
ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Научная статья

УДК 614.841.332:678.763.2; DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-60-66

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ОГНЕЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ ХЛОРСОДЕРЖАЩЕГО СВЯЗУЮЩЕГО

Долженков Анатолий Филиппович;

✉ Лебедева Виктория Валентиновна.

Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС Донецкой Народной
Республики, г. Донецк, Россия

✉ olghrap@mail.ru

Аннотация. Показана возможность и целесообразность оценки огнезащитных свойств покрытий на примере хлорсодержащей огнезащитной композиции по критериям, количественно характеризующим процесс вспучивания – степени вспучивания, изменению массы, плотности и пористости кокса, образующегося в результате нагрева образцов. Степень вспучивания и изменение массы образцов покрытия определяли стандартными методами, изменение плотности и пористости кокса – расчетным методом на основании экспериментальных данных. Получены кривые зависимости параметров вспучивания покрытия от температуры. Результаты исследования показали, что эти параметры можно использовать в качестве оценочных критериев при создании рецептов и дальнейшей оптимизации свойств покрытий, предназначенных для защиты строительных конструкций в условиях экстремальных тепловых воздействий.

Ключевые слова: вспененный кокс, изменение массы, огнезащитная эффективность, плотность, пористость, степень вспучивания

Для цитирования: Долженков А.Ф., Лебедева В.В. Критерии оценки огнезащитных свойств композиции на основе хлорсодержащего связующего // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 3 (67). С. 60–66. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-60-66.

Scientific article

CRITERIA FOR EVALUATING THE FIRE-PROOF PROPERTIES OF COMPOSITION BASED ON CHLORINE-CONTAINING BINDING AGENT

Dolzhenkov Anatoly F.;

✉ Lebedeva Viktoria V.

The scientific research institute «Respirator» of EMERCOM of the Donetsk People Republic,
Donetsk, Russia

✉ olghrap@mail.ru

Abstract. The possibility and expediency of evaluating the properties of the flame retardant coatings has been exemplified by the chlorine-containing flame-retardant composition according to the criteria quantitatively characterizing the process of coating intumescence, i.e. intumescence ratio, mass variation, density and porosity of the foamed coke formed as a result of heating the samples. The degree of intumescence and changing in mass of the coating samples have been determined according to the conventional techniques; density and porosity variations of coke have been measured by the computation based on the experiment data. The curves of dependence

between the intumescence parameters of coating and the temperature have been derived. The results of the investigation showed that these parameters may be applied as the evaluation criteria for comprising the formulae and further optimization of coatings properties designed to protect building constructions in conditions of extreme heat exposure.

Keywords: foamed coke, mass changing, flame-retardant effectiveness, density, porosity, degree of intumescence

For citation: Dolzhenkov A.F., Lebedeva V.V. Criteria for evaluating the fire-proof properties of composition based on chlorine-containing binding agent // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 3 (67). P. 60–66. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-60-66.

Введение

Мероприятия по снижению пожарной опасности зданий и сооружений предусматривают повышение пределов огнестойкости строительных элементов и конструкций. Эффективный способ повышения огнестойкости строительных конструкций заключается в применении огнезащитных покрытий вспучивающегося типа, принцип защитного действия которых состоит в образовании под воздействием высоких температур вспученного угольного кокса низкой плотности и теплопроводности. Создание высокоэффективных огнезащитных материалов – сложная научно-техническая задача, решение которой требует комплексного проведения как теоретических, так и экспериментальных исследований стандартных образцов огнезащищенных конструкций в условиях, приближенных к реальному пожару.

Альтернативой дорогостоящим и требующим длительного периода времени полномасштабным испытаниям можно считать исследования с использованием экспериментальных образцов материалов и конструктивных элементов на лабораторных установках, позволяющих воспроизводить результаты полномасштабных испытаний [1, 2]. Такой методологический подход экономически обоснован и может быть использован для исследований и установления экспериментальных зависимостей влияния эксплуатационных параметров на огнезащитные свойства покрытий, а также построения математических моделей при значительной экономии материальных и временных ресурсов.

