

10. Tonkih V.G. The study of the processes of change in the shape of the external magnetic field of an electric motor with the development of various defects // *Izmerenie, kontrol', informatizaciya: materialy Devyatoj mezhdunar. nauch.- tekhnicheskoy konf. Barnaul, 2006.* 56 p.
11. Kravchik A.Eh., Shlaf M.M., Afonin V.I., Sobolevs-kaya E.A. 4A Series Asynchronous Motors. M.: Energoizdat, 1982. 504 p.
12. Luk'yanov A.V., Muhachev Yu.S., Bel'skij I.O. Researching the complex of vibration parameters and external magnetic field in the problems of diagnostics of asynchronous electric motors // *Systems Methods Technologies.* 2014. № 2 (22). P 61-69.
13. Bel'skij I.O., Luk'yanov A.V. Research parameters of external magnetic field of asynchronous electric motors with unbalanced supply current // *Modern technologies. System analysis. Modeling.* 2016. № 2 (50). P. 186-192.
14. Bel'skij I.O., Kupriyanov I.S., Luk'yanov A.V. Researching the complex of vibration parameters and external magnetic field in the problems of diagnostics of asynchronous electric motors // *Materialy Vos'moj mezhdunar. nauch.-prakticheskoy konf. «Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona» 28 marta- 1 apr.2017 g. Irkutsk, 2017.* T. 2. P. 536-542.
15. Bel'skij I.O., Luk'yanov A.V. Researching the complex of vibration parameters and external magnetic field in the problems of diagnostics of asynchronous electric motors // *Materialy VI mezhdunar.j konf. «Problemy mekhaniki sovremennyh mashin», 29 iyunya - 4 iyulya 2015 g. Ulan-Udeh, 2015.* T. 1. P. 8-14.
16. Luk'yanov A.A., Muhachev Yu.S., Bel'skij I.O., Savvateev A.A. Laboratory stand for registration of magnetic stray fields of three-phase asynchronous electric motors // *Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona: materialy chetvertoj vseros. nauch.-prakticheskoy konf. s mezhdunar. uchastiem. Irkutsk, 2013.* T. 1. P. 279-283.
17. Nikiyan N.G., Omon A.B. Electromagnetic processes and currents of a three-phase asynchronous motor during interturn short circuits // *Elektrichestvo.* 2010. № 5. P. 53-56.
18. Bel'skij I.O. Numerical modeling of magnetic field parameters of the asynchronous electric motors with broken bars in machine-building production // *Modern technologies. System analysis. Modeling.* 2018. T. 57, № 1. P. 60-70.
19. Tavner R., Ran L., Penman J., Sedding H. Condition Monitoring of Rotating Electrical Machines, 2nd ed. Stevenage, U.K.: IET, 2008.
20. D'yakonov V.P. MATLAB 6.0/6.1/6.5+SP1 + Simulink 4/5. Signal and Image Processing. M.: SOLON- Press, 2005. 592 p.

УДК 519.63

DOI: 10.18324/2077-5415-2018-4-69-75

Разработка эффективных огнезащитных покрытий для специализированных лесных машин

А.С. Устинов^a, Е.А. Питухин^b

Петрозаводский государственный университет, пр. Ленина 33, Петрозаводск, Республика Карелия

^aanton-ustinov@psu.karelia.ru, ^bEugene@petrsu.ru

^a<https://orcid.org/0000-0002-5254-0549>, ^b<https://orcid.org/0000-0002-7021-2995>

Статья поступила 19.10.2018, принята 7.11.2018

Статья посвящена созданию эффективных огнезащитных покрытий для специализированных лесных машин, которые работают в чрезвычайных ситуациях, подвергаются тепловому воздействию при тушении лесных пожаров. Одним из путей решения данного вопроса является разработка технологии приготовления и применения композитов, после нанесения которых на защищаемую поверхность замедляется ее прогрев. Отличие большинства композитных материалов (КМ) от традиционных состоит в том, что процесс их изготовления может быть совмещен с процессом изготовления изделия. Жидкое натриевое стекло в качестве связующего ценно такими свойствами, как экологическая чистота производства и применения, негорючесть и нетоксичность, а также дешевизна и доступность исходного материала. Обладая высокими адгезионными свойствами, жидкое стекло хорошо склеивает различные материалы. Применение графита в качестве наполнителя обусловлено его высокой термической и химической стойкостью. Получены образцы жидкостекляного КМ с частицами наполнителя (графита) размером 1–10 мкм. Подобрано соотношение компонентов, при котором образцы сохраняют свои адгезионные свойства и не разрушаются при нагреве до температуры 718°C. Установлено, что образцы КМ обладают повышенной термостойкостью и способны сохранять неизменным химическое строение при нагреве до 718°C, что подтверждено методами терморавиметрии, рентгеноструктурного анализа и электронной микроскопии. Определен предел огнестойкости предложенного огнезащитного КМ по потере теплоизолирующей способности на уровне И15, установлен его состав в начальном состоянии, на промежуточных стадиях процесса нагрева и состав остатка. В результате исследования адгезионных, теплоизоляционных и огнестойких свойств нового композита показано, что предлагаемый огнезащитный материал с полученными характеристиками может использоваться в качестве защитного покрытия для лесопожарных машин.

