

- O. Galtseva // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 516. – P. 012023.
2. Кокорева А.Е. Контроль точности результатов измерений / А.Е. Кокорева, И.В. Плотникова, О.В. Гальцева, М.В. Китаева // Ползуновский вестник. – 2016. – № 4-2. – С. 84–87.
 3. Пермякова М.Ю. Компьютерное моделирование опыта Франка и Герца / М.Ю. Пермякова, Ю.О. Лобода, В.Г. Тютюрев // Наука и образование. – 2009. – С. 42–45.
 4. Основы векторного анализа цепей / Михаэль Хибель. – пер. с англ. С.М. Смольского; под ред. У. Филипп. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 500 с.
 5. R&S®FSH – Программное обеспечение [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.rohde-schwarz.com/cac/software/fsh/> (дата обращения: 29.11.2023).

УДК 678.019

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ, НАПОЛНЕННЫХ НАНОПОРОШКОМ АЛЮМИНИЯ

Вернер Наталья Дмитриевна, Назаренко Ольга Брониславовна

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

E-mail: vernernataaa@mail.ru

Алексеев Константин Геннадьевич

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Судебно-экспертное учреждение федеральной противопожарной службы «Испытательная пожарная лаборатория»

по Томской области», г. Томск

E-mail: ipltom@mail.ru

Висак Путхенпуракалчира Маниян

Кочинский университет науки и технологий, Индия

E-mail: visagam143@gmail.com

INVESTIGATION OF THE IGNITION TEMPERATURE OF EPOXY COMPOSITES FILLED WITH ALUMINUM NANOPOWDER

Verner Natalya Dmitrievna, Nazarenko Olga Bronislavovna

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk

Alekseev Konstantin Gennadevich

FSBI Forensic Institution of the Federal Fire Service “Test Fire Laboratory”, Tomsk

Visak Puthenpurakalchira Maniyan

Cochin University of Science and Technology, India

Аннотация: статья посвящена исследованию влияния нанопорошка алюминия на температуру воспламенения эпоксидного полимера. С помощью стандартной методики экспериментального определения температуры воспламенения твердых веществ и материалов были исследованы образцы отвержденной эпоксидной смолы ЭД-20 без наполнителя (контрольный образец) и с наполнителем (нанопорошок алюминия). Концентрация введенного в эпоксидную смолу нанопорошка алюминия составляла 0,25 масс.% и 0,5 масс.%. Исследование показало, что добавление 0,25 масс.% нанопорошка алюминия привело к росту температуры воспламенения эпоксидного полимера, а 0,5 масс.% – к снижению температуры воспламенения.

Abstract: this work is devoted to the study of the effect of aluminum nanopowder on the ignition temperature of epoxy resin. Using the standard method of experimental determination of solids and materials, the samples of cured ED-20 epoxy resin without filler (control sample) and with fillers (aluminum nanopowder) were studied. The concentration of aluminum nanopowder introduced

into the epoxy resin was 0.25 wt.% and 0.5 wt.%. The study showed that the addition of 0.25 wt.% aluminum nanopowder led to an increase in the ignition temperature of the epoxy polymer, and 0.5 wt.% led to a decrease in the ignition temperature.

Ключевые слова: эпоксидная смола; нанопорошок алюминия; температура воспламенения; горючесть; термическая стойкость.

Keywords: epoxy resin; aluminum nanopowder; ignition temperature; flammability; thermal stability.

Введение. Эпоксидные полимеры широко применяются в различных сферах жизни, таких как строительство, автомобильная промышленность, электроника. Однако они имеют низкую термическую стойкость, что ограничивает их применение в высокотемпературных условиях. Являясь источником возникновения пожаров и возгораний, эпоксидные композиты могут быть причиной гибели людей, разрушения зданий, сооружений и конструкций. В связи с этим, в настоящее время проводятся исследования различных способов, позволяющих снизить высокую пожарную опасность эпоксидных композитов.

На сегодняшний день разработка полимерных нанокомпозитов является одним из перспективных методов снижения горючести эпоксидных композитов. Достигается это путем введения в композиты специальных добавок наноразмерного диапазона [1]. Полимерные нанокомпозиты считаются новейшим типом функциональных материалов с улучшенными свойствами и впоследствии могут быть использованы в различных отраслях жизни человека.

Цель работы: исследовать влияние нанопорошка алюминия на изменение температуры воспламенения эпоксидного полимера.

В данной работе в качестве полимерного материала использовалась эпоксидная смола ЭД-20 (ГОСТ 10587-84). Для отверждения эпоксидной смолы применялся полиэтиленполиамин (ТУ 2413-357-00203447-99). Как наполнитель был использован нанопорошок алюминия, полученный методом электрического взрыва проводников [2].