Исследования по определению и оптимизации эксплуатационных параметров огнезащитных покрытий вспучивающегося типа на основе различных полимерных связующих веществ активно продолжают по сегодняшний день [3–6]. Вместе с тем создание огнезащитных композиций и покрытий на их основе, отличающихся повышенной водостойкостью, влагостойкостью, механическими и теплофизическими параметрами, требует дальнейших исследований по изучению физико-механических свойств огнезащитных средств для дальнейшей оценки и прогнозирования огнезащитной эффективности в условиях пожара [7–9].

Исходя из актуальности проблемы, определена цель исследований, которая заключается в определении критериев, количественно характеризующих вспучивание огнезащитной композиции для оценки ее эффективности в экстремальных условиях тепловых воздействий.

Методика исследования

Объект исследования представляет собой огнезащитную композицию, содержащую в качестве огнестойкого связующего пленкообразующего вещества смесь хлоропренового каучука марки CR2322 и хлорированного парафина. Рецепт огнезащитной композиции разработана на базе Научно-исследовательского института «Респиратор» МЧС Донецкой Народной Республики (НИИ «Респиратор» МЧС ДНР) [10, 11].

Критериями количественной оценки процесса вспучивания огнезащитной композиции приняты характеристики материала покрытия: степень вспучивания, масса, плотность

и пористость кокса, образующегося в результате нагрева образцов. Степень вспучивания определяли путем измерения линейных размеров образцов до и после выдержки в условиях нагрева, изменение массы – весовым методом, изменение плотности и пористости кокса – расчетным методом на основании экспериментальных данных.

Первый этап экспериментальных исследований включал приготовление огнезащитной композиции: растворение хлорсодержащего связующего вещества в сольвенте и введение в полученный однородный раствор функциональных составляющих: вспенивающих агентов, наполнителя, пигмента согласно разработанной рецептуре. Второй этап исследований предусматривал подготовку экспериментальных образцов покрытия, которые получали путем заливки композиции слоем $(0,8-1,0) \cdot 10^{-3}$ м в формы размером $(65 \times 30 \times 15) \cdot 10^{-3}$ м, изготовленные из алюминиевой фольги толщиной $(0,014-0,018) \cdot 10^{-3}$ м марки ФГ. После сушки при комнатной температуре до полного испарения сольвента и образования твердого слоя покрытия образцы подвергали нагреву в испытательной (муфельной) печи в диапазоне температур 300–950 К с шагом 50 К. Время выдержки образцов при каждой из температур диапазона составило 20 мин.

Степень вспучивания Δh , изменение массы Δm образцов покрытия в процессе их нагревания рассчитывали по формулам (1–2):

$$\Delta h = \frac{h - h_0}{h_0}, \quad (1)$$

где h – высота покрытия после нагревания, м; h_0 – исходная толщина покрытия, м.

$$\Delta m = \frac{m}{m_0}, \quad (2)$$

где m – масса покрытия после нагревания, кг; m_0 – исходная масса покрытия, кг.

Для расчета плотности ρ ($\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$) вспененного кокса использовали формулу (3), пористости φ – формулу (4).

$$\rho = \frac{\rho_0 \Delta m}{1 + \Delta h}, \quad (3)$$

где ρ_0 – начальная плотность покрытия, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$.

$$\varphi = 1 - \frac{\Delta m}{1 + \Delta h}. \quad (4)$$

Результаты исследования и их обсуждение

Температура нагревания оказывает существенное влияние на величину степени вспучивания и состояние материала покрытия: однородность, компактность, рыхлость и летучесть образованного кокса. Упорядоченная и сравнительно плотная структура материала наблюдается при температуре 500 К, при этом изменение степени вспучивания составляет 12,5 раза. Нагревание образцов в диапазоне температур 500–950 К приводит к увеличению высоты коксового слоя в 13–40 раз и сохранению мелко пористого кокса, но более рыхлой структуры.

