

DOI: 10.24000/0409-2961-2021-8-52-57

УДК 677.074:677.027.62:699.868

© Т.А. Будыкина, Е.Б. Аносова, 2021

Исследование поведения огнезащитных уплотнителей при термическом воздействии



Т.А. Будыкина,
д-р техн. наук, проф.,
tbudykina@yandex.ru

ФГБВОУ ВО «Академия
гражданской защиты МЧС
России», Москва, Россия



Е.Б. Аносова,
канд. техн. наук,
доцент

РХТУ им. Д.И. Менделеева,
Москва, Россия

Представлены результаты экспериментальных исследований поведения трех образцов огнезащитных уплотнителей отечественного производства при термическом воздействии до 1000 °С, полученные методом синхронного термического анализа (термогравиметрии совместно с дифференциальной сканирующей калориметрией). Предложено учитывать выявленные свойства огнезащитных уплотнителей при проектировании тепло-, электроизоляции, противопожарной защиты исходя из технологических параметров проведения производственных процессов, а также для риск-ориентированного подхода при определении уровня пожарного риска производственных объектов.

Ключевые слова: теплоизоляция, электроизоляция, противопожарная защита, огнезащитные уплотнители, термическое воздействие, синхронный термический анализ, дифференциальная сканирующая калориметрия, термоанализатор, термогравиметрия, термоустойчивость.

Для цитирования: Будыкина Т.А., Аносова Е.Б. Исследование поведения огнезащитных уплотнителей при термическом воздействии // Безопасность труда в промышленности. — 2021. — № 8. — С. 52–57. DOI: 10.24000/0409-2961-2021-8-52-57

Введение

Для обеспечения безопасности труда на производстве существует широкий арсенал организационно-технических мероприятий, включающих знание и соблюдение персоналом правил охраны труда, наличие и использование средств индивидуальной и коллективной защиты, организацию рационального режима труда и отдыха трудящихся, применение систем (материалов, конструкций) безопасности при эксплуатации зданий, сооружений, оборудования и пр. Электро- и теплоизоляция инженерного оборудования и коммуникаций — часть такой системы, применяемой для обеспечения конструктив-

ной защиты на промышленных объектах любого назначения.

Новой, но недостаточно изученной продукцией в области организации безопасности труда на производстве являются огнезащитные материалы группы компаний «Огнеза» (г. Санкт-Петербург) — уплотнители, применяемые в качестве теплоизоляционных прокладок, электроизоляции, огнезащитного уплотнения фланцевых соединений воздухопроводов, а также для герметизации зазоров в противопожарном остеклении огнестойких дверей, перегородок и фасадов, противопожарной защиты широкого назначения.

Уплотнители могут быть выполнены в виде рулонного материала или иметь ленточное исполнение на клеевой основе для удобного размещения, например, в пустотах между полотном и коробкой противопожарной двери. Если рассматривать противопожарное назначение уплотнителя, то его действие основано на препятствии проникновения опасных факторов пожара в примыкающие помещения через пересечения противопожарных преград по системе дымоудаления и вентиляции.

Выбор исследуемых материалов (уплотнителей) неслучаен, так как важным направлением безопасной работы трудящихся является превентивная противопожарная защита, в том числе противопожарная защита оборудования, которая должна обеспечивать безопасную эвакуацию персонала из помещений промышленных предприятий до наступления критических параметров, создающих угрозу жизни.

