

Научная статья

УДК 614.841

doi: 10.34987/2712-9233.2023.13.35.014

Полимерные материалы: классификация и методы пожарно-технического исследования

Субраков Айвар Артурович, Кабакова Екатерина Сергеевна

Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Железногорск, Россия

Автор ответственный за переписку: Екатерина Сергеевна Кабакова, kabakova00@yandex.ru

Аннотация: В статье рассмотрена классификация полимерных материалов. Можно отметить, что полимерные материалы широко применяются во многих областях человеческой деятельности, удовлетворяя потребности различных отраслей промышленности, сельского хозяйства, медицины, культуры и быта. В связи с этим стоит отметить что полимеры обладают высокой горючестью. Показано, что основными методами исследования полимеров в целях пожарно-технической экспертизы являются методы термического анализа.

Ключевые слова: полимеры, полимерные материалы, пожарная опасность, тление, горение, термический анализ.

Для цитирования: Субраков А.А., Кабакова Е.С. Полимерные материалы: классификация и методы снижения их горючести // Актуальные проблемы безопасности в техносфере 2023. № 3 (11). С. 78-82. <https://doi.org/10.34987/2712-9233.2023.13.35.014>.

Polymer materials: classification and methods for reducing their flammability

Aivar A. Subrakov, Ekaterina S. Kabakova

Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russia

Corresponding author: Ekaterina S. Kabakova, kabakova00@yandex.ru

Abstract. The article discusses the classification of polymer materials. It can be noted that polymer materials are widely used in many areas of human activity, satisfying the needs of various industries, agriculture, medicine, culture and everyday life. In this regard, it is worth noting that polymers are highly flammable. It is shown that the main methods of studying polymers for the purposes of fire-technical examination are thermal analysis methods.

Key words: polymers, polymeric materials, fire hazard, smoldering, combustion, thermal analysis.

For citation: Subrakov A.A., Kabakova E.S. Polymer materials: classification and methods for reducing their flammability // Actual problems of safety In the technosphere 2023. No. 3 (11). P. 78-82. <https://doi.org/10.34987/2712-9233.2023.13.35.014>.

Искусственные и синтетические полимеры широко используются в различных отраслях промышленности в качестве замены дефицитных и дорогих металлов, сплавов и натуральных волокон. Они позволяют создавать новые материалы, такие как фильтры, изоляция, резиновые изделия, волокна, мембраны, пленки и покрытия. Однако одним из основных недостатков полимеров является их воспламеняемость, что увеличивает риск возгорания при их использовании в строительстве и других целях. Понимание поведения этих материалов при тепловом воздействии имеет решающее значение для расследования пожара и определения источника пожара. Полимеры стали повсеместно использоваться в технологиях, здравоохранении и повседневной жизни, при этом регулярно встречаются пластмассы, каучуки и синтетические волокна [1].

Мировое производство полимеров в настоящее время составляет около 124 миллионов тонн в год.

Полимеры — это высокомолекулярные соединения, состоящие из атомов углерода, водорода и других химических элементов, соединенных химическими связями, образующих линейные, разветвленные или трехмерные структуры.

Полимеры по своему происхождению делятся на природные (биополимеры), такие как белки, нуклеиновые кислоты, целлюлоза, крахмал, природные смолы и подобные им соединения, и синтетические, такие как полиэтилен, полипропилен, фенолформальдегидная смола и другие. Атомы или группы атомов могут находиться в макромолекуле в форме открытой цепи или длинной последовательности циклов, а также в виде разветвленной цепи или трехмерной сети. Полимеры, молекулы которых состоят из одинаковых мономерных звеньев, называются гомополимерами [2].

В зависимости от состава основной цепи полимеры делятся на: гомоцепные, содержащие атомы только одного химического элемента, как правило атома углерода, реже кремния и гетероцепные, основная цепь которого содержит наряду с атомами углерода атомы различных элементов, таких как атомы азота, кремния, фосфора. Из гомоцепных полимеров наиболее распространены полимеры с углеродной цепью, структура которых состоит только из атомов углерода, например полиэтилен, полиметилметакрилат и политетрафторэтилен. Примерами гетероцепных полимеров являются полиэфир (полиэтилентерефталат, поликарбонат), полиамиды, карбамидоформальдегидная смола, белки и некоторые кремнийорганические полимеры. Такие полимеры, в которых макромолекулы, вместе с углеводородными группами содержат атомы неорганических элементов, называются элементоорганическими. Неорганические полимеры образуют собственную группу полимеров, например, пластичная сера, полифосфонитрилхлорид. [3].

На практике и в литературе используется несколько способов разделения полимерных материалов, основанных на следующих параметрах:

- происхождение – природные, искусственные, синтетические;
- механизм синтеза – полимеризационные, поликонденсационные;
- способ синтеза – суспензионные, эмульсионные, блочные или массовые;
- поведение при воздействии высоких температур – термопласты, реактопласты;
- химическое строение – органические и неорганические или карбоцепные, гетероцепные, элементоорганические и неорганические;
- конечный продукт – олигомеры, полимеры, пластические массы или полимерные материалы;
- величина деформационных характеристик – жёсткие, полужёсткие, мягкие и эластичные;
- область применения – так называемые потребительские ряды – самый широкий спектр для классификации.