На основании результатов экспериментальных исследований получены зависимости, которые аппроксимированы уравнениями полинома второго порядка с коэффициентом корреляции $r = 0,92-0,98$. На кривой зависимости степени вспучивания от температуры нагревания образцов прослеживаются два участка, которые соответствуют увеличению высоты коксового слоя (рис. 1).

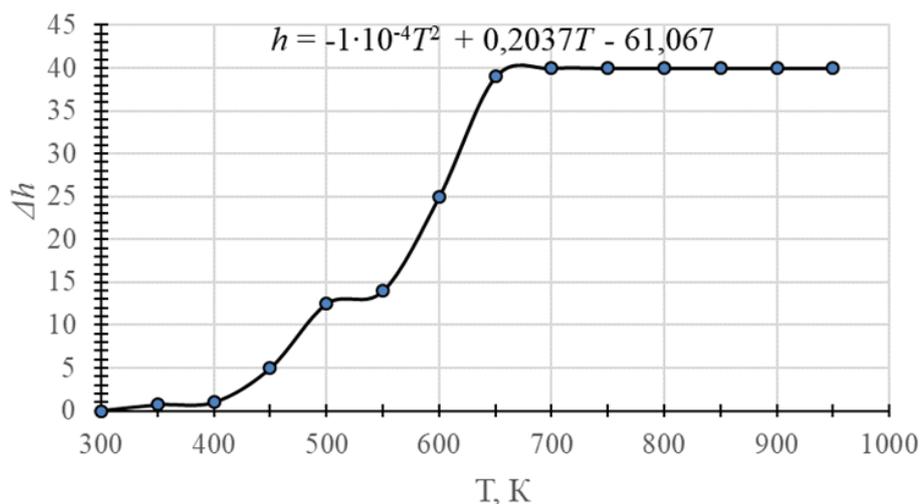


Рис. 1. Зависимость степени вспучивания от температуры нагревания образца

Первый участок вспучивания находится в области температур 400–550 К, второму участку соответствует интервал температур 550–650 К. Далее происходит выравнивание кривой с практически постоянными значениями степени вспучивания до 39–40 единиц. Высота первого горизонтального участка находится на уровне значений степени вспучивания 12,5–14 единиц, что можно отнести к преимуществу огнезащитной композиции, поскольку при этом замедляется процесс переноса тепла. Резкое увеличение степени вспучивания покрытия начинается с температуры 550 К.

В области температур 700–900 К происходит уменьшение изменения массы образца с 0,92 до 0,53 единиц, при этом конечный выход кокса составляет 0,5 единицы (рис. 2).