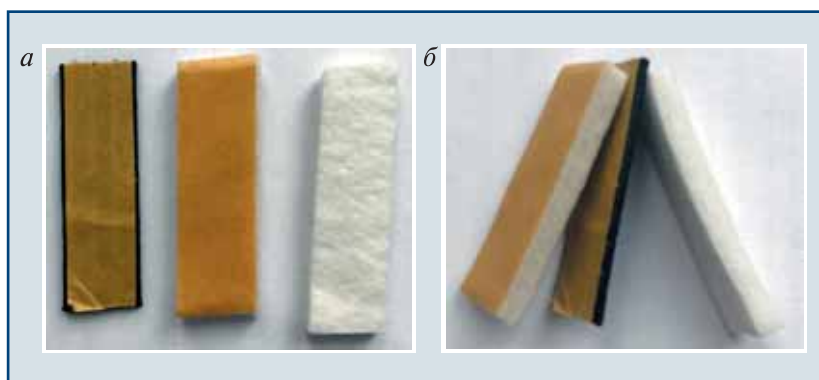
Для сдерживания огневого потока, повышения устойчивости зданий и сооружений в случае пожара применяют огнезащитные конструкции и материалы. В ряде публикаций приводятся исследования по снижению горючести синтетических материалов [1, 2], приданию огнезащитных свойств целлюлозным текстильным материалам [3, 4], изучению поведения конструкций при термическом воздействии [5, 6]. Однако публикаций, посвященных исследованию поведения уплотнителей (особенно отечественного производства) при воздействии температуры, крайне мало [7].

Цель исследования — изучение поведения огнезащитных уплотнителей при термическом воздействии для определения температурных пределов надежности.

Характеристика объекта исследования

Объектом исследования являлись три образца уплотнителей, представленные на рис. 1 (здесь а — вид слева направо: лента термоуплотнительная ОГНЕЗА-ЛТУ, уплотнитель самоклеящийся ОГНЕ-

ЗА-М-КОР, уплотнитель ОГНЕЗА-М-КОР (НГ);
б — вид сбоку).



▲ Рис. 1. Исследуемые образцы противопожарных уплотнителей группы компаний «Огнеза»

▲ Fig. 1. Investigated samples of the fireproof seals of the Ogneza group of companies

По данным производителя, лента термоуплотнительная ОГНЕЗА-ЛТУ (далее — ЛТУ) изготовлена из каучука, графита терморасширяющегося, антипиренной смеси, клейкой ленты поливинилхлорида (экспертное заключение от 15.08.2013 № 049412 [8]). Под воздействием температуры свыше 150 °С ленточный уплотнитель начинает трехмерно вспучиваться, заполняя пустоты, щели между коробкой противопожарной двери и полотном, что блокирует проникновение дыма и огня в соседние помещения. Лента способна удерживать пламя до 4 ч (ТУ 2541-002-92450604—2012 с изм. 1*), обладает высокой устойчивостью к истиранию и воздействию влаги.

Противопожарный уплотнитель ОГНЕЗА-М-КОР (далее — М-КОР) изготовлен на основе кремнезема,

что позволяет применять его в качестве материала пассивной огнезащиты дымоходов, для герметизации фланцевых соединений воздухопроводов в широком интервале температур — от –130 до 1260 °С. Благодаря низкой электропроводности уплотнитель нашел применение также для тепло- и электроизоляции высокотемпературных агрегатов и механизмов.

Уплотнитель ОГНЕЗА-М-КОР (НГ) (далее — М-КОР (НГ)) представляет огнезащитный рулонный материал на основе кремнезема. Материал является негорючим, поэтому его применение достаточно широкое: от огнезащиты дымоходов, воздухопроводов до высокотемпературной изоляции оборудования.

В таблице представлены технические характеристики огнезащитных уплотнителей группы компаний «Огнеза», составленные на основе данных производителя и экспертного заключения от 15.08.2013 № 049412 [8].

Методы анализа

Для исследования поведения огнезащитных уплотнителей при температурном воздействии проведены эксперименты с использованием метода синхронного термического анализа (СТА) (ГОСТ Р 55134—2012*), включающего дифференциальную сканирующую калориметрию (ДСК) и термогравиметрию (ТГ).

Термоанализатор представляет собой термовесы (цифровые, высокочувствительные, высокого разрешения) с верхней загрузкой образца и прямым

Характеристика уплотнителя	Уплотнитель (размер, единица измерения)		
	ЛТУ (1,5×10 [8])	М-КОР (3×10)	М-КОР (НГ) (3×10)
Внешний вид	Лента	Материал	Материал
Цвет	Темно-серый, черный	Белый	Белый
Особенности	Имеет самоклеящийся слой	Имеет самоклеящийся слой	—
Толщина, мм	1,5	3	3
Ширина, мм	10	10	10
Длина, м	35	25	25
Расширение при нагревании, %	900	—	—
Температура вспучивания (срабатывания), °С	150	—	—
Предел огнестойкости, мин	До 240	—	—
Класс пожарной опасности	—	—	НГ, КМ0
Горючесть (Г), воспламеняемость (В), дымообразование (Д), токсичность (Т)	Г1, В1, Д2, Т3	—	—
Плотность, кг/м ³	—	210	210
Срок эксплуатации, лет	25	—	30