Эпоксидная смола ЭД-20 – полимер, имеющий сравнительно небольшую молекулярную массу, по своим физическим свойствам это прозрачная вязкая жидкость желтого либо коричневого цвета, часто без каких-либо примесей и включений. Средняя массовая доля эпоксидных групп в ЭД-20 составляет 20 %. Эпоксидная смола ЭД-20 используется в промышленности и быту за счет своей невысокой стоимости и сочетания полезных и уникальных свойств. Широкое применение ЭД-20 находит в производстве компаундов, композитов, при заливке поверхностей и изготовлении клея и герметика благодаря комплексу таких свойств, как термическая стойкость, большая плотность, повышенная адгезия, низкий удельный вес, прочность, стойкость к воздействию агрессивных сред и влаги, также эпоксидная смола не подвержена усадке [3].

Нанопорошок алюминия – порошок, состоящий на 85–87 % из активного алюминия, на 13–15 % – из оксида алюминия [3]. Получают нанопорошок алюминия путем распыления мощным импульсом электрического тока алюминиевого проводника в атмосфере аргона, с последующим пассивированием медленным потоком сухого воздуха [4]. Нанопорошок алюминия находит применение в пиротехнике, материаловедении, медицине, для гибридных ракетных двигателей [4, 5].

В данной работе в качестве метода исследования применялась стандартная методика экспериментального определения температуры воспламенения твердых веществ и материалов [6]. Метод реализован в диапазоне температур от 25 до 600 °С. За температуру испытания принимались показания термоэлектрического преобразователя, измеряющего температуру образца. В процессе испытаний все записи велись в протоколе испытаний. Максимальное время испытания составляло 20 минут. Если по истечению этого времени образец не воспламенялся или прекращалось дымовыделение, то в протоколе испытаний регистрировался отказ.

Испытания по определению температуры воспламенения проводились на базе ФГБУ «Судебно-экспертного учреждения федеральной противопожарной службы «Испытательная пожарная лаборатория» по Томской области.

Для испытаний по определению температуры воспламенения было изготовлено 15 образцов – три серии по пять образцов. Первая серия – образцы ненаполненной отвержденной эпоксидной смолы; вторая и третья серии – образцы отвержденной эпоксидной смолы, наполненные нанопорошком алюминия с концентрацией 0,25 масс.% и 0,5 масс.%, соответственно.

Приготовление образцов было разбито на 4 этапа.

Первый этап – взвешивание нужного количества ингредиентов шприцем и весами;

Второй этап – смешивание ингредиентов при комнатной температуре;

Третий этап – тщательное перемешивание смеси деревянной палочкой, избавление от комочков и пузырьков воздуха;

Четвертый этап – отверждение образцов при комнатной температуре в течение суток.

Внешний вид полученных образцов изображен на рисунке 1.