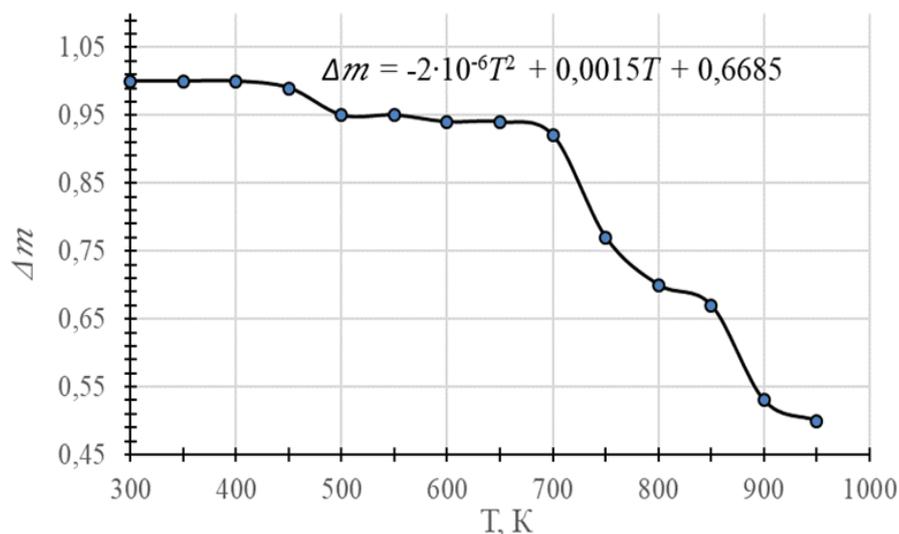


Рис. 2. Зависимость изменения массы от температуры нагревания образца

Ступенчатый характер кривой (рис. 2) можно объяснить многостадийным механизмом действия покрытия – термоокислительной деструкцией материала связующего пленкообразующего вещества, формированием и термической деструкцией образовавшегося вспененного кокса. Для покрытия в начальный период нагрева характерно преобладание вспучивания над процессом выделения газообразных продуктов. При температуре 500 К и потере массы 5 % от первоначальной имеет место 13-кратное увеличение слоя покрытия, что является одним из главных механизмов формирования его огнезащитных свойств.

На рис. 3 показано, что изменение плотности кокса на первом участке вспучивания в зависимости от температуры нагревания образца составляет 24 раза, на втором участке – всего два раза, что связано с более ранним началом формирования каркасной структуры вспененного кокса.

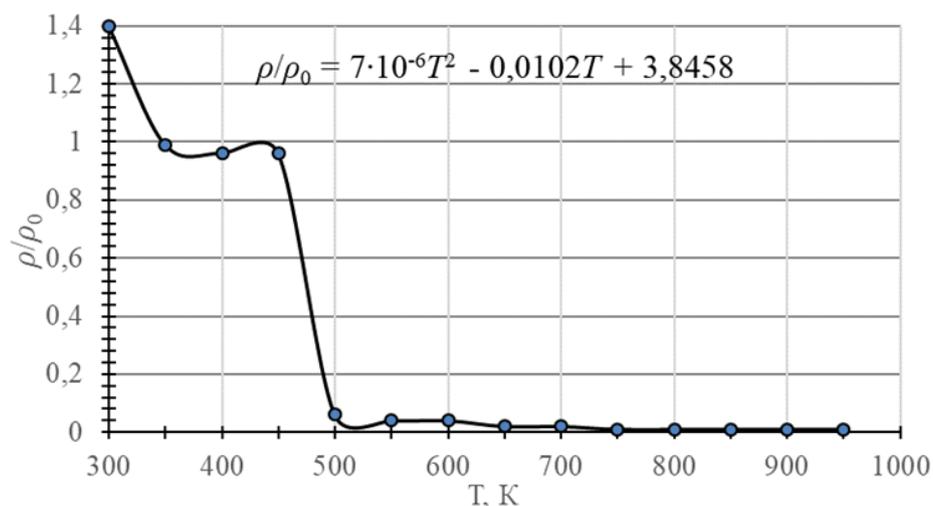


Рис. 3. Зависимость изменения плотности кокса от температуры нагревания образца

Кривая зависимости пористости кокса от температуры нагревания образца (рис. 4) имеет резкий рост значений от 0,02 до 0,9 единицы на первом участке вспучивания. Конечное значение пористости кокса составляет 0,98–0,99 единицы.