Ключевые слова: композитный материал; тепловое воздействие; тепловая защита; лесопожарные машины.

Development of effective fire-protective coatings for specialized forest machines

A.S. Ustinov^a, E.A. Pitukhin^b

Petrozavodsk State University; 33, Lenin Per., Petrozavodsk, Russia

^aanton-ustinov@psu.karelia.ru, ^bEugene@petrsu.ru

^a<https://orcid.org/0000-0002-5254-0549>, ^b<https://orcid.org/0000-0002-7021-2995>

Received 19.10.2018, accepted 7.11.2018

The article is devoted to the creation of effective fire-retardant coatings for specialized forest machines that operate in emergency situations, exposed to heat in extinguishing forest fires. One of the ways to solve this issue is the development of technology for the preparation and use of composites which protect surface from heating. The difference between most composite materials (CM) from traditional is that the process of their manufacture can be combined with the process of manufacturing the product. Liquid sodium glass as a binder has valuable properties such as environmental friendliness of production and use, incombustibility and non-resistance, as well as the low cost and availability of the raw material. Possessing high adhesive properties, water glass glues a variety of materials properly. The use of graphite as a filler is due to its high thermal and chemical resistance. Samples of liquid-glass composite material with filler particles (graphite) of 1-10 μm size are obtained. The ratio of components at which the samples retain their adhesive properties and are not destroyed by heating to a temperature of 718 °C is selected. It is found that the samples of the composite material have high temperature resistance and are able to maintain the same chemical structure when heated to 718 °C, which is confirmed by thermogravimetry, x-ray diffraction analysis and electron microscopy. The fire resistance limit of the proposed fire-retardant composite material on the loss of thermal insulation ability at the level of 115 is determined, its composition in the initial state, at the intermediate stages of the heating process and the composition of the residue is established. As a result of the study of the adhesive, thermal insulation and fire-resistant properties of the new composite, it is shown that the proposed fire-retardant material with the obtained characteristics can be used as a protective coating for forest fire engines.

Keywords: composite material; thermal effect; thermal protection; forest fire engines.

Введение

Ежегодно на территории Российской Федерации возникают лесные пожары, которые наносят значительные убытки, связанные с уничтожением сотен тысяч гектаров леса. В связи с этим встает острая проблема борьбы с огненной стихией. Для тушения огня на больших очагах возгорания целесообразно использовать специализированные пожарные машины.

При проектировании кабины транспортного средства возникают задачи регулирования систем кондиционирования при различных режимах работы в зависимости от технологической направленности машины. Общей чертой кабин следует считать их замкнутость, относительно малый объем. Комфортные микроклиматические условия для работы человека в кабине обеспечиваются рациональным выбором значений параметров воздушной среды. Заданные условия в кабине машины должны выдерживаться при любых возможных в районе эксплуатации погодных условиях.

Работа оператора при управлении трактором характеризуется небольшими физическими усилиями, однако требует значительного напряжения внимания. При дискомфортных тепловых условиях возникает перенапряженность систем терморегуляции организма человека.

Защитные устройства операторов и другие элементы конструкций лесопожарных машин во время тушения огня воспринимают повышенные тепловые нагрузки. Традиционные материалы, из которых изготовлено ограждение кабины, быстро нагреваются и недостаточно эффективно противостоят таким экстремальным режимам. При этом повышается пожарная опасность, что может привести к воспламенению шумо- и теплоизоляционного материала, которым изнутри облицовано металлическое ограждение кабины. Оператору

трудно находиться в таких условиях из-за дискомфортных тепловых условий, ухудшается производительность труда. Возникает большая перенапряженность системы терморегуляции организма, снижаются эргономические показатели и безопасность условий труда.

Естественно, что встает задача создания материалов и покрытий, устойчивых к воздействию высоких температур, обладающих значительным пределом огнестойкости конструкций, а также технических устройств пожарной безопасности. Вследствие этого предполагается замена традиционных лакокрасочных покрытий защитных устройств новыми материалами, существенно улучшающими эргономические показатели кабин во время борьбы с огнем. Решение данной задачи позволит существенно повысить эффективность борьбы с лесными пожарами и улучшить защитные свойства техники, применяемой в чрезвычайных ситуациях.

С целью решения этой проблемы необходимо разработать огнезащитный материал, который обеспечит хорошую огнестойкость и теплозащитные свойства поверхностей ограждения, существенно улучшит эргономические показатели кабин во время борьбы с огнем, не потребует значительных затрат на изготовление и применение и будет соответствовать нормам экологической безопасности [1–8].

Разработка и создание огнезащитного материала. Одним из путей решения данного вопроса является разработка технологии приготовления и применения композитных материалов (КМ).