* ТУ 2541-002-92450604—2012 с изм. 1*. Терморасширяющаяся уплотнительная лента «ОГНЕЗА-ЛТУ». URL: <https://lkm1.ru/upload/iblock/3fc/3fc50cf1f92fa26eb83ae9a81454a69c.pdf> (дата обращения: 15.01.2021).

* ГОСТ Р 55134—2012. Пластмассы. Дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК). Часть 1. Общие принципы. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200103156> (дата обращения: 15.01.2021).

измерением температуры на образце. В данных приборах пробу вещества (мг) нагревают в заданном температурном режиме, с заданной скоростью в атмосфере (инертной, окислительной), фиксируют убыль массы вещества (термогравиметрический анализ, ТГ) и экзо- и эндоэффекты (ДСК) [9].

При исследовании проба помещается в тигли цилиндрической формы, изготовленные из корунда. Большое значение имеет хороший контакт исследованных материалов с поверхностью держателя, ввиду чего для экспериментов изготавливались образцы, соответствующие по форме и площади дну тигля, фактической массы.

Результаты анализа регистрируются в виде графической зависимости:

ТГ (термогравиметрическая кривая) — «изменение массы образца — продолжительность нагрева»;

ДСК (тепловые эффекты) — «экзо- и эндоэффекты — продолжительность нагрева». Последние эффекты могут возникать вследствие протекания в исследуемой пробе химических процессов, фазовых переходов, термической деструкции вещества и т.д.

Метод ДСК позволяет с высокой точностью изучать свойства веществ при термическом воздействии [10–14].

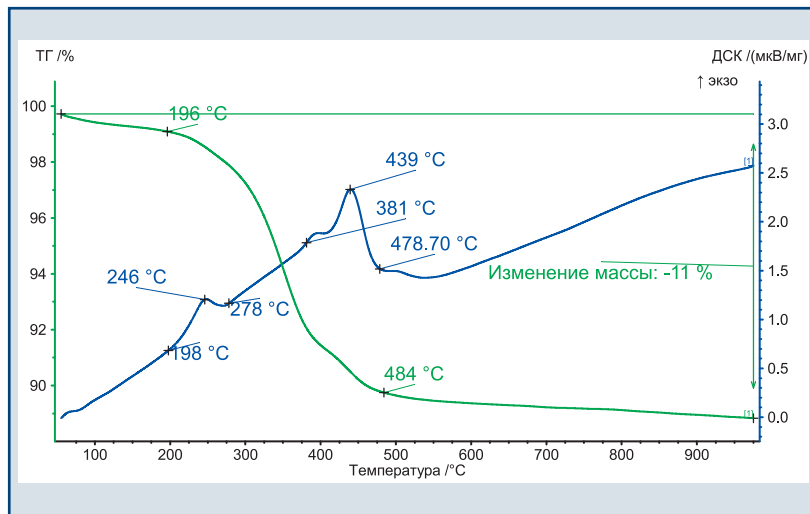
Исходя из полученных данных, программа позволяет вычислить также ДТГ — первую производную от термогравиметрической кривой, иллюстрирующую скорость уменьшения массы образца в определенное время эксперимента.

Исследование проводилось на термоанализаторе STA 449 F3 Jupiter немецкой компании NETZSCH. Характеристики условий эксперимента: режим измерений — ТГ–ДСК скорость нагрева 20 °С/мин, нагрев до 1000 °С, атмосфера — воздух.