Больше всего развита классификация полимеров, которая была основана на химическом строении [4]. В соответствии с данными пятью ступенями детализации основана последовательность деления полимеров по соответствующим признакам классификации.

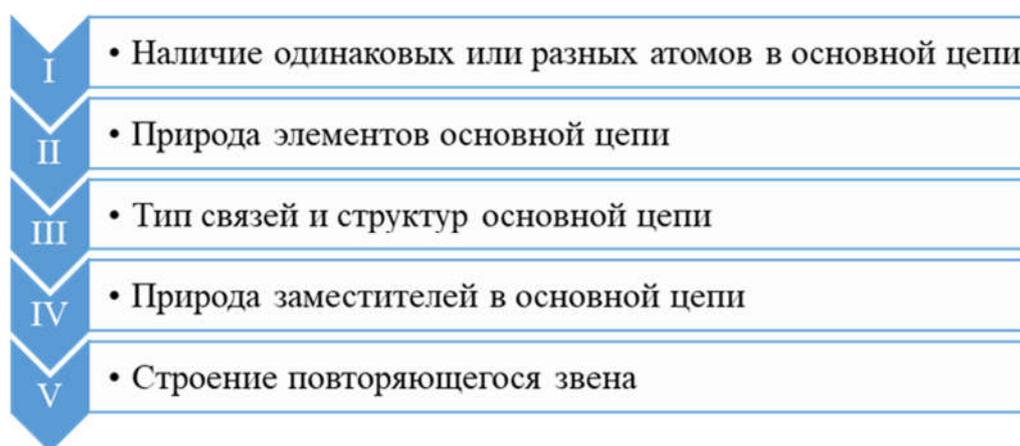


Рис. 1. Степени детализации последовательности деления полимеров

Характеристики полимеров играют решающую роль в определении их свойств. К особым механическим свойствам относятся эластичность (способность резины подвергаться обратимым деформациям), низкая хрупкость стеклообразных и кристаллических полимеров (пластмассы, органическое стекло), способность макромолекул ориентироваться под действием направленного механического поля (применяется при производстве волокон и пленок). Растворы полимеров обладают высокой вязкостью при низкой концентрации полимера, а растворение происходит через стадию набухания. Особые химические

свойства включают в себя способность резко изменять свои физико-механические свойства под воздействием небольших количеств реагента.

Природные полимеры образуются в клетках живых организмов в процессе биосинтеза. Их можно выделить из растительного и животного сырья путем экстракции, фракционного осаждения и других процедур. Синтетические полимеры получают в результате полимеризации и поликонденсации. Карбоцепные полимеры обычно получают путем полимеризации мономеров с одной или несколькими полосами или мономеров с нестабильными карбоциклическими группами (например, из циклопропана и его производных), гетероцепных полимеров, полученных поликонденсацией, и полимеризацией мономеров с несколькими связями углеродного элемента. (например, $C = O$, $C = N$, $N = C = O$) или нестойкие гетероциклические группы.

Полимерные материалы из-за своей органической природы обладают высоким потенциалом для возникновения и распространения пожаров, а также проявления опасных факторов пожара, которые могут привести к гибели людей и материальному ущербу.

Горение полимерных материалов, которое является доминирующим процессом в подавляющем большинстве современных пожаров, представляет собой сложное явление, включающее тепломассообмен, газовую динамику, кинетику химических реакций в конденсированной и газовой фазах, а также на их граничных поверхностях, на масштабность и другие факторы. Широкий спектр полимерных материалов с точки зрения химической структуры и состава, их многокомпонентный состав, сочетание с другими материалами в конструкции продукта или конкретном конечном использовании, разнообразие физических форм с одинаковым составом определяют специфику возникновения, развития и последствий пожаров с полимерными материалами [7].

В ходе горения полимерных материалов могут выделяться различные по своему составу продукты. Чаще всего продуктами горения полимеров являются оксид углерода II (угарный газ), хлористый водород, который при растворении в воде проявляет кислотные свойства (соляная кислота – раствор хлороводорода в воде), циановодород (синильная кислота – водный раствор), фтороводород и акролеин.

Научно обоснованное комплексное определение существенных свойств пожароопасности полимерных материалов, стандартизация их противопожарного использования в конкретных целях и прогнозирование поведения в реальных пожарных ситуациях являются важными научно-прикладными аспектами общей актуальной проблемы противопожарной безопасности различных объектов.

Для исследования температурного воздействия на вещества и материалы применяют методы термического анализа. Рассмотрим два варианта термического анализа, применяемых для исследования полимерных материалов.

а) Термогравиметрический анализ (ТГ)

Термогравиметрический анализ — это динамический метод, который включает в себя непрерывное взвешивание образца полимера при изменении температуры с постоянной скоростью нагрева или постоянной температурой во времени (Рис. 2). Однако кривая ТГ дает лишь приблизительную информацию о начале и конце разложения, что затрудняет точное определение температуры разложения. Эта задача еще более усложняется, когда последовательно или одновременно протекают множественные реакции разложения с изменением массы. Точную температуру химической реакции можно определить, используя дифференциальную систему обозначений, которая представляет скорость изменения массы образца в зависимости от времени нагрева t .