Существуют разработки огнеупорных материалов на основе углерода, содержащих графито-шахтную массу [9], которую приготавливают в растворомешалке принудительного действия и укладывают методом

трамбования. Применение такой графито-шахтной массы основано на возможности использования электролизера с нижним вводом анодов для различных составов электролитов. Недостатком указанной массы является невысокое смачивание материала по местам контакта связующего и наполнителя вследствие небольшой площади контакта между компонентами в силу размера частиц наполнителя свыше 0,1 мм, что не обеспечивает хорошую адгезию в затвердевшем состоянии.

Известны углеродсодержащие огнеупоры, изготавливаемые с повышенной эрозионной стойкостью, которая достигается путем введения упрочняющей добавки [10]. Недостатком полученного таким способом материала является его низкая окислительная устойчивость за счет обезуглероживания рабочего слоя фракции заполнителя огнеупора.

Известен мировой опыт применения композитных технологий на основе углеродных волокон [11–16]. В рамках этой тематики авторами статьи был предложен огнезащитный КМ на основе жидкого стекла с наполнителем — графитом микронных размеров [17–19]. Данный материал отличают повышенная механическая прочность и способность сохранять неизменными состав и структуру под воздействием высоких температур, что достигается благодаря применению частиц наполнителя из графита размером 1–10 мкм и соотношению компонентов веществ исходной смеси, масс. %: наполнитель из графита — 42 %; жидкое натриевое стекло — 50 %; отвердитель, натрий кремнефтористый — 8 %.

Применение графита в качестве наполнителя обусловлено его высокой термической и химической стойкостью. Следует отметить, что КМ характеризуется пористостью. В порах могут протекать химические реакции, происходит окисление углерода до оксида углерода. Избыток кислорода может привести к догоранию оксида углерода до диоксида углерода.

При этом создается дефицит свободного кислорода. С понижением концентрации кислорода увеличивается количество оксида углерода. В связи с отсутствием в газовой фазе кислорода в порах развивается эндотермическая реакция взаимодействия углерода и диоксида углерода.

Максимальной концентрации диоксида углерода в слое топлива соответствует и наибольшая температура. По мере увеличения в газовой фазе оксида углерода температура в его макро- и микропорах понижается.

Таким образом, технический результат, обеспечиваемый разработкой, состоит в повышенной механической прочности огнезащитного материала, способности сохранять неизменными состав и структуру под воздействием высоких температур. Данный результат достигается благодаря тому, что микрочастицы наполнителя графита имеют размерность более 2 мкм (рис. 1).

Все составляющие заранее подготавливались в необходимых соотношениях массовых долей: порошок графита (42%), жидкое стекло (50%) и отвердитель — натрий кремнефтористый (8%). На следующем этапе происходил замес исходных компонентов. После их смешения в результате химической реакции получали КМ.

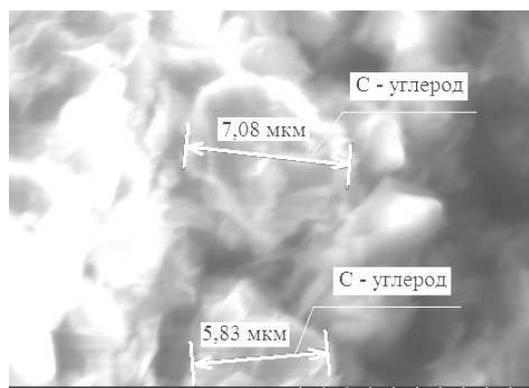


Рис. 1. Микрофотография поверхности жидкостекляной композиции с наполнителем графитом (размер изображения по горизонтали 10 мкм)

В дальнейшем проводились исследования огнеустойкости КМ. Для этого было изготовлено два образца размером (длина, ширина, высота) 70x35x20 и 70x35x12 мм (рис. 2). Сущность методики исследования заключается в определении времени от начала теплового воздействия на КМ (экспериментальный образец) до наступления предельного состояния [20].

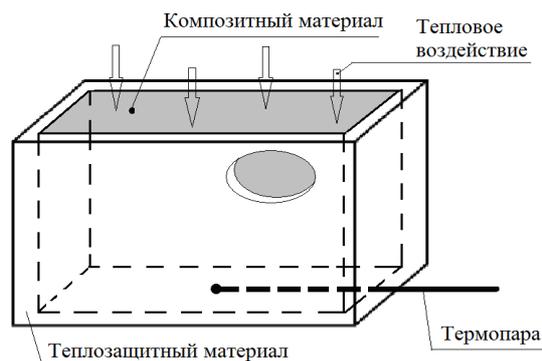


Рис. 2. Экспериментальный образец. Схема расположения опытного образца, теплозащитного материала и термопары

Предел огнестойкости был определен по потере теплоизолирующей способности (I) вследствие повышения температуры на необогреваемой поверхности материала до предельных для данного материала значений, которые составляют 220 °С. Температура в рабочей камере печи в ходе экспериментов достигала 718 °С.

Экспериментально было установлено, что на протяжении 15-минутного теплового воздействия на исследуемый образец № 1 толщиной 20 мм температура на необогреваемой поверхности не достигала 220 °С (рис. 3). Таким образом, был получен предел огнестойкости по потере теплоизолирующей способности I15, который составил 15 мин.