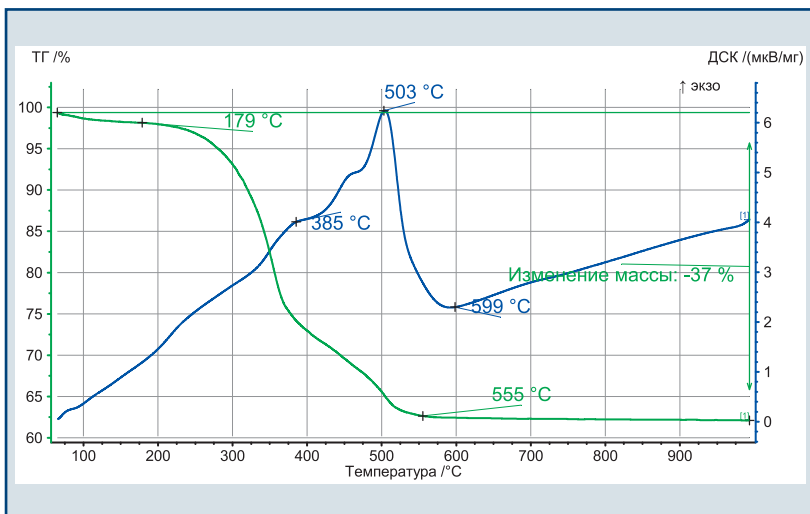
Результаты исследований

На рис. 2–4 представлены кривые ТГ–ДСК исследуемых уплотнителей, отражающие уменьшение массы образцов, а также сопровождающие процесс тепловые явления.

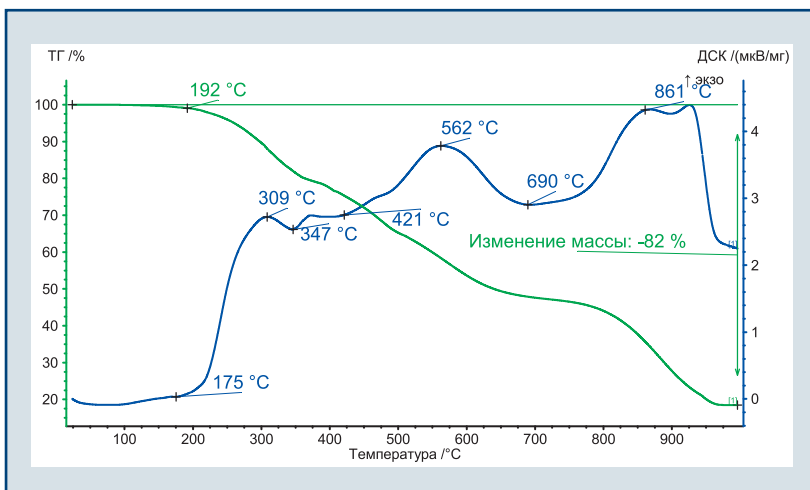
Как видно из рис. 2–4, поведение огнезащитных уплотнителей различных марок при температурном воздействии отличается друг от друга, однако подтверждаются негорючие свойства образца М-КОР



▲ Рис. 2. Кривые ТГ–ДСК образца М-КОР (НГ)
▲ Fig. 2. TG–DSC curves of the M-CORE (NG) sample



▲ Рис. 3. Кривые ТГ–ДСК образца М-КОР
▲ Fig. 3. TG–DSC curves of the M-CORE sample



▲ Рис. 4. Кривые ТГ–ДСК образца ЛТУ
▲ Fig. 4. TG–DSC curves of the LTU sample

(НГ), заявленного производителем как негорючий материал, у которого лишь на 11 % уменьшается

масса материала при нагреве до 1000 °С. У образца М-КОР уменьшение массы составило 37 %, у образца ЛТУ — 82 %.

На кривой ТГ–ДСК (см. рис. 2) можно проследить, что до температуры 196 °С происходит снижение массы образца М-КОР (НГ) всего на 1 %, при этом наблюдается постепенное нарастание выделяющегося тепла, которое сопровождается незначительным экзотермическим эффектом, максимум которого приходится на 246 °С. При дальнейшем нагреве при температуре 381 °С начинается сложный экзотермический эффект, максимум которого приходится на 439 °С, а окончание — на 477 °С. Таким образом, можно предположить, что в температурном интервале 196–484 °С происходит термоокислительная деструкция органической части образца с его последующим самовоспламенением, сопровождающаяся уменьшением массы на 11 %, однако при дальнейшем нагревании убыли массы не происходит, что обусловлено минеральным составом образца (материал на основе кремнезема).

