

Рассмотренные в статье методы исследования и объектно-ориентированная модель являются необходимым инструментарием разработки эффективной информационной системы управления городской инженерной сетью. Они реализуют первые четыре этапа предложенной методики проектирования. Последующие этапы здесь не рассматриваются, так как они могут сильно варьироваться в конкретных условиях вследствие их сильной зависимости от выбранной программной и аппаратной платформы, а также от вида инженерной сети технической оснащенности предприятия.

Получено 21.01.2003

УДК 536.4

С.Е.СЕЛИВАНОВ, д-р техн. наук, Д.Д.САРАХМАНОВ
Национальный автомобильно-дорожный университет, г.Харьков

ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Рассматривается горение полимерных материалов как явление, состоящее из ряда последовательно переходящих один в другой процессов, каждый из которых к тому же взаимосвязан с другими и является многостадийным.

Понятие "горение" является довольно обширным, включает в себя совокупность сложных физических и химических процессов. Сам термин "горение" не однозначен, ему дано несколько отличающих одно от другого определений. Одно из них сформулировано А.Н.Баратовым [1]: "Горение представляет собой сложный физико-химический процесс превращения горючих веществ и материалов в продукты горения, сопровождающийся выделением тепла и света". Эта формулировка, как и другие, не дает четкой трактовки горения, поскольку не раскрывает, что из себя представляет сложный физико-химический процесс и т.д. Поэтому некоторые специалисты считают, что термину "горение" трудно дать всеобъемлющее определение.

В таблице приведены процессы и стадии, протекающие при горении веществ и материалов.

Основные научные положения развитой теории горения приемлемы к горению полимерных материалов. Горение полимерных материалов представляется как процесс, имеющий тепловую природу, поскольку причиной его возникновения и развития является в основном тепловыделение, поэтому при исследовании горения полимерных материалов рассматриваются физика и химия горения. Физика горения сводится к рассмотрению процессов тепло- и массообмена в реагирующей системе. Химия горения заключается в протекании окисли-

тельно-восстановительных реакций, состоящих обычно из целого ряда элементарных актов.

Процессы и стадии горения веществ и материалов

Процессы			
Низкотемпературное (предпламенное) окисление	(Само)воспламенение	Горение	Образование продуктов (полноты) сгорания
Стадии (показатели)			
Прогрев (неупорядоченный режим, регулярный режим нагревания). Деструкция (потеря массы, концентрация летучих). Химические реакции (скорость реакции, энергия активации). Изменение состава окружающей среды. Образование электрических полей.	Период индукции – задержка (само)воспламенения (время прогрева, период "химической индукции"). Температура самовоспламенения и воспламенения. Виды реакций (конденсированная, гетерогенная реакция на поверхности, газофазная). Режимы: кинетический, диффузионный.	Стадийность. Скорость. Интенсивность потоков энергии (массы). Устойчивость. Вибрационное (автоколебательное). Температура пламени. Детонация.	Состав газа. Дисперсность. Полнота.

На практике возможны самые разнообразные условия возникновения процесса горения полимерных материалов. Такими условиями могут быть самоускоряющаяся химическая реакция, протекающая во всем объеме материала, которая приводит к самовоспламенению материала, или самоускоряющаяся химическая реакция, происходящая не во всем объеме материала, а лишь на участке (например, в поверхностном слое) локального подвода тепла, которая приводит к воспламенению этой части объема, после чего остальной объем материала воспламеняется без внешнего вмешательства.

Горение полимерных материалов возможно в результате экзотермической самоускоряющейся реакции окисления, протекающей в конденсированной фазе (конденсированная система – это система, состоящая только из твердых или жидких фаз, а также их смесей, не содержит газообразных частей), самоускоряющейся экзотермической реакции, которая протекает на поверхности раздела между твердым материалом и газообразным окислителем (т.е. гетерогенной реакции на поверхности) или экзотермической реакции газообразных продуктов

разложения полимеров с газообразным окислителем (т.е. в газовой фазе).

В эксперименте это можно представить следующим образом. Пусть поверхностный слой полимерного материала под действием тепла нагревается до температуры, при которой начинаются физические и химические превращения в конденсированной фазе. Критерием самовоспламенения является условие нарушения стационарного распределения температуры в материале. Для описания процесса самовоспламенения и воспламенения материала в конденсированной фазе используется аппарат классической тепловой теории [2].