Для подтверждения сделанных выводов были проведены дополнительные исследования, а именно определены состав и структура образцов КМ. Первый являлся контрольным и не подвергался нагреву, второй был изготовлен из КМ после нагрева до 718 °С. Установлено число фаз в исследуемых образцах, а также проведена их идентификация на основе рентгеноструктурного анализа (рис. 4).

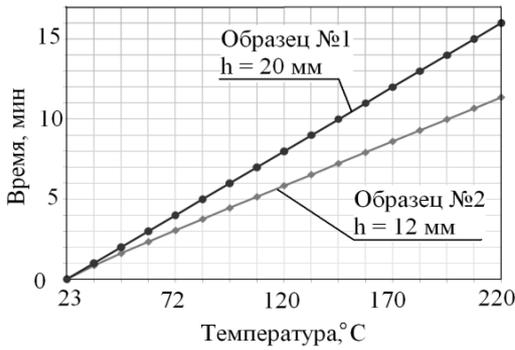


Рис. 3. Зависимость времени потери теплоизолирующей способности образцов от температуры

Сравнительный рентгенографический анализ экспериментальных образцов до и после термического воздействия (рис. 4) показал, что дифракционные пики идентичны и лишь немного различны по интенсивности, что свидетельствует о способности исследуемого огнезащитного материала удерживать строение и химический состав под тепловым воздействием, тем самым обосновывая его термостойкость.

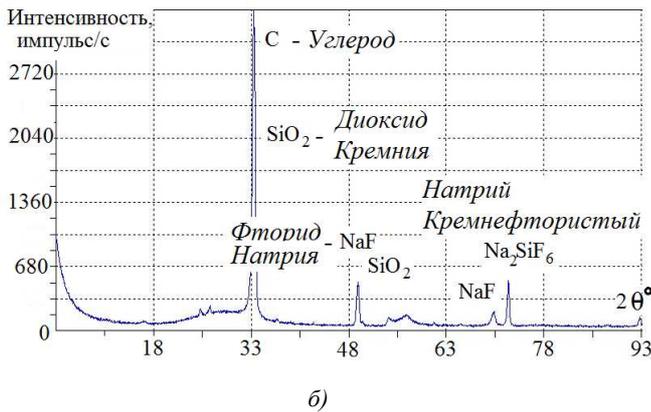
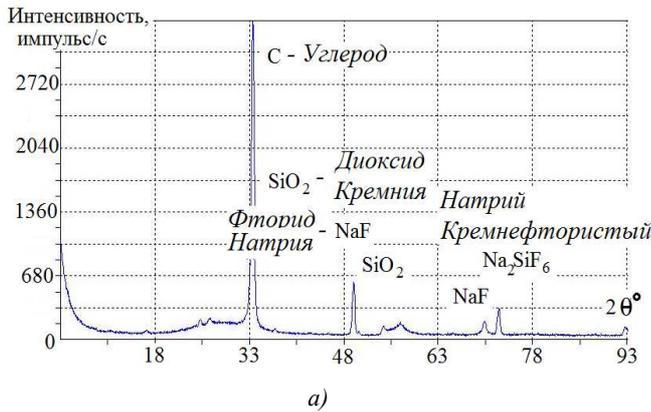


Рис. 4. Рентгенограммы образца КМ: контрольного (а); прогретого до 718 °С (б)

Помимо этого, качественный анализ (рис. 4) показал, что исследуемые образцы многофазны. Фаза графита принадлежит гексагональному графиту. Диоксид кремния находится в кристаллическом состоянии α -кварц. Изменение фона, при котором угол отражения $2\theta^\circ$ возрастает до 33° , показывает, что в композиции

также присутствует аморфный диоксид кремния. Кроме этого, виден фторид натрия в виде кристаллов [21].

В дальнейшем образец огнезащитного композитного материала был исследован на термогравиметре Hitachi STA 7300. В ходе эксперимента нагрев осуществлялся до температуры 1400 °С (рис. 5).

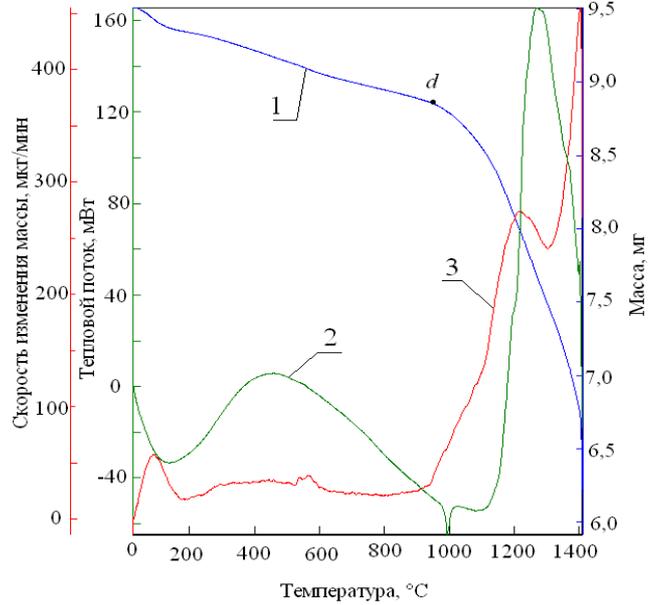


Рис. 5. Термогравиметрические кривые огнезащитного материала: 1—изменение массы, мг; 2—изменение теплового потока, мВт; 3—скорость изменения массы, мг/мин