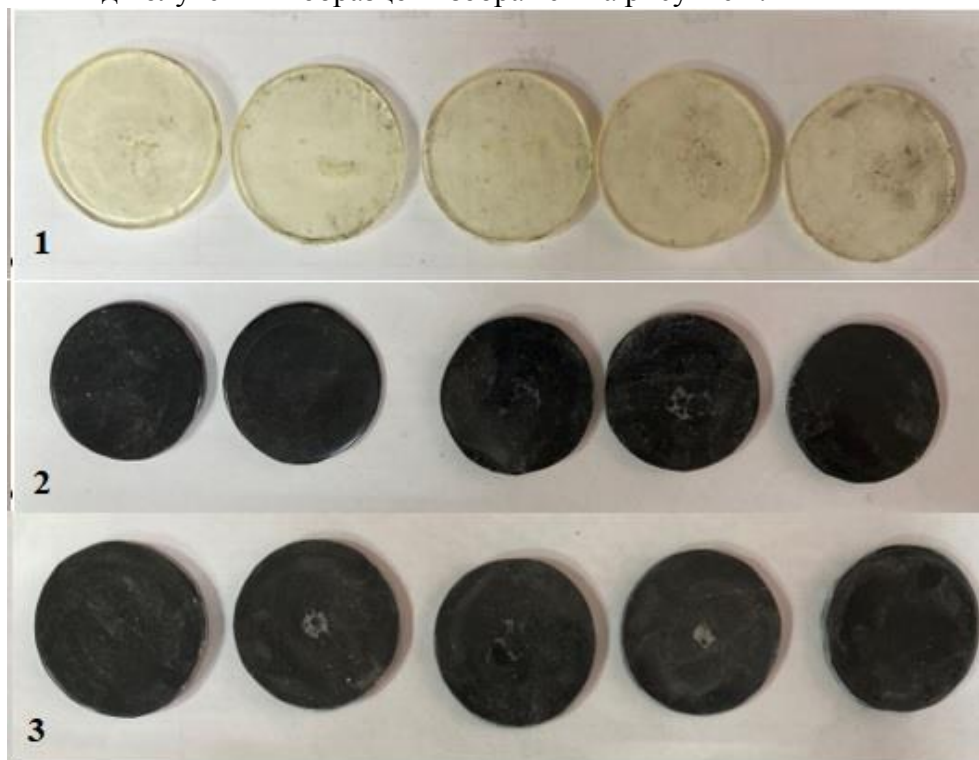


Рисунок 1 – Внешний вид полимерных образцов: 1 – эпоксидный полимер без наполнителя; 2 – эпоксидный полимер, наполненный нанопорошком алюминия 0,25 масс. %; 3 – эпоксидный полимер, наполненный нанопорошком алюминия 0,5 масс. %

До проведения испытаний по определению температуры воспламенения каждый образец был взвешен на весах с точностью до 0,1 г. Остаточная масса образцов после испытаний не была зафиксирована, так как образцы в ходе работы практически полностью сгорали. Также помимо обязательных показателей фиксировались такие наблюдения как потрескивание, температура начала дымовыделения.

При испытании регистрировали следующие показатели: массу образца до испытания m_0 ; температуру установки $T_{уст}$; температуру испытания $T_{исп}$, время испытания.

После проведения испытаний по определению температуры воспламенения эпоксидных композитов была рассчитана средняя температура воспламенения образцов. Результаты представлены в таблице.

Таблица – Результаты испытаний

Образец	Температура воспламенения, °С
ЭД-20	356
ЭД-20+0,25 масс.% НП Al	365
ЭД-20+0,5 масс.% НП Al	351

Диаграмма, отражающая зависимость температуры воспламенения эпоксидного полимера от концентрации нанопорошка алюминия, представлена на рисунке 2. Температура воспламенения образца ЭД-20+0,25 масс.% НП Al увеличилась на 2,5 % по сравнению с температурой воспламенения ненаполненного образца. С ростом концентрации введенного нанопорошка алюминия происходит уменьшение температуры воспламенения на 1,4 % по сравнению с контрольным образцом.

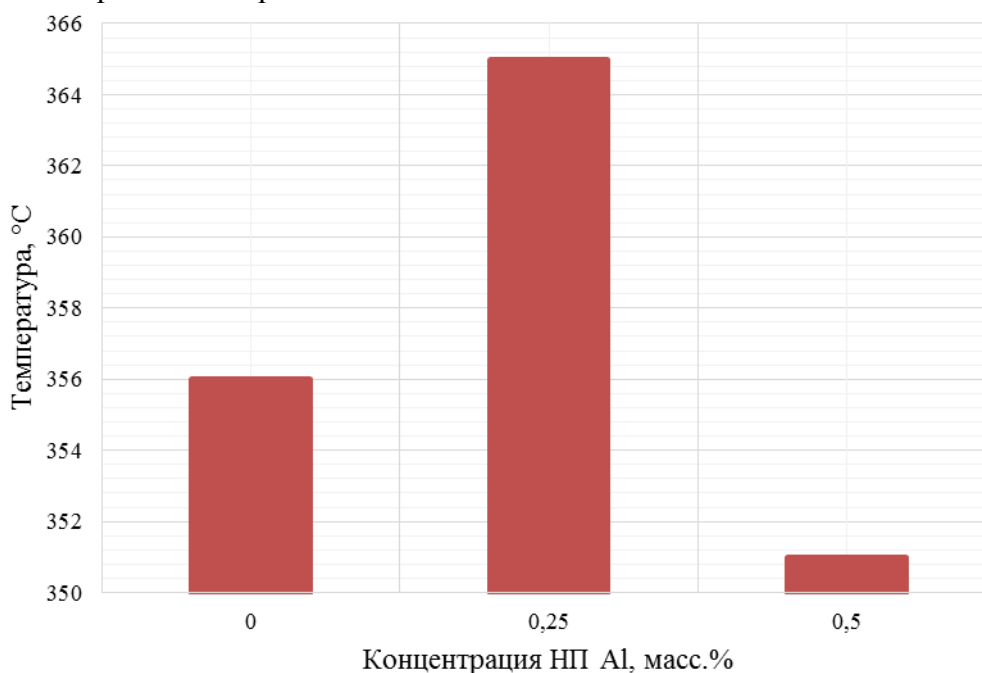


Рисунок 2 – Зависимость температуры воспламенения эпоксидных композитов от концентрации нанопорошка алюминия

Полученный эффект связан с влиянием малых концентраций нанодисперсных добавок: при концентрации нанопорошка алюминия 0,25 масс. % достигается более равномерное распределение частиц в полимерной матрице, наполнитель действует как структурообразователь, обеспечивая более однородную микроструктуру полимера [7], соответственно происходит улучшение свойств композита. При увеличении концентрации увеличивается степень агломерированности наночастиц, агломераты становятся центрами концентрации механических напряжений в структуре полимера, повышая дефектность, температура воспламенения эпоксидных композитов с менее упорядоченной структурой снижается.