Дальнейший подвод тепла приводит к термическому и термоокислительному разложению и газификации полимерного материала. Образовавшиеся горючие газообразные продукты разложения материала поступают (диффундируют) в газовую фазу, где смешиваются с окружающим газообразным окислителем и реагируют с ним. Самоускоряющаяся экзотермическая реакция, приводящая к возникновению пламени, таким образом, осуществляется в газовой фазе. Газофазную область, в которой происходят реакции превращения горючих летучих веществ в продукты сгорания, называют пламенем. Она обычно характеризуется видимым излучением. Пламя полимерных материалов рассматривают как диффузионное, по признаку смещения горючего и окислителя в реакционной зоне. В отличие от горения конденсированных систем, где часть физико-химических превращений (нагревание, плавление, испарение, начальное разложение и взаимодействие реагентов) может происходить вне пламени непосредственно в исходном образце и на его поверхности, горение газофазных систем всегда сопровождается пламенем. Газофазная теория основана на рассмотрении одномерных моделей воспламенения полубесконечной пластины горючего вещества в газообразном окислителе. Модели математического описания газофазного воспламенения предполагают, что тепло в газовой фазе выделяется за счет экзотермической реакции второго порядка. Газификация полимерного материала осуществляется в результате одноступенчатой эндотермической реакции нулевого порядка. Условия на поверхности газифицирующего горючего зависят от источника воспламенения (нагретый газ, лучистый поток). В моделях газофазного воспламенения полимерных материалов принимается, что воспламенение происходит при достижении температуры поверхности критической величины, при которой возможна интенсивная газификация полимера, или реализуется достаточно большая скорость роста температуры. Известно, что полимерный материал воспламеняется при достижении критической скорости выделения горючих газов пиролиза. Раз-

вите самоускоряющейся реакции воспламенения сопровождается изменение знака градиента температуры в газовой фазе вблизи поверхности. Момент воспламенения отвечает условию равенства тепловыделения за счет экзотермической газофазной реакции местным тепловым потерям.

Воспламенение полимерных материалов в среде газофазного окислителя, например, воздуха, чаще всего рассматривают с позиции теорий воспламенения в газовой фазе. В аналитической модели учитывают диффузию горючего от поверхности и диффузию окислителя к поверхности. Однако возможны условия, при которых воспламенение полимерных материалов происходит вследствие протекания чисто гетерогенной реакции взаимодействия кислорода или другого окислителя с поверхностным слоем. Андерсоном и др. [3] рассмотрены два типа гетерогенного воспламенения:

1) внешний нагрев отсутствует, экзотермическая реакция на поверхности начинается спонтанно при комнатной температуре сразу после контакта окислителя с поверхностью твердого тела;

2) гетерогенная реакция газообразного окислителя и твердого горючего протекает под влиянием внешнего нагрева.

В начальном состоянии система рассматривается как инертная. К первому типу гетерогенного воспламенения относят воспламенение полимерных материалов (веществ) в среде чрезвычайно активных газообразных окислителей при равных начальных температурах горючего и окислителя. Ко второму типу относят воспламенение высокомолекулярных соединений в среде менее активных газообразных окислителей. Процесс осуществляется в условиях, при которых исключено протекание экзотермической самоускоряющейся реакции между газообразными продуктами разложения горючего и газообразным окислителем.

Гетерогенный механизм воспламенения полимеров реализуется и в том случае, когда воспламенение в газовой фазе подавлено (что возможно удалением газообразных продуктов, способных воспламениться в газовой фазе, из зоны с увеличением скорости потока окислителя), а массовая концентрация продуктов пиролиза в диффузионном слое над поверхностью полимерного образца значительно ниже концентрационных пределов воспламенения бедных смесей углеводородных соединений. Возникновение горения вследствие гетерогенной реакции на поверхности вещества в целом определяется кинетикой этой реакции, условиями тепло- и массообмена горючего и окислителя на поверхности. Математическое описание этого нестационарного процесса включает систему нелинейных дифференциальных уравнений, состав-

ленных с учетом диффузии газообразного окислителя и продуктов разложения вещества, могущих служить окислителем. Д.А.Франк-Каменецкий [2], анализируя тепловой режим поверхности при протекании гетерогенной реакции, показал, что гетерогенное воспламенение твердого горючего неизбежно связано с переходом реакции из кинетической области протекания в диффузионную. Гетерогенные реакции приобретают важное значение в случае полимеров, обладающих повышенной склонностью к карбонизации при горении. Таким типичным карбонизирующимся является эпоксидный полимер.