Исходя из полученных термогравиметрических кривых, можно сделать вывод, что при 900 °С, начиная с точки *d*, на кривой 1 огнезащитный композитный материал утрачивает массу и в последующем со временем рушится. Как известно, аморфное состояние вещества не характеризуется определенным значением температуры плавления и переходит из первоначального агрегатного состояния в последующее в интервале температур. Так, для натрия кремнефтористого температура плавления составляет 846 °С, для углерода — 3547 °С, для фторида натрия — 993 °С, для диоксида кремния — 1710 °С. Таким образом, как показали исследования образца огнезащитного КМ методом термогравиметрии, огнезащитный материал постепенно разрушается вследствие достижения температуры плавления одним из его компонентов.

Метод нанесения огнезащитного композитного материала. В результате проведенной работы были рассмотрены способы нанесения огнезащитного КМ «жидкое стекло–микрочастицы графита» на ограждаемые поверхности. Основываясь на консистенции смеси огнестойкого композитного материала, его можно отнести к группе огнезащитных штукатурок, паст и обмазок, представляющих собой композиции, по содержанию компонентов аналогичные краскам, но отличающиеся пастообразной консистенцией и более крупной дисперсностью наполнителей и антипиренов, образующих на защищаемой поверхности слой покрытия большей толщины, чем лаки и краски. Отличие огнестойких штукатурок, паст и обмазок от обычных це-

ментно-песчаных шпатлевок и растворных штукатурных смесей, предназначенных для отделочных работ, состоит в том, что в качестве связующего не используется цемент, а в качестве заполнителя не используется кварцевый песок. Огнезащитные штукатурные растворы, пасты и обмазки готовят на основе жидкого стекла, строительного гипса, глиноземистого цемента, пуццолановых цементов. В качестве заполнителя используется углерод и другие вещества [1]. Это, в свою очередь, еще раз подтверждает групповую принадлежность огнестойкого материала.

В результате проведенного анализа существующих способов нанесений покрытий выявлено, что в качестве прототипа нанесения КМ следует рассматривать метод обмазки как наиболее подходящий, исходя из консистенции смеси огнестойкого материала и простоты исполнения.

Разработанный огнезащитный материал исследовался с целью определения максимальных нагрузок, необходимых для отрыва наносимого покрытия от поверхности. Проведенные механические испытания осуществлялись в следующей последовательности: приготовленная смесь жидкого стекла с наполнителем из графита в присутствии натрия кремнефтористого наносилась на деревянные подложки (толщина слоя 2 мм). После окончательного высыхания приспособления нагружали путем подвешивания груза на крючки (рис. 6) с шагом 10 Н/м². Разрушение образцов огнезащитного материала происходило по границе композиции и подложек по самой структуре материала (рис. 7).

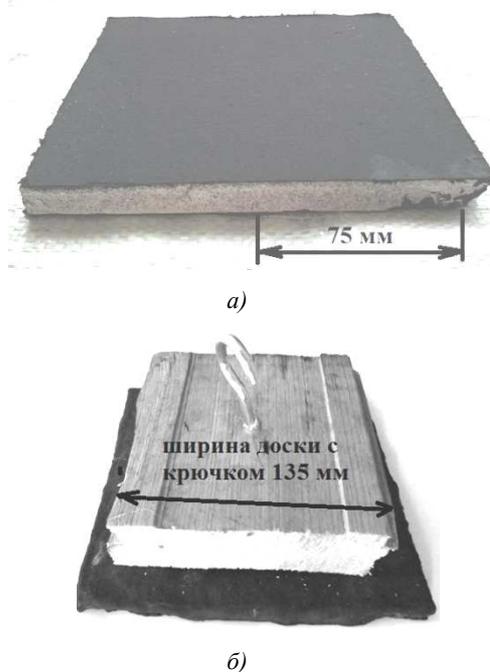
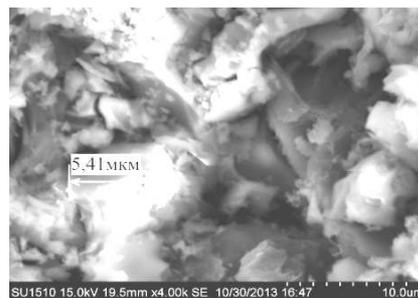
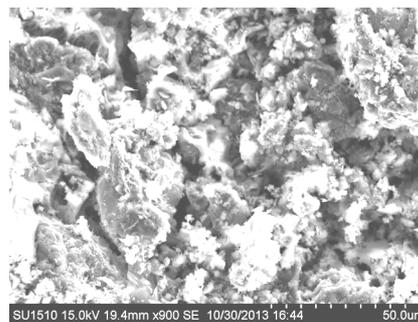


Рис. 6. Приспособления для определения нагрузки: покрытие для исследования адгезионной способности, нанесенное на деревянную поверхность методом торкретирования (а); образец для количественной оценки адгезии, нанесенный на деревянную поверхность (б)



а)



б)

Рис. 7. Снимки разрывной поверхности после эксперимента (электронный микроскоп HitachiSU 1510). Поверхность отрыва, масштаб 10 мкм (а); масштаб 50 мкм (б)

Трещины в образцах не наблюдались. Предельное зафиксированное значение нагрузки составило 1,22 МПа. Результаты проведенных экспериментов показали, что прочность адгезионной связи с железом значительно меньше и составляет 0,2 МПа.

