВ- α, ω – дивинилполидиметилсилоксановый каучук; ПМГС – полиметилгидридсилоксан.

Табл. 3. Свойства вулканизатов на основе кремнийорганических каучуков [23], полученных вулканизацией по перекисному (состав №1), аддиционному (№ 2) и поликонденсационному механизму (№ 3)

№	Плотность смеси, г/см ³	LOI, %	pH водных вытяжек из керамических остатков	Tx, г/м ³	X ₉ , %	η, %
1	1,36	30	7,8	190	≤1	68
2	1,50	28	8,1	180	≤1	65
3	1,35	28	7,5	140	≤1	60

Примечание: Tx – эквивалентный показатель токсичности после выдержки при температуре 850°C в течение 15 мин; LOI – кислородный индекс; X₉ – водопоглощение; η – выход керамики.

Выводы. Анализ литературных и патентных данных показал, что возможности улучшения свойств полиорганосилоксановых эластомеров за счет модификации полимерной основы или углеводородного обрамления главной цепи уже во многом исчерпаны. В этой связи важное значение приобретает изучение систем на основе СК, содержащих различные керамообразующие наполнители и новые каталитические добавки. Представляется оптимальной ситуация, когда в состав ОКК вводят компоненты, формирующие в результате термического воздействия структурные связи. В частности, на основе низкомолекулярных СК, выпускаемых отечественной промышленностью, разработаны ОКК, обладающие высокой эластичностью и огнестойкостью, для отверждения которых не требуется нагревание. Поэтому такие ОКК применимы для широко круга объектов защиты от огня.

Дальнейшим развитием ОКК является разработка силиконовых керамообразующих резин с пониженной токсичностью, модифицированных различными типами керамообразующих наполнителей с использованием в рецептуре солей и соединений платины, палладия, кобальта, марганца, церия, железа, циркония и самария. Их использование позволяет создавать ОКК на основе СК, которые характеризуются низким содержанием вредных веществ в продуктах горения и способствуют образованию прочного гидрофобного керамоподобного слоя, который обеспечивает высокие электроизоляционные свойства кабелей при пожаре.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андронов В.А. Подходы к определению сроков службы огнезащитных полимерных покрытий / В.А. Андронов, Ю.М. Данченко, О.М. Бухман // Проблемы пожарной безопасности. – Х.: НУГЗУ. 2012. – №. 31. – С. 10-18.
2. Пат. 2010109218 A1 WO, Int. Cl C03C3/093, C03C3/085. Fire retardant comprising glass frit in combination with an additive / D.G. Eadon, A.J. Newman, M.J. Sindair, H.D. Window. № PCT/GB2010/ 050460; заявл. 17.03.2010; опубл. 30.09.2010.

3. Пат. US 20110186330 A1, 174/121.00A. Ceramisable composition for a power and/or telecommunication cable / C. Mazel, A. Piechaczyk, R. Avril, S. Hoareau, M. Kirli, E. Tavad. № US 13/055,047; заявл. 16.07. 2009; опубл. 04.08.2011.

4. Тарахно Е.В. Применение кремнийорганических материалов для огнестойкого защитного обмундирования / Е.В. Тарахно, Л.А. Андриященко, А.М. Кудин, Л.Н. Трефилова // Проблемы пожарной безопасности. – Х.: НУГЗУ. 2014. – №36. – С. 243-265.

5. Тарахно Е.В. Жидкие сцинтилляторы пониженной пожароопасности с улучшенными сцинтилляционными характеристиками / Е.В. Тарахно, Л.А. Андриященко, А.М. Кудин, Л.Н. Трефилова // Проблемы пожарной безопасности. – Х.: НУГЗУ. 2015. – №38. – С.170-176.

6. Андриященко Л.А. Кремнийорганические материалы для сцинтилляционных детекторов ионизирующих излучений / Л.А. Андриященко, Б.В.Гринев // Приборы и техника эксперимента. – 1998. – №4. – С. 5-22.

7. Пат. 2319715 РФ, МПК C08K 3/34, C08K 9/06, C08L 83/04. Способы получения каолинсодержащих силиконовых резиновых композиций / М.Г. Проктор, Р.М.Тейлор (GB). № 2006123935/04; заявл. 02.04.2004; опубл.20.03.2008; Бюл № 8.

8. Пат. 7652092 B2 US, Cl. US 524/448. Fire-resistant silicone polymer composition / A. Graeme. № 10/533,164; заявл. 01.08.2008; опубл. 26.01.2010.

9. Hadmani S. Flame retardancy of silicone-based materials / S. Hadmani, C. Longuet, D. Perrin, J.M. Lopez-Cuesta, F. Ganachaud // Polymer Degradation and Stability. – 2009. – Vol. 94. – P. 465-495.

10. Mansouri J. Formation of strong ceramified ash from silicone-based compositions / J. Mansouri, R.P. Burford // J. Materials Science. – 2005. – No 40. – P. 5741-5749.