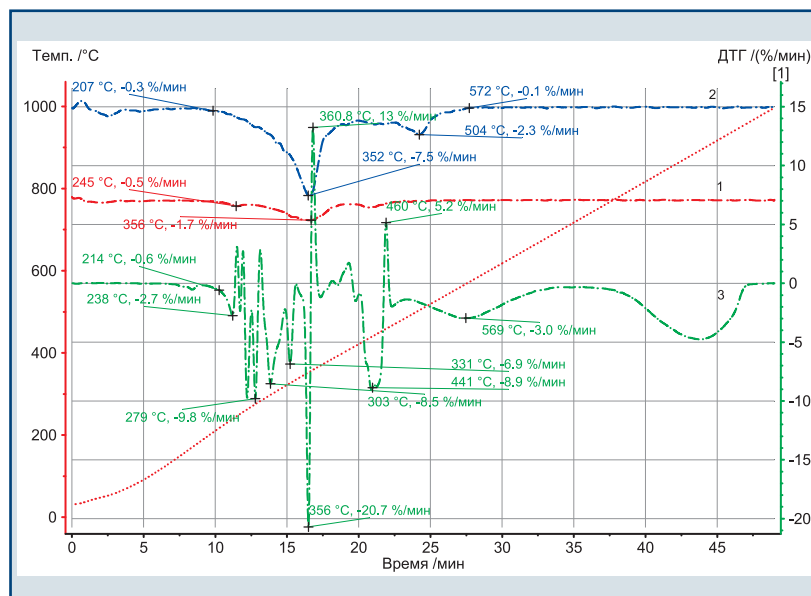
Анализируя кривую ТГ–ДСК образца М-КОР (см. рис. 3), можно сделать следующие выводы. Незначительное снижение массы образца (3 %) наблюдается до температуры 179 °С, что, вероятно, связано с испарением влаги. При температуре 385 °С начинается сложный экзотермический эффект, максимум которого приходится на 503 °С, а окончание — на 599 °С. Можно предположить, что в интервале температур 179–555 °С происходит термоокислительное разложение органической компоненты образца с его последующим самовоспламенением. После достижения температуры 555 °С и до 1000 °С снижение массы уплотнителя прекращается на отметке 37 %, что свидетельствует об образовании зольного остатка.

В заданном интервале температуры (до 1000 °С) произошло практически полное сгорание образца ЛТУ (см. рис. 4) — снижение массы составило 82 %. При этом образец ЛТУ термически устойчив до температуры 192 °С, после этого значения масса плавно снижается, что можно отнести к достоинству материала (не происходит мгновенное разрушение, соответственно, снижение защитных функций от опасных факторов пожара постепенное). Начиная с температуры 175 °С на кривой ДСК наблюдаются экзоэффекты с пиками при 309, 562 и 861 °С, что, можно предположить, связано с термоокислительным разложением органических компонентов образца и его самовоспламенением. Эндоэффект при 347 °С можно, вероятно, объяснить затратой тепла для осуществления процесса плавления ве-

ществ, входящих в состав термоуплотнительной ленты.

Можно заключить, что образцы ЛТУ и М-КОР до температуры примерно 442–449 °С имеют одинаковую скорость потери массы. Для образца ЛТУ температура 842 °С является критической, после которой происходит стремительное разрушение структуры с меньшим температурным «шагом», чем до указанной температуры.

Для выявления скорости потери массы образцов уплотнителей при термическом воздействии построена кривая ДТГ (рис. 5, здесь 1 — образец М-КОР (НГ); 2 — образец М-КОР; 3 — образец ЛТУ).



▲ Рис. 5. Скорость изменения массы образцов уплотнителей при термическом воздействии

▲ Fig. 5. The rate of change in the mass of seal samples under thermal influence

Анализ кривых рис. 5 позволяет сделать следующие выводы.

Образец М-КОР (НГ) (кривая 1) через 11 мин после нагрева до температуры 245 °С начинает терять массу с незначительной скоростью — 0,53 %/мин, а к 16-й мин при достижении температуры 356 °С скорость потери массы максимальная — 1,74 %/мин. Дальнейшее увеличение температуры не влияет на скорость потери массы.