В качестве нового, альтернативного обмазке метода нанесения было выбрано торкретирование. Данный метод позволяет изготавливать более тонкие покрытия. Обзор применяемых методов торкретирования показал, что для целей проекта целесообразно рассматривать это понятие в широком смысле, оно синонимично таким понятиям как распыление, набрызг, пульверизация, нанесение. Это обусловлено тем, что под способ нанесения подбирается исходная консистенция огнезащитного состава. Она может меняться и относиться как к бетонам и торкрет-бетонам, так и к пастам, обмазкам, краскам и т.д. Оборудование, используемое для изготовления огнестойких покрытий, также определяется выбранным способом нанесения. Для изготовления тонких огнестойких покрытий был выбран безвоздушный метод торкретирования как наиболее экономичный и безопасный. Оценка адгезионной способности представляла собой аналогичную, используемую для исследования адгезионной способности образцов, изготовленных методом обмазки. Величина нижней границы адгезионной связи огнестойкого композитного материала для дерева составила 0,8 МПа. Прочность адгезионной связи с железом значительно меньше и составляет 0,1 МПа.

Заключение

1. Предложен новый подход к повышению эффективности борьбы с огнем с использованием специализированных лесных машин путем замены обычного лакокрасочного покрытия кабин вновь разработанным

КМ, обладающим высоким уровнем адгезии, повышенной теплоизоляцией и огнестойкостью.

2. Предложены состав и технология получения КМ «жидкое стекло – микрочастицы графита». Определена структура КМ, установлено число фаз в экспериментальных образцах методами электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа.

3. Установлено, что КМ способен сохранять фазовый состав и структуру при повышенных температурах. Таким образом, подтверждается его термостойкость.

4. Выявлены значения предельных нагрузок, которые приводят к разрушению КМ, а также характер разрывной поверхности.

5. Определен предел огнестойкости по потере теплоизолирующей способности (I). В соответствии с требованиями нормативных документов *получен предел огнестойкости* П15, который составил 15 мин.

6. На основе полученных термогравиметрических кривых сделан вывод, что при температуре 900 °С огнезащитный КМ утрачивает массу и в последующем со временем разрушается вследствие достижения температуры плавления одним из его компонентов.

7. Рассмотрены способы нанесения огнезащитного КМ «жидкое стекло–микрочастицы графита» на ограждаемые поверхности. Методом обмазки изготовлены огнестойкие покрытия, выполнены исследования адгезионной способности КМ. Исследования показали, что для деревянных образцов разрушение происходило по границе КМ и подложки по самой структуре в продольном сечении. Трещины в образцах не образовывались. Предельное зафиксированное значение нагрузки составило 1,22 МПа. Результаты проведенных экспериментов показали, что прочность адгезионной связи с железом значительно меньше и составляет 0,2 МПа. Также были изготовлены огнестойкие покрытия альтернативным методом торкретирования, проведены исследования адгезионной способности. Величина нижней границы адгезионной связи огнестойкого КМ для дерева составила 0,8 МПа, прочность связи с железом значительно меньше и составляет 0,1 МПа.

8. На основании результатов проведенных исследований сделан вывод о том, что огнезащитный материал с полученными характеристиками может использоваться в качестве защитного покрытия для машин, применяемых в чрезвычайных ситуациях, что приведет к увеличению сроков эксплуатации, повысит эффективность использования и сохраняемость специализированных лесных машин.

Литература

1. Сосновчик Ю.Ф. Закономерность развития низовых лесных пожаров, метод профилактики и предотвращения распространения низового лесного пожара // Вавиловские чтения - 2017: сб. ст. междунар. науч.-практической конф., посвящ. 130-й годовщине со дня рождения акад. Н.И. Вавилова. М., 2017. С. 259-266.

2. Кустов О.М., Шадаева Л.И., Носякова Е.А. Особенности проведения отдельных следственных действий при исследовании лесных пожаров и установление причин лесных пожаров // Научный взгляд в будущее. 2016. Т. 7, № 4. С. 75-79.

3. Заяц А.М., Логачёв А.А., Андреева З.Н., Моисеев Д.М. Оперативное определение возможного ущерба нанесенного лесным пожаром // Информационные системы и технологии: теория и практика: сб. науч. тр. 2015. С. 35-41.