Таким образом, горение полимерных материалов зависит от кинетических параметров химических процессов, протекающих при горении, а также от коэффициента диффузии горючих летучих веществ из материала в газовую фазу, в которой собственно и развивается горение. Во многих исследованиях гетерогенного горения полимерных материалов указывается на существенную роль диффузии [4]. Конечно, в зависимости от структуры полимерного материала, характера его термического разложения, присутствия различных добавок и наполнителей, условий воспламенения и горения будут преобладать те или иные направления процесса. Например, при горении одних полимерных материалов наблюдается интенсивное каплепадение (пенопласты), при горении других преобладает коксообразование (эпоксидные полимеры), кроме того, полимерные материалы сильно различаются по интенсивности саже- и дымообразования. Тем не менее, горение полимеров начинается эндотермической стадией деструкции с образованием остатка и горючих газов, затем происходит экзотермическое сгорание этих газов. Выделяющееся тепло частично уносится, а в основном расходуется на термическую деструкцию новой порции полимера. При таком взгляде на горение полимерных материалов ясно видна связь между термическим разложением и горением, термостабильностью и горючестью.

Краткое рассмотрение основных научных положений теории горения полимерных материалов показывает, что многие вопросы процесса физики горения освещены еще недостаточно. К ним относятся (см. таблицу) процессы в предпламенной зоне – прогрев и деструкция полимерных материалов (особенно наполненных полимеров), условия газофазного воспламенения и горения газифицирующихся ПКМ, устойчивость к воспламенению наполненных полимеров при ударной тепловой нагрузке, влияние поверхностной термообработки ПКМ на процесс их горения. Разработка научных подходов описания этих процессов позволит прогнозировать пожароопасность ПКМ, а в некоторых случаях (при применении ПКМ пониженной горючести) прогно-

зировать условия их эксплуатации, исключая возможность возникновения и распространения пожара.

1. Баратов А.Н., Андрианов Р.А., Корольченко А.Я. и др. Пожарная опасность строительных материалов. – М.: Стройиздат, 1988. – 381 с.

2. Франк-Каменецкий Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Наука, 1967. – 491 с.

3. Anderson R., Brown R.S., Shannon L.T. AIAA J., 1964, V.2, №1, – P. 52.

4. Кодолов В.И. Горючесть и огнестойкость полимерных материалов. – М.: Химия, 1976. – 157 с.

Получено 18.12.2002

УДК 628.1.147

В.А.ТКАЧЕВ, Е.Б.СОРОКИНА, кандидаты техн. наук
Харьковская государственная академия городского хозяйства

ИТОГИ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ "ВОДА, ЭКОЛОГИЯ, ОБЩЕСТВО"

С 12 по 14 ноября 2002 г. в Харьковской государственной академии городского хозяйства проходила Международная научно-практическая конференция "ВОДА, ЭКОЛОГИЯ, ОБЩЕСТВО".

Основные научные направления конференции:

- замкнутые и малоотходные процессы водоподготовки (в том числе создание замкнутых и малоотходных процессов водоподготовки с целью снижения влияния отходов очистных сооружений на окружающую среду, уменьшение расходов на материалы при водоподготовке и энергоресурсы);
- биотехнология очистки воды;
- локальные системы очистки воды для домов и квартир;
- современные методы анализа и контроля качества воды; компьютерные технологии в процессах очистки воды;
- методы обучения и образования в сфере водоснабжения, водоотведения, экологии, устойчивого развития; вопросы экофилософии и социальные проблемы; вопросы экономики, экологии и энергосбережения;
- проблемы надежности и устойчивого жизнеобеспечения городов.

Оргкомитет конференции возглавил ректор академии, профессор, действительный член Академии строительства Украины Л.Н.Шутенко.

Активное участие в работе конференции приняли ученые, аспиранты и научные сотрудники из Харькова, Киева, Мелитополя, Ровно, Одессы, Донецка, Луганска, Макеевки, а также Белгорода, Липецка (Российская Федерация), Вааса (Финляндия), университета Аберти