Через 10 мин после нагрева образца М-КОР до температуры 206 °С скорость потери массы увеличивается с 0,31 до 7,52 %/мин к 16,5 мин эксперимента и по достижении температуры 352 °С (кривая 2). Дальнейшее увеличение температуры к 23-й мин эксперимента приводит к незначительному снижению массы образца (2,33 %/мин), а с 27,5 мин — скорость процесса не меняется, убыли массы не наблюдается.

Потеря массы образца ЛТУ (кривая 3) происходит с высокой скоростью в интервале времени 10,5–22,5 мин после нагрева образца от 214 до 460 °С.

В указанных интервалах скорость потери массы колеблется от 2,75 до 20,7 %/мин, имеет хаотичный порядок (с чередованием пиков и впадин), что, можно предположить, сопровождается процессом вспучивания и выгорания органических компонентов состава уплотнителя в образовавшейся рыхлой структуре материала. После 46-й мин нагрева образца скорость потери массы не меняется.

Заключение

Согласно полученным экспериментальным данным, образцы ОГНЕЗА-М-КОР (НГ) и ОГНЕЗА-М-КОР подтвердили заявленные производителем огнезащитные свойства. Для подбора термостойких материалов, способных выдерживать значительные температурные нагрузки при работе агрегатов и механизмов, для электро-, теплоизоляции, для пожарозащиты воздухопроводов, оборудования, конструкций очевидны преимущества и надежность этих уплотнителей.

Выявленные огнезащитные свойства уплотнителя ОГНЕЗА-М-КОР (НГ) открывают широкую перспективу его применения из-за очень высокой (до 1000 °С) устойчивости к термическому воздействию при снижении массы всего на 11 %. Уплотнитель ОГНЕЗА-М-КОР также представляет собой убедительный по выявленным свойствам материал пассивной огнезащиты.

Результаты исследования (температура начала интенсивного уменьшения массы, температуры начала тепловых эффектов, сопровождающих уменьшение массы, поведение материалов при термическом воздействии) могут учитываться при проектировании тепло-, электроизоляции, противопожарной защиты производственных процессов, а также при определении уровня пожарного риска производственных объектов.

Список литературы

1. Рева О.В., Назарович А.Н., Богданова В.В. Закрепление нетоксичных антипиренов на поверхности полиэфирных волокон // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. — 2019. — Т. 3. — № 2. — С. 107–115.
2. Акулова М.В., Мочалов А.М. О результатах исследования влияния огнезащитных составов на основе органосилоксанов на воспламеняемость пенополистирола // Современные проблемы гражданской защиты. — 2019. — № 2 (31). — С. 48–55.
3. Besshaposnikova V.I., Mikryukova O.N., Galbraikh L.S. Influence of Aflammit KWB on the Process of Pyrolysis and the Properties of Cellulose Fabrics // Fibre Chemistry. — 2017. — Vol. 49. — № 2. — P. 246–250. DOI: 10.1007/s10692-018-9877-3
4. Такей Е., Таусарова Б.Р., Вуг А. Применение силиката натрия и тиомочевины в разработке огнестойких целлюлозных текстильных материалов золь-гель методом // Вестник Алматинского технологического университета. — 2018. — № 3. — С. 32–37.
5. Защита строительных металлических конструкций огнезащитными составами / А.В. Сычева, А.А. Локтев, А.Е.

Можаров, В.П. Сычев // Наука и техника транспорта. — 2018. — № 2. — С. 89–93.

6. Пат. RU 2725720 C1. Огнестойкое многослойное изделие для огнезащиты строительных конструкций / В.А. Прусаков, М.В. Гравит, С.П. Антонов; заявл. 06.03.2020; опубл. 03.07.2020, Бюл. № 19.

7. Пат. RU 158045 U1. Уплотнитель противопожарный терморасширяющийся двухслойный / Р.В. Кропачев; заявл. 31.03.2015; опубл. 20.12.2015, Бюл. № 35.