4. Острошенко В.В., Говорушко С.Н., Громыко С.А., Соколова Г.В., Сухомлинова В.В., Шешуков М.А. Лесные пожары в Приохотье и их воздействие на лесные экосистемы. Пожары в природе как биосферное явление: моногр. Биробиджан: Амур. гос. ун-т, 2013. 211 с.

5. Константинов А.В., Морковина В.В. Лесные пожары как наиболее значимая угроза экономической безопасности лесного сектора // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2016. Т. 4., № 2 (22). С. 319-325.

6. Орловский С.Н., Бердникова Л.Н. Оптимизация технологий и средств пожаротушения при борьбе с лесными пожарами // Вестн. Крас. гос. аг. ун-та. 2018. № 2 (137). С. 84-89.

7. Довгалюк Ю.А., Веремей Н.Е., Торопова М.Л., Синькевич А.А., Куров А.Б., Волков Н.Н., Игнатьев А.А. Особенности эволюции конвективных облаков и осадков в условиях сильного аэрозольного загрязнения атмосферы, вызванного лесными пожарами // Тр. гл. геофиз. обсерватории им. А.И. Воейкова. М., 2018. № 588. С. 7-27.

8. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением N 1) М.: Стандартинформ, 2008.

9. Волкова В.К. Теплофизические свойства композиционных материалов с полимерной матрицей и твердых растворов. М.: Наука, 2011. 101 с.

10. Глухова О.Е., Колесникова А.С., Слепченков М.М., Савостьянов Г.В., Шмыгин Д.С. Перспективный композитный материал на основе нанотрубок и графена для эмиссионной электроники // Нанотехнологии: разработка, применение - XXI век. 2015. Т. 7, № 3. С. 35-41.

11. Maluk C., Terrasi C.P., Bisbya L., Stutz A. Erich Hugi Fire resistance tests on thin CFRP prestressed concrete slabs. Construction and Building Materials. 101. Part 1.2015. P. 558-571.

12. Yue W.W., Tam W.C., Chow W.K. Assessment of radiative heat transfer characteristics of a combustion mixture in a three-dimensional enclosure using RAD-NETT (with application to a fire resistance test furnace). International Journal of Heat and Mass Transfer. 68. 2014. P. 383-390.

13. Schmid J., Klippel M., Just A., Frangi A. Review and analysis of fire resistance tests of timber members in bending, tension and compression with respect to the Reduced. Cross-Section Method. Fire Safety Journal. 68. 2014. P. 81-99.

14. Das A., Kasaliwal G.R., Jurk R., Boldt R., Fischer D., Stöckelhuber K.W. Gert Heinrich Rubber composites based on graphene nanoplatelets, expanded graphite, carbon nanotubes and their combination: A comparative study // Composites Science and Technology. 2012. Vol.72, Is.16, 16 November 2012. P. 1961-1967.

15. Barreto C., Proppe J., Fredriksen S., Hansen E., Rychwalski R.W. Graphite nanoplatelet/pyromellitic dianhydride melt modified PPC composites: Preparation and characterization // Polymer. 2013. Vol. 54, Is. 14, 21 June 2013. P. 3574-3585.

16. Binghao Wang, Yicheng Jiao, Aijuan Gu, Guozheng Liang, Li Yuan Dielectric properties and mechanism of composites by superposing expanded graphite/cyanate ester layer with carbon nanotube/cyanate ester layer // Composites Science and Technology, 2014. Vol. 91, 31 January 2014. P. 8-15.

17. Gostev V.A., Pitukhin E.A., Ustinov A.S., Shelestov A.S. Thermal Insulation Properties Research of the Composite Material “Water Glass – Graphite Microparticles” // IOP Conference series: Materials science and engineering. 2016 1757-899X 123 012018 doi:10.1088/1757-899X/123/1/012018.

18. Ustinov A., Pitukhin E., Pitukhin A. Research of Thermal Stability and Fire-Resistance Properties of the Composite Material "Water Glass-Graphite Microparticles" // *Key Engineering Materials*. 2016. Vol. 744. P. 27-31 doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.744.27.

19. Устинов А.С., Питухин Е.А. Исследование композитного материала «жидкое стекло–микрочастицы графита» методом термогравиметрии // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. 2017. Т. 17, № 5. С. 826–833.

20. ISO 834–12:2012 Fire resistance tests. Elements of building construction. Part 12: Specific requirements for separating elements evaluated on less than full scale furnaces.

21. Химическая энциклопедия. В 5 т. / гл. ред. И.Л. Кнунянц, Н.С. Зефирова. М.: Сов. энциклопедия, 1998. Т. 5. 340 с.

References

1. Sosnovchik Yu.F. Regularity of the development of grassroots forest fires, the method of prevention and prevention of the spread of grassroots forest fire // *Vavilovskie chteniya - 2017: sb. st. mezhdunar. nauch.-prakticheskoy konf., posvyashch. 130-j godovshchine so dnya rozhdeniya akad. N.I. Vavilova*. М., 2017. P. 259-266.

2. Kustov O.M., Shadaeva L.I., Nosyakova E.A. Features of individual investigative actions in the investigation of forest fires and the establishment of the causes of forest fires // *Scientific look into the future*. 2016. Т. 7, № 4. P. 75-79.