Список литературы

1. Шашок, Ж.С. Применение углеродных наноматериалов в полимерных композициях / Ж.С. Шашок, Н.Р. Прокопчук. – Минск: БГТУ, 2014. – 232 с.
2. Назаренко О.Б. Электровзрывные нанопорошки: получение, свойства, применение / О.Б. Назаренко. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2005. – 148 с.
3. Воробьев А. Эпоксидные смолы / А. Воробьев // Компоненты и технологии. – 2003. – № 34. – С. 170–173.
4. Громов А.А. Пассивирующие покрытия на частицах электровзрывных нанопорошков алюминия (обзор) / А.А. Громов, Ю.И. Строкова, А.А. Дитц // Химическая физика. – 2010. – Т. 29. – № 2. – С. 77–91.

5. Гусейнов Ш.Л. Нанопорошки алюминия, бора, боридов алюминия и кремния в высокоэнергетических материалах / Ш.Л. Гусейнов, С.Г. Федоров. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью «ТОРУС ПРЕСС», 2015. – 256 с.
6. ГОСТ 12.1.044-2018. ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения: введен 01.05.2019. – Москва : Стандартиформ, 2018. – 195 с.
7. Егоренков Н.И. О влиянии дисперсных добавок на свойства полимеров / Н.И. Егоренков, В.А. Грожин, В.А. Белый // Высокомолекулярные соединения. – 1974. – Т. 16. – № 3. – С. 169–171.

УДК 658.5

ПОДГОТОВКА К РЕСЕРТИФИКАЦИОННОМУ АУДИТУ КАК ИНСТРУМЕНТ УЛУЧШЕНИЯ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА

Долгая Дарья Александровна, Шорохова Мария Геннадьевна, Працюк Денис Юрьевич
Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск
E-mail: mari_kambalina@mail.ru

PREPARATION FOR A RECERTIFICATION AUDIT AS A TOOL FOR IMPROVING THE QUALITY MANAGEMENT SYSTEM

Dolgaya Daria Aleksandrovna, Shorokhova Maria Gennadevna, Pratsyuk Denis Yurievich
National Research Tomsk State University, Tomsk

Аннотация: статья освещает этапы подготовки предприятия по изготовлению медицинского оборудования к ресертификационному аудиту. Одним из важных этапов подготовки является диагностический внутренний аудит. Внутренний аудит позволяет провести не только работу с несоответствиями, но и реализовать улучшения. По итогам аудита были выявлены не только несоответствия, но и идентифицированы, а затем оценены риски. В рамках реализации улучшений авторами рассмотрен вспомогательный процесс – сервисное обслуживание медицинских изделий. Результатом реализации улучшения является кратное увеличение проведенного технического обслуживания единиц оборудования с сохранением стоимости затрат на прежнем уровне.

Abstract: the article covers the stages of preparing an enterprise for the production of medical equipment for a recertification audit. One of the important stages of preparation is a diagnostic internal audit. Internal audit allows you to not only work with inconsistencies, but also implement improvements. As a result of the audit, not only inconsistencies were identified, but also risks were identified and then assessed. As part of the implementation of improvements, the authors considered an auxiliary process - servicing of medical devices. The result of the improvement is a multiple increase in the maintenance of equipment units while maintaining the cost of expenses at the same level.

Ключевые слова: ресертификационный аудит, внутренний аудит, медицинское оборудование, техническое обслуживание, улучшение.

Keywords: recertification audit, internal audit, medical equipment, maintenance, improvement.

Соответствие продукции важно во всех отраслях промышленности, но особое значение имеет разработка и производство медицинских изделий, поэтому всем производителям рекомендовано внедрять стандарт ГОСТ ISO 13485-2017 (ISO 13485:2016) [1–3]. Сертификация по ГОСТ ISO 13485-2017, как правило, является добровольной [4].

Объектом исследования является компания, которая занимается научными разработками в области лазерной медицины и световой оптики. В 2021 году компания прошла этап сертификации и получила сертификат соответствия. Но, помимо того, что система