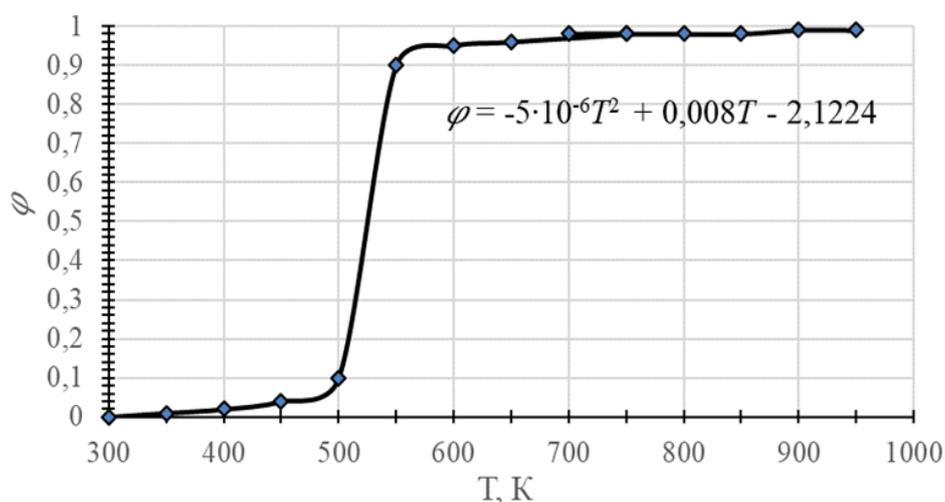


Рис. 4. Зависимость пористости кокса от температуры нагревания образца

В твердом теле при изменении поля температур в пространстве и во времени толщина вспученного слоя значительно влияет на огнезащитную эффективность покрытия. С одной стороны, увеличение степени вспучивания до 40 единиц можно отнести к преимуществу огнезащитной композиции, однако дальнейшее увеличение толщины слоя кокса может отрицательно влиять на механическую и когезионную прочности кокса за счет усиления радиационного переноса тепла в пористой среде.

Таким образом, логично предположить, что для получения требуемых параметров огнезащитной эффективности покрытия наиболее эффективно снижение потери массы, а также повышение плотности и прочности вспененного кокса при оптимальной степени вспучивания.

Заключение

Определены параметры кокса, образующегося в результате вспучивания огнезащитной композиции на основе хлорсодержащего связующего вещества.

Получены зависимости, которые характеризуют влияние температуры на степень вспучивания, изменение массы, плотности и пористости кокса, что позволило получить более детальную информацию о поведении покрытия на различных стадиях термического нагрева.

Показана принципиальная возможность и целесообразность комплексной оценки огнезащитного покрытия по критериям, характеризующим процесс вспучивания материала.

Перспективное направление дальнейших исследований заключается в проведении аналогичных экспериментов с огнезащитными составами на основе различных связующих пленкообразующих веществ, например, эпоксидных смол, хлорсульфированного полиэтилена для получения информации о параметрах, влияющих на огнезащитные свойства покрытий.

Список источников

1. Intumescent reaction mechanisms / Ch.E. Anderson [et al.] // *Journal of fire science*. 1985. Vol. 3. P. 161.
2. Бардин А.В., Сударь О.Ю. Огнестойкость металлоконструкций на примере метода численного моделирования // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2015. № 8 (35). С. 36–47.
3. Терморасширяющиеся полимерные композиционные материалы / Р.В. Кропачев [и др.] // *Вестник Казанского технологического университета*. 2015. Т. 18. № 5. С. 60–63.
4. Reaction to fire of an intumescent epoxy resin: Protection mechanisms and synergy / C. Gérard [et al.] // *Polymer degradation and stability*. 2012. Vol. 97 (8). P. 1366–1386.
5. Зверев В.Г., Теплоухов А.В., Цимбалюк А.Ф. Исследование свойств и огнезащитной эффективности вспучивающихся покрытий // *Известия высших учебных заведений. Физика*. 2014. Т. 57. № 8/2. С. 148–153.
6. Иванов А.В. Применение «нанокompозитного подхода» при создании огнезащитных вспучивающихся составов // *Проблемы управления рисками в техносфере*. 2023. № 1 (65). С. 171–181.
7. Polymer composites with high energy density and charge-discharge efficiency at high temperature using aluminum oxide particles / Z. Fan [et al.] // *Journal of materials research and technology*. 2022. Vol. 18. P. 4367–4374.
8. Hodgins D.A. Midrise wood frame construction: a good idea or are we asking for trouble? // *Eighth congress on forensic engineering*. Reston, Virginia: American society of civil engineers. 2018. P. 62–72.
9. Еремина Т.Ю., Портнов Т.Ю. Проблемы и перспективы в области огнестойкости деревянных конструкций для высотных зданий // *Пожаровзрывобезопасность*. 2020. Т. 29. № 2. С. 34–43.
10. Долженков А.Ф., Лебедева В.В. Устойчивость огнезащитного покрытия к воздействию природных и техногенных факторов // *Научный вестник НИИ «Респиратор»*. 2022. № 3 (59). С. 18–26.
11. Лебедева В.В., Непочатых И.Н. Оптимизация состава огнезащитного покрытия методом симплекс-решетчатого планирования // *Научный вестник НИИ «Респиратор»*. 2022. № 4 (59). С. 60–65.