3. Zayac A.M., Logachyov A.A., Andreeva Z.N., Moiseev D.M. Operational identification of possible damage caused by forest fire // *Informacionnye sistemy i tekhnologii: teoriya i praktika: sb. nauch. tr.* 2015. P. 35-41.

4. Ostroshenko V.V., Govorushko S.N., Gromyko S.A., Sokolova G.V., Suhomlinova V.V., Sheshukov M.A. Forest fires in Hunting and their impact on forest ecosystems. Wildfires as a biosphere phenomenon: monogr. Birobidzhan: Amur. gos. un-t, 2013. 211 p.

5. Konstantinov A.V., Morkovina V.V. Forest fires as the most significant threat to the economic security of the forest sector // *Aktual'nye napravleniya nauchnyh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika*. 2016. Т. 4, № 2 (22). P. 319-325.

6. Orlovskij S.N., Berdnikova L.N. Optimization of technologies and means of fire-fighting in the fight against forest fires // *The Bulletin of KrasGAU*. 2018. № 2 (137). P. 84-89.

7. Dovgalyuk Yu.A., Veremej N.E., Toropova M.L., Sin'kevich A.A., Kurov A.B., Volkov N.N., Ignat'ev A.A. Features of the evolution of convective clouds and precipitation in conditions of severe aerosol pollution of the atmosphere caused by forest fires // *Tr. gl. geofiz. observatorii im. A.I. Voejkova*. М., 2018. № 588. P. 7-27.

8. GOST 12.1.005-88. Occupational safety standards system. General sanitary requirements for working zone air (s Izmene-niem N 1). М.: Standartinform, 2008.

9. Volkova V.K. Thermophysical properties of composite materials with polymer matrix and solid solutions. М.: Nauka, 2011. 101 p.

10. Gluhova O.E., Kolesnikova A.S., Slepchenkov M.M., Savost'yanov G.V., Shmygin D.S. Promising composite material based on nanotubes and graphene for emission electronics // *Nanotekhnologii: razrabotka, primenenie - XXI vek*. 2015. Т. 7, № 3. P. 35-41.

11. Maluk S., Terrasi C.P., Bisbya L., Stutz A. Erich Hugi Fire resistance tests on thin CFRP prestressed concrete slabs. *Construction and Building Materials*. 101. Part 1. 2015. P. 558-571.

12. Yue W.W., Tam W.C., Chow W.K. Assessment of radiative heat transfer characteristics of a combustion mixture in a three-dimensional enclosure using RAD-NETT (with application to a fire resistance test furnace). *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 68. 2014. P. 383-390.

13. Schmid J., Klippel M., Just A., Frangi A. Review and analysis of fire resistance tests of timber members in bending, tension and compression with respect to the Reduced. Cross-Section Method. *Fire Safety Journal*. 68. 2014. P. 81-99.

14. Das A., Kasaliwal G.R., Jurk R., Boldt R., Fischer D., Stöckelhuber K.W. Gert Heinrich Rubber composites based on graphene nanoplatelets, expanded graphite, carbon nanotubes and their combination: A comparative study // *Composites Science and Technology*. 2012. Vol.72, Is.16, 16 November 2012. P. 1961-1967.

15. Barreto C., Proppe J., Fredriksen S., Hansen E., Rychwalski R.W. Graphite nanoplatelet/pyromellitic dianhydride melt modified PPC composites: Preparation and characterization // *Polymer*. 2013. Vol. 54, Is. 14, 21 June 2013. P. 3574-3585.

16. Binghao Wang, Yicheng Jiao, Aijuan Gu, Guozheng Liang, Li Yuan. Dielectric properties and mechanism of composites by superposing expanded graphite/cyanate ester layer with carbon nanotube/cyanate ester layer // *Composites Science and Technology*, 2014. Vol. 91, 31 January 2014. P. 8-15.

17. Gostev V.A., Pitukhin E.A., Ustinov A.S., Shelestov A.S. Thermal Insulation Properties Research of the Composite Material "Water Glass - Graphite Microparticles" // *IOP Conference series: Materials science and engineering*. 2016 1757-899X 123 012018 doi:10.1088/1757-899X/123/1/012018.

18. Ustinov A., Pitukhin E., Pitukhin A. Research of Thermal Stability and Fire-Resistance Properties of the Composite Material "Water Glass-Graphite Microparticles" // *Key Engineering Materials*. 2016. Vol. 744. P. 27-31 doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.744.27.

19. Ustinov A.S., Pituhin E.A. Research of "water glass - graphite microparticles" composite material on the method of thermogravimetry // *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*. 2017. Т. 17, № 5. P. 826-833.

20. ISO 834–12:2012. Fire resistance tests. Elements of building construction. Part 12: Specific requirements for separating elements evaluated on less than full scale furnaces.

21. Chemical encyclopedia. v 5 t. / gl. red. I.L. Knunyanc, N.S. Zefirov. М.: Sov. ehnciklopediya, 1998. Т. 5. 340 p.