8. Огнеза. URL: <http://en.ogneza.com/ekspertnoe-zaklyuchenie-na-lentu-termouplotnitelnuyu.html> (дата обращения: 15.01.2021).

9. NETZSCH. URL: <https://www.netzsch-thermal-analysis.com/ru/produkty-reshenija/sinkhronnyi-termicheskii-analiz/sta-449-f3-jupiter-sovmeshchennyi-tg-dsk> (дата обращения: 15.01.2021).

10. Рева О.В., Назарович А.Н., Богданова В.В. Влияние состава неорганических замедлителей горения, хемосорбированных на полиэфирном волокнистом материале, на закономерности его термодеструкции // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. — 2016. — № 1 (23). — С. 4–12.

11. Оценка пожарной опасности и токсичности современных строительных материалов / А.Н. Перова, Е.С. Подшивалкина, Л.В. Илларионова, Е.Б. Аносова // Успехи в химии и химической технологии. — 2017. — Т. 31. — № 13. — С. 71–73.

12. Илларионова Л.В., Аносова Е.Б. Токсическая и пожарная опасность современных синтетических материалов, применяющихся в строительстве // Химическая безопасность. — 2017. — Т. 1. — № 2. — С. 176–182. DOI: 10.25514/CHS.2017.2.10992

13. Аносова Е., Перова А., Капранов А. Современные синтетические материалы как источник пожарной и токсической опасности в условиях термического воздействия // Экология и промышленность России. — 2016. — Т. 20. — № 8. — С. 38–43. DOI: 10.18412/1816-0395-2016-8-38-43

14. Gravit M.V., Golub E.V., Antonov S.P. Fire Protective Dry Plaster Composition for Structures in Hydrocarbon Fire // Magazine of Civil Engineering. — 2018. — № 3 (79). — P. 86–94.

tbudykina@yandex.ru

Материал поступил в редакцию 31 января 2021 г.

Доработанная версия — 15 июля 2021 г.

«Bezopasnost Truda v Promyshlennosti» / «Occupational Safety in Industry», 2021, № 8, pp. 52–57.
DOI: 10.24000/0409-2961-2021-8-52-57

Study of the Behavior of the Fire-Retardant Seals Under Thermal Exposure

T.A. Budykina, Dr. Sci. (Eng.), Prof., tbudykina@yandex.ru
Civil Defence Academy EMERCOM of Russia, Moscow, Russia

Е.В. Аносова, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof.
Mendelev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia

Abstract

The results are presented concerning the experimental studies of the behavior of fire-retardant seals produced by the Oгнеза group of companies under thermal exposure up to 1000 °C, obtained by the method of synchronous thermal analysis (thermogravimetry together with the differential scanning calorimetry).

Incombustible properties of the M-CORE (NG) seal were confirmed, which showed a decrease in the mass of the material when heated to 1000 °C by 11%, which is due to the mineral composition of the sample (a silica-based material).

High thermal stability was shown by the fire-fighting seal M-CORE, the decrease in the mass of the sample of which, after reaching a temperature of 555 °C, stops at 37 %, which indicates the formation of an ash residue.

Thermal sealing tape LTU, as a result of the temperature heating starting from a mark of 192 °C, uniformly was losing mass up to a total value of 82 %. The experiment established the sealant swelling. According to the experimental data obtained, the samples M-CORE (NG) confirmed the fire-retardant properties declared by the manufacturer. For the selection of heat-resistant materials that can withstand significant temperature loads during the operation of units and mechanisms, for electrical and thermal insulation, for fire protection of air ducts, equipment, structures, the advantages, and reliability of these seals are obvious.

The results of the study (the temperature of the beginning of an intensive decrease in mass, the temperature of the onset of thermal effects accompanying a decrease in mass, the behavior of materials under thermal exposure) can be considered when designing heat and electrical insulation, fire protection of production processes, as well as when determining the level of fire risk of the production facilities.

Key words: thermal insulation, electrical insulation, fire protection, fireproof seals, thermal action, synchronous thermal analysis, differential scanning calorimetry, thermal analyzer, thermogravimetry, thermal stability.