References

1. Intumescent reaction mechanisms / Ch.E. Anderson [et al.] // Journal of fire science. 1985. Vol. 3. P. 161.
2. Bardin A.V., Sudar' O.Yu. Ognestojkost' metallokonstrukcij na primere metoda chislenogo modelirovaniya // Stroitel'stvo unikal'nyh zdaniy i sooruzhenij. 2015. № 8 (35). S. 36–47.
3. Termorasshiryayushchiesya polimernye kompozicionnye materialy / R.V. Kropachev [i dr.] // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2015. T. 18. № 5. S. 60–63.
4. Reaction to fire of an intumescent epoxy resin: Protection mechanisms and synergy / C. Gérard [et al.] // Polymer degradation and stability. 2012. Vol. 97 (8). P. 1366–1386.
5. Zverev V.G., Teplouhov A.V., Cimbalyuk A.F. Issledovanie svojstv i ogneshchitnoj effektivnosti vspuchivayushchihsya pokrytij // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Fizika. 2014. T. 57. № 8/2. S. 148–153.
6. Ivanov A.V. Primenenie «nanokompozitnogo podhoda» pri sozdanii ogneshchitnyh vspuchivayushchihsya sostavov // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2023. № 1 (65). S. 171–181.
7. Polymer composites with high energy density and charge-discharge efficiency at high temperature using aluminum oxide particles / Z. Fan [et al.] // Journal of materials research and technology. 2022. Vol. 18. P. 4367–4374.
8. Hodgin D.A. Midrise wood frame construction: a good idea or are we asking for trouble? // Eighth congress on forensic engineering. Reston, Virginia: American society of civil engineers. 2018. P. 62–72.
9. Eremina T.Yu., Portnov T.Yu. Problemy i perspektivy v oblasti ogneshchitnosti derevyannyh konstrukcij dlya vysotnyh zdaniy // Pozharovzryvobezopasnost'. 2020. T. 29. № 2. S. 34–43.
10. Dolzhenkov A.F., Lebedeva V.V. Ustojchivost' ogneshchitnogo pokrytiya k vozdejstviyu prirodnyh i tekhnogennyh faktorov // Nauchnyj vestnik NII «Respirator». 2022. № 3 (59). S. 18–26.
11. Lebedeva V.V., Nepochatyh I.N. Optimizaciya sostava ogneshchitnogo pokrytiya metodom simpleks-reshchatogo planirovaniya // Nauchnyj vestnik NII «Respirator». 2022. № 4 (59). S. 60–65.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 30.06.2023; одобрена после рецензирования: 06.09.2023; принята к публикации: 12.09.2023

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 30.06.2023; approved after review: 06.09.2023; accepted for publication: 12.09.2023

Информация об авторах:

Долженков Анатолий Филиппович, заместитель директора (по научной работе) Научно-исследовательского института «Респиратор» МЧС Донецкой Народной Республики (283048, г. Донецк, ул. Артема, д. 157), доктор технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: dolzhenkov_52@mail.ru, SPIN-код: 7763-8244

Лебедева Виктория Валентиновна, аспирант; старший научный сотрудник Научно-исследовательского института «Респиратор» МЧС Донецкой Народной Республики (283048, г. Донецк, ул. Артема, д. 157), e-mail: olghrap@mail.ru, SPIN-код: 9777-7155

Information about the authors:

Dolzhenkov Anatoly F., deputy director (on science) of Scientific research institute «Respirator» of EMERCOM of Donetsk People's Republic (283048, Donetsk, Artyoma str., 157), doctor of technical sciences, senior scientific associate, e-mail: dolzhenkov_52@mail.ru, SPIN: 7763-8244

Lebedeva Viktoria V., post-graduate, senior scientific associate of Scientific research institute «Respirator» of EMERCOM of Donetsk People's Republic (283048, Donetsk, Artyoma str., 157), e-mail: olghrap@mail.ru, SPIN: 9777-7155