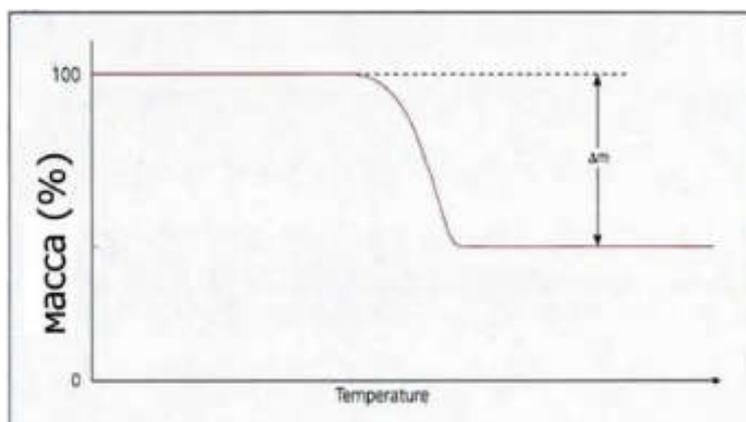


Рис. 2. Схематическая кривая термогравиметрии полимера

б) Дифференциальный термический анализ (ДТА)

Метод дифференциального термического анализа – метод физико-химического анализа применяющийся для анализа полимерных материалов и изучения изменений, происходящих в них при нагревании или охлаждении (Рис. 3). Этот метод предполагает сравнение разницы температур между исследуемым полимером и стандартным веществом, например триоксидом алюминия, при нагревании обоих в одинаковых температурных условиях с определенной скоростью. Его обычно используют для определения температур стеклования, плавления, кристаллизации и разложения полимеров.



Рис. 3. Схематическая кривая дифференциально-термического анализа полимера

Кривые ТГ и ДТА предоставляют ценную информацию для оценки термического повреждения полимерного материала во время пожара. Они также дают представление о различных аспектах пожарной экспертизы, таких как определение воспламеняемости и поведения материала при различных температурах, даже при очень небольших размерах образцов.

Количественная оценка точного теплового эффекта процесса по кривой ДТА является сложной задачей из-за различных внешних факторов, влияющих на кривую. Однако ДТА полезен для качественного сравнения различных образцов полимеров и изучения смесей кристаллизующихся и некристаллизующихся полимеров. Для сравнения кристаллизации полимеров площади пиков эндотермического процесса можно измерить планиметром или взвешиванием срезов соответствующих диаграмм на аналитических весах. ДТА обычно используется для определения температурного диапазона и температуры плавления полимеров. Начало резкого отклонения дифференциальной кривой указывает на начало плавления, а температура, соответствующая максимуму пика, представляет собой температуру плавления.

Одним из основных недостатков ДТА является то, что на результаты влияют конструкция прибора и условия подготовки проб, что затрудняет количественное описание процессов.

Метод термогравиметрического (термического) анализа широко применяется не только при пожарно-технических исследованиях, но и в различных других областях. Этот подход предлагает более простой и доступный способ понять поведение полимерных материалов при различных температурах, точно определяя степень термического повреждения, которому они подвергаются.

Этими методами пользуются также при изучении теплоплавления, испарения, кристаллизации, теплореакций, теплоразложения, энтропий переходов, энергий твердофазных переходов.

Таким образом, нами рассмотрена классификация полимеров по различным признакам, а также рассмотрены методы термического анализа, применяемые в пожарно-технической экспертизе полимеров. Данный метод широко применяется не только в пожарно-технической экспертизе. Метод термогравиметрического (термического) анализа является более простым и доступным, позволяющий с определенной точностью определить поведение полимерных материалов при нагревании до различных температур, дать количественную оценку степени термического поражения.

Список источников

1. Циркина, О. Г. Производство химических волокон / О. Г. Циркина // метод. указ. – Иваново, 2010. – 65с.
2. Хасбулатова З.С. Природные полимеры / З.С. Хасбулатова // учеб. пособ. – Грозный, 2012. – 82с.
3. Кейбал Н.А. Материаловедение. Полимерные материалы // Н.А. Кейбал, Т.В. Крекалева // учеб. пособ. – Волжский, 2019. – 64с.

4. Коршак В.В. Общая классификация полимеров и ее применение для поиска информации о полимерах / В.В. Коршак, Н.А. Платэ, Т.Л. Ренард // ЖВХО им. Д. И. Менделеева. 1977. Т. 22. № 4. С. 393-397.

5. Багажков И.В. Пожароопасность отделочных полимерных материалов, применяемых в помещениях с массовым пребыванием людей / И.В. Багажков, М.В. Клюев // статья в сборн. труд. конференц. – Иваново, 2019. – 9-13с.

Статья поступила в редакцию 25.09.2023; одобрена после рецензирования 02.10.2023, принята к публикации 02.10.2023.

The article was submitted 25.09.2023, approved after reviewing 02.10.2023, accepted for publication 02.10.2023.