References

1. Reva O.V., Nazarovich A.N., Bogdanova V.V. Fixation of nontoxic antipyrans on the surface of polyester fibers. *Vestnik Universiteta grazhdanskoy zashchity MChS Belarusi = Journal of Civil Protection*. 2019. Vol. 3. № 2. pp. 107–115. (In Russ.).
2. Akulova M.V., Mochalov A.M. On the Results of the Study of the Effect of Flame Retardants Based on Organosiloxanes on the Flammability of Polystyrene Foam. *Sovremennye problemy grazhdanskoy zashchity = Modern problems of civil protection*. 2019. № 2 (31). pp. 48–55. (In Russ.).
3. Besshaposhnikova V.I., Mikryukova O.N., Galbraikh L.S. Influence of Aflammit KWB on the Process of Pyrolysis and the Properties of Cellulose Fabrics. *Fibre Chemistry*. 2017. Vol. 49. № 2. pp. 246–250. DOI: 10.1007/s10692-018-9877-3

4. Takey E., Tausarova B.R., Vig A. Application of Sodium Silicate and Thiourea for Develop Fire Resistance Cellulose Textile Materials Sol-Gel Method. *Vestnik Almatinskogo tekhnologicheskogo universiteta = The Journal of Almaty Technological University*. 2018. № 3. pp. 32–37. (In Russ.).

5. Sycheva A.V., Loktev A.A., Mozharov A.E., Sychev V.P. Protection of Building Metal Structures with Flame Retardants. *Nauka i tekhnika transporta = Science and Technology in Transport*. 2018. № 2. pp. 89–93. (In Russ.).

6. Prusakov V.A., Gravit M.V., Antonov S.P. Fire-resistant multilayer product for fire protection of building structures. Patent RU 2725720 C1. Applied: March 6, 2020. Published: July 3, 2020. Bulletin № 19. (In Russ.).

7. Kropachev R.V. Double-layer fireproof thermo-expanding sealant. Patent RU 158045 U1. Applied: March 31, 2015. Published: December 20, 2015. Bulletin № 35. (In Russ.).

8. ОГНЕЗА. Available at: <http://en.ogneza.com/ekspertnoe-zaklyuchenie-na-lentu-termouplotnitelnuyu.html> (accessed: January 15, 2021). (In Russ.).

9. NETZSCH. Available at: <https://www.netzsch-thermal-analysis.com/ru/produkty-reshenija/sinkhronnyi-termicheski-analiz/sta-449-f3-jupiter-sovmeshchennyi-tg-dsk> (accessed: January 15, 2021).

10. Reva O.V., Nazarovich A.N., Bogdanova V.V. Influence of the composition of inorganic flame retardants, chemisorbed on a polyester fibrous material, on the regularities of its thermal destruction. *Vestnik Komandno-inzhenerenogo instituta MChS Respubliki Belarus = Bulletin of the Command and Engineering Institute of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus*. 2016. № 1 (23). pp. 4–12. (In Russ.).

11. Perova A.N., Podshivalkina E.S., Illarionova L.V., Anosova E.B. Assessment of Fire Hazard and Toxicity of Modern Building Materials. *Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii = Advances in Chemistry and Chemical Technology*. 2017. Vol. 31. № 13. pp. 71–73. (In Russ.).

12. Illarionova L.V., Anosova E.B. Toxicity and Fire Hazard of Modern Synthetic Construction Materials. *Khimicheskaya bezopasnost = Hemical Safety Science*. 2017. Vol. 1. № 2. pp. 176–182. (In Russ.). DOI: 10.25514/CHS.2017.2.10992

13. Anosova E., Perova A., Kapranov A. Modern Synthetic Materials as a Source of the Fire and Technical Danger in the Conditions of Thermal Effect. *Ekologiya i promyshlennost Rossii = Ecology and Industry of Russia*. 2016. Vol. 20. № 8. pp. 38–43. (In Russ.). DOI: 10.18412/1816-0395-2016-8-38-43

14. Gravit M.V., Golub E.V., Antonov S.P. Fire Protective Dry Plaster Composition for Structures in Hydrocarbon Fire. *Magazine of Civil Engineering*. 2018. № 3 (79). pp. 86–94.

Received January 31, 2021
In final form — July 15, 2021