11. Пат. 10200406235 A1 DE, Int. Cl. C08K5/56 H01B3/46 C08I83/07 H01B18/295. Schwerbrennbarer siliconkautschuk / P. Gethardnger, P. Jerschov. № DE 200410062351; заявл. 23.12.2003; опубл. 06.07.2006.

12. Пат. WO2010097705 A1; Int. Cl. H01B3/46, C08K3/26, C08K3/00. A fire performance material and cable including the material / A. Graeme, N. Rigopoulos, D. Marney. № PCT/B2010/000628; заявл. 02.02.2010; опубл. 02.09.2010.

13. Пат. 20050215669 US, Int. Cl. C08K 3/00. Silicone rubber composition for production cables on profiles with retention of function in event of fire / D.Wolfer. № 11/26,687; заявл.11.05.2005; опубл. 29.10.2005.

14. Delebecq E. High Residue Contents Indebted by Platinum and Silica Synergistic Action during the Pyrolysis of Silicone Formulation / E. Delebecq, S. Hadmani, J. Raeke, J. M. Lopez-Cuesta, F. Ganachaud // ACS Appl. Mater. Interface. – 2011. – Vol. 3. – P. 869-880.

15. Пат. 2567955 Российская Федерация, МПК⁷ C 08 L83/04, C08 L 19/00. Композиция на основе жидкого низкомолекулярного силоксанового каучука для огнестойкого материала / А.Н.Озерин, Н.С. Перов, Т.А. Рудакова; № 2013134442; заявл. 24.07.2013; опубл. 27.01.2015.

16. Костылева Е.И. Влияние наполнителей и каталитических доба-

вок на термоокислительную деструкцию силиконовых резин / Е.И. Костылева, В.М. Копылов, В.В. Киреев, В.А. Ковязин, Т.И. Рыбкина, О.А. Сухина, А.Ю. Федоров // Известия ТулГУ. Естественные науки. – 2014. – Вып.1, Ч. 2. – С. 126-132.

17. Термостабилизация и керамообразование силиконовых резин / Б.А. Рыданов, Е.И. Костылева, Т.И. Рыбкина // Тез. докл. XVII научно-техн. конф. мол. ученых, аспирантов, студентов. ФГБОУВПО «РХТУ» им. Д.И. Менделеева, Новомосковск (Россия). – Новомосковск. 2015. – С.126-127.

18. Пат. 111339 РФ, МПК Н01 В7/295 (2006/01). Кабель огнестойкий / Г.И. Мещанов, М.Ю. Шувалов, В.А. Байков, М.К. Каменских. №201130413/07; заявл.21.07.2011; опубл. 29.04.2011.

19. Пат. 2519379 Российская Федерация, МПК С08 L83/04, С08 L 19/00. Керамообразующая резиновая смесь / Г.А.Михайлова, Н.В. Шумилова. № 2012138838/05; Заявл. 10.09.2012; Опубл.10.06.2014. – Бюл. № 16.

20. Пат. 103658 РФ, МПК Н01 В7/07 (2006/01). Кабель электрический малоопасный по токсичности продуктов горения / Г.И. Мещанов, М.Ю.Шувалов, М.К.Каменских, В.А.Байков, А.А.Фрик (RU), И.К. Кислов, И.К.Довженко, Н.Н.Крамаренко, И.О.Солодовников (UA). Заявка №2010198008/07; Заявл.25.10.2010; Опубл. 29.04.2011.

21. ГОСТ Р53315-2009. «Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения».

22. Пат. 2545327 Российская Федерация, МПК С 08L 83/04 (2006.01); С 08К 5/56. Керамообразующая огнестойкая силиконовая резина / В. А. Ковязин, В.М. Копылов, Л.Н.Геворкян, Е.И.Костылева, В. Урбонайте, А.Ю. Федоров, А.В.Царева. № 201314491105; заявл. 09.10.2013; опубл. 27.03.2015. – Бюл. № 9.

Получено редколлегией 15.10.2016

Л.А. Андрищенко, А.М. Кудин, В.К. Мунтян, Л.Н. Трефилова

Вогнезахисні керамостворюючі композиції на основі силіконових каучуків

Узагальнені результати досліджень, що спрямовані на покращення експлуатаційних властивостей вогнезахисних керамостворюючих композицій на основі силіконових канчуків. Особливу увагу приділено до підвищення межі їх вогнестійкості в умовах пожежі і зниження вмісту токсичних продуктів горіння. Розглянуто сучасні наповнювачі та каталітичні добавки.

Ключові слова: силіконовий каучук, керамоформування, наповнювач, каталітична добавка, вогнестійкість, токсичність.

L.A. Andryushchenko, A.M. Kudin, V.K. Muntyan., L.N. Trefilova.

Fire resistant and ceramic-forming compositions on a base of silicon rubber

Results of investigations concerning the enhancement of exploitation properties of fire resistant ceramic-forming compositions on a base of silicon rubber are summarized. Essential attention is devoted to increase the fire resistance in fire conditions and to reduction of toxic combustion products. Modern types of filler and catalytic additive are considered.

Keywords: silicon rubber, formation of ceramic, filler, catalytic additive, fire resistance, toxicity.