

# Предисловие

Метод необходим для отыскания истины.

*Рене Декарт*

Режимы и параметры процессов горения конденсированных систем (КС) определяются свойствами их компонентов, законами физической химии и тепломассопереноса [1]. Однако в научно-технической литературе по теории горения мало внимания уделено кинетике фазовых превращений. Их особенности в расчетах не учитывались. Автор поставил перед собой задачу восполнить этот и другие пробелы во многом по своим публикациям.

Важной особенностью процесса горения КС является наличие границы раздела фаз. Прерывный, скачкообразный характер фазового и химического превращения, как это следует из уравнения состояния КС (приращение энтропии  $\Delta S \neq 0$ , приращение объема  $\Delta V \neq 0$ ), исключает возможность начала и протекания процесса одновременно по всей массе вещества [2].

Гетерофазная реакция и фазовый переход начинаются в микрозародышах газовой фазы. Испаряющиеся компоненты КС и продукты реакций терморазложения (термолиза) заполняют собой микрозародыши, которые при медленном нагреве разрастаются до размеров пузырьков и полостей. С ростом числа зародышей и пузырьков они сливаются друг с другом, образуя единую поверхность горения, разделяющую конденсированную фазу (К-фазу) и зону горения газообразных продуктов термолиза. Через приповерхностный слой КС происходит фильтрация газообразных продуктов разложения компонентов КС из глубинных слоев под действием перепада давления, которое в зародышах выше, чем на поверхности. При дефлаграции тепловой эффект испарения (или сублимации)

КС блокирует (лимитирует) рост температуры поверхности горения, форма которой может существенно отличаться от плоской. Скорости хемофазовых превращений (ХФП), их параметры с учетом такой блокировки впервые предложено включить в систему уравнений математических моделей горения КС.

При увеличении темпов нагрева температура поверхности горения КС возрастает. Сокращается время развития пузырьков и полостей, изменяется характер образования зародышей, становится преобладающим гомогенное зародышеобразование (нуклеация), что оказывает автокаталитическое воздействие на скорость химической реакции термоллиза КС. Было установлено автором, что механизм химических реакций термоллиза многих КС, включая энергоемкие (энергонасыщенные) материалы (ЭМ) и полимеры [3], при высоких температурах (ВТ), характерных для фронта горения, существенно отличается от механизма этих процессов при низких температурах (НТ), что ранее в расчетах не учитывалось.

Изучению процессов горения КС в значительной мере способствовали достижения техники физического и аналитического эксперимента. В книге дано описание современных скоростных методов термического анализа (ТА): инфракрасной (ИК)-Фурье спектроскопии, методов флеш-пиролиза, линейного пиролиза (ЛП), контактных методов ТА, разработанных автором, которые обеспечивают высокие темпы нагрева образцов вещества (до  $10^7$  К/с), близко соответствующие темпам нагрева вещества во фронте горения КС [3].

Указанные особенности термоллиза КС заставляют критически относиться к использованию в математических моделях процессов горения КС результатов традиционных (стандартных) лабораторных испытаний образцов, проведенных при медленном нагреве (2—50 К/мин), поскольку специфика ВТ-хемофазовых превращений остается вне поля зрения исследователей.

Это происходит вследствие того, что при медленном нагреве образец исследуемого вещества, помещенный в чашечку термовесов или блок калориметра, разлагается или испаряется прежде, чем будет нагрет до максимальной температуры, соответствующей режиму горения этого вещества. Форма и размеры зародышей при медленном нагреве и НТ существенно отличаются от таковых в по-

верхностном слое при горении КС. Поэтому результаты измерений в опытах при НТ, как бы тщательно они не были поставлены, нельзя экстраполировать и использовать в области ВТ при горении КС.

Целью данной публикации является ознакомление читателей с установленными сравнительно недавно быстрых высокотемпературных фазовых и хемофазовых превращений, включая спонтанное вскипание и возгонку, которые не в меньшей степени, чем химические реакции влияют на режимы горения КС. Приводятся авторские методики их определения и математического моделирования. Взрыв рассматривается впервые как следствие движения тепловой волны перегрева КС и нуклеации с терморазложением. Прохождение тепловой волны с околосвуковой скоростью вызывает ударную волну, сопровождающую расширение газообразных продуктов реакций термолита. Термин «хемофазовые превращения» был введен в одной из более ранних публикаций автора для обозначения химического реагирования и фазового перехода как единого акта, а не цепи двух последовательных или параллельных событий. Используются материалы общедоступных публикаций в научной литературе преимущественно за последние два десятилетия.

Ограниченный объем издания, подготовленного в РХТУ им. Д.И. Менделеева, не позволил рассмотреть процессы детонации КС и горения газообразных продуктов разложения КС, описываемые уравнениями газодинамики и химической кинетики, а также взаимодействие газов с поверхностью К-фазы. Поэтому использованный в названии книги термин «материалы» принят как сокращение термина «конденсированные (т.е. негазовые) системы», такие как компоненты ракетных топлив, порохов, взрывчатых и пиротехнических смесей.

Книга переведена на английский язык: Shlensky O.F. Combustion and Explosion of Materials, Moscow: TORUS PRESS, 2014.

Автор выражает благодарность доктору техн. наук А. А. Коптелову, докторам хим. наук А. В. Вишнякову и А. П. