

вызывает рост d_{γ_2} от 1230 до 3120 мкм и уменьшение d_{γ_1} от 8 до 2,57 мкм. Для модели с одной реакцией такое же изменение $C_{ок}$ приводит к росту d_{γ_2} от 730 до 2200 мкм. Снижение температуры стенок практически не влияет на d_{γ_1} и увеличивает d_{γ_2} .

Таким образом, показано, что учет теплообмена излучением и протекания второй реакции приводит к качественно и количественно новым закономерностям гетерогенного воспламенения, потухания, горения и вырождения критических условий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Калинин В.В., Орловская С.Г. // ИФЖ. — 1988. — 55, № 2. — С. 232.
2. Орловская С.Г., Калинин В.В. Критические режимы тепло- и массообмена при параллельных реакциях на поверхности частицы // ФГВ. — 1990. — 26, № 1. — С. 115.
3. Блошенко В.М., Хайкин В.И. Роль теплопотерь излучением в процессе воспламенения частиц металлов // Там же. — 1975. — 11, № 5. — С. 738.
4. Калинин В.В., Орловская С.Г., Калинин А.И. // ИФЖ. — 1992. — 62, № 3. — С. 436.
5. Бабий В.И., Куваев Ю.С. Горение угольной пыли и расчет пылеугольного факела. — М.: Энергоиздат, 1986.
6. Практическая теория горения / Под ред. В.В. Померанцева. — М.: Энергоатомиздат, 1986.
7. Дубинский А.В., Калинин В.В., Чесноков М.Н. Физика аэродисперсных систем. — Киев — Одесса, 1991. — Вып. 34.

270074, г. Одесса,
Госуниверситет

Поступила в редакцию 9/VI 1993,
после доработки — 25/XI 1993

УДК 531.3:542.921

О.Ф. Шленский

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУР ДОСТИЖИМЫХ ПЕРЕГРЕВОВ КОНДЕНСИРОВАННЫХ ВЕЩЕСТВ В УСЛОВИЯХ ТЕРМОРАЗЛОЖЕНИЯ

Для определения температур достижимых перегревов конденсированных веществ в процессе их терморазложения предложено использовать контактные методы термического анализа, позволяющего получить наиболее высокие скорости нагрева образцов до постоянной температуры, при которой производятся испытания в изотермических условиях. Приведены результаты определений предельных температур терморазложения ряда веществ полимерного и неполимерного строения. Выполнено сопоставление с литературными данными, которые показывают удовлетворительную точность методики испытаний.

Для оптимизации интенсивных химических технологий, например плазмохимических, необходимо знание кинетических параметров терморазложения перерабатываемых продуктов в условиях быстрого нагрева, а также реакций взаимодействия между собой и теплоносителем. Это дает возможность выполнять тепловые и технологические расчеты, проводить проектирование основных узлов реакторов, определять размеры трактов подвода и отвода продуктов, параметры потока плазмы и т.д. Технологические задачи приходится решать при выборе режимов взаимодействия потоков газа с материалом тепловой защиты летательных аппаратов, при взаимодействии материалов во время термической обработки с пламенами, потоками продуктов сгорания газогенераторов и горелок, излучением лазера (резка, сварка, закалка и т.п.).

При математическом моделировании указанных процессов помимо обычных параметров кинетики терморазложения (энергии активации, частотного фактора, числа стадий реакции, порядков реакций) часто возникает необходимость учитывать температуру достижимых перегревов материалов и

© О.Ф. Шленский, 1994.

Вещество	ТДП, °С	Вещество	ТДП, °С
Нитрата алюминия нонагидрат	562	Калия ортофосфат	480
Пимелиновая кислота	340	Колеманит (минерал)	400
Древесина сосны	540	Перманганат калия	370
Пальмитиновая кислота	515	Сульфата меди пентагидрат	320
Полиэтилен низкой плотности	500	Бура	320
Целлулоид	500	Калия гидрокарбонат	292
Канифоль	495	Натрия гидрокарбонат	282
Сахароза	490	Толуол (испарение)	253
Бензол (испарение)	204	Хлороформ (испарение)	173

веществ, определяемую верхней термодинамической границей термостабильности вещества (линией спинодали, которая находится из условия равенства нулю второй вариации одного из термодинамических потенциалов, например $\delta^2 G = 0$, где G — потенциал Гиббса, [1]).

Для экспериментального определения температур достижимых перегревов (ТДП) конденсированных веществ при наличии готовых гетерогенных зародышей следует использовать высокие темпы нагрева образцов [1]. Контактный метод термического анализа позволяет получать скорости нагрева $> 10^4$ град/с и определять ТДП с точностью 3—5 % [2]. Ранее указанным методом определены ТДП линейных полимеров и некоторых кристаллогидратов [2, 3]. Полученные значения соответствовали экспериментальным данным [4, 5]. Точность метода проверена сопоставлением найденных ТДП с температурами на линии спинодали, вычисленными на основании уравнения состояния [2] линейных полимеров (уравнения Флори, Сенчеца и др.). Возможности методики подтверждены определением ТДП ряда органических жидкостей (толуол, хлороформ и др.) и сопоставлением полученных результатов с литературными данными [1].

В данной работе контактным методом термического анализа определены ТДП некоторых конденсированных веществ неполимерного и полимерного строения, разлагающихся при нагревании с образованием газообразных продуктов. Как для полимерных веществ, применение тонких пленок исследуемого продукта (менее 5—7 мкм) неполимерного строения позволило максимально снизить скорость гетерогенного зародышеобразования благодаря активированной диффузии образующихся в объеме газов к поверхности образцов и последующего удаления из образца. Пленки исследуемого вещества вводили в контакт с теплоносителем, предварительно нагретым до постоянной температуры. В качестве теплоносителя в зависимости от свойств исследуемых веществ использовали металлическую подложку или химически индифферентную жидкость.

В опытах регистрировали время протекания процесса от момента контакта образца с теплоносителем до прекращения разложения t_p .

По результатам испытания образцов при различных температурах строили зависимость $\lg(1/t_p) = f(1/T)$. Прямолинейный участок графика соответствовал уравнению Аррениуса. По отклонению графика от прямой на один порядок определяли значение ТДП (см. таблицу). Наименьшая скорость нагрева, при которой была достигнута ТДП, составляла 20 град/мин [4] (колеманит), наиболее высокие скорости нагрева потребовались для определения ТДП испаряющихся без разложения жидкостей (свыше 10^4 град/с).

ЛИТЕРАТУРА

1. Скрипов В.П., Синицын Е.Н., Павлов П.А. и др. Теплофизические свойства жидкостей в метастабильном состоянии. — М.: Атомиздат, 1980. — 208 с.
2. Shlensky O.F., Shashkov A.G., Aksenov L.N. Thermal Decomposition of Materials. — Elsevier, 1991.
3. Shlensky O.F., Matynkhin A.A., Vaynstein E.F. Limiting temperatures of the thermal decomposition // J. Thermal Analysis. — 1986. — 31. — P. 107—115.

4. Бондарь А.М. Явление взрывной дегидратации колеманита // Изв. АН Латв.ССР. — 1981. — № 5. — С. 580—592.
5. Туманов В.В., Берлин Ал. Ал., Халтуринский Н.А. Изучение выгорания полимеров // Высокмолекулярные соединения. — 1978. — XX, № 12. — С. 2787—2790.

105043, г. Москва,
МХТУ им. Д.И. Менделеева

Поступила в редакцию 2/IV 1993,
после доработки — 24/IX 1993

УДК 536.46:536.245.022

В.И. Зинченко, Г.Ф. Костин, А.С. Якимов

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛО- И МАССООБМЕНА ПРИ РАЗРУШЕНИИ ТЕПЛОЗАЩИТНОГО МАТЕРИАЛА

В рамках математической модели реагирующей среды дается численный анализ процесса нестационарного тепло- и массообмена в углепластике при действии высокосубзвукового потока. Получены аналитические решения для величины массового уноса с поверхности материала в зависимости от скорости уноса за счет пиролиза углепластика, согласующиеся с результатами численного интегрирования при постоянных и переменных параметрах торможения. Проанализированы возможные случаи упрощения граничных условий и даны рекомендации для проведения серийных расчетов.

В работе [1] при описании термохимического разрушения углефенольного композиционного материала использована модель недеформируемого пористого реагирующего тела [2]. Найдено [1], что температурное поле в материале и массовая скорость уноса зависят от специфики неравновесных физико-химических процессов, протекающих одновременно на поверхности и внутри конденсированной фазы (к-фазы).

Цель данной работы связана с анализом влияния вдува продуктов пиролиза углепластикового материала на величину уноса с поверхности и рассмотрением соотношения указанных долей уноса при различных значениях параметров торможения. Например, при движении по траектории на больших высотах преобладающий вклад в величину полного уноса дает пиролиз материала $(\rho v)_{1w}$, что, в свою очередь, может оказывать существенное влияние на аэродинамические характеристики. Затем унос за счет реакций окисления и сублимации может существенно превышать $(\rho v)_{1w}$, но в целом за счет возрастания числа Рейнольдса и величины $(\alpha/c_p)_0$ параметр вдува $(\rho v)_w/(\alpha/c_p)_0$ существенно уменьшается по сравнению с предыдущим участком движения.

При различных режимах протекания гетерогенных химических реакций получены аналитические решения для уноса с поверхности в зависимости от $(\rho v)_{1w}$ и проанализированы возможные случаи упрощения граничных условий.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Вопрос о математическом моделировании термохимического разрушения и горения композиционных материалов (КМ) обсуждался в ряде работ [1—4], в которых приведена подробная библиография. В настоящей статье для описания термохимического разрушения КМ используется математическая модель реагирующей среды [3] с граничными условиями различного типа.

Считается, что к-фаза есть углепластик (УП) на теплоизолированной подложке. Анализ работ [1—3], посвященных вопросу взаимодействия высокосубзвукового потока воздуха с графитовой поверхностью, показал, что для правильной оценки массового уноса необходимо наряду с уносом за счет пиролиза КМ учитывать ряд гетерогенных химических реакций и сублимацию поверхности УП.

© В.И. Зинченко, Г.Ф. Костин, А.С. Якимов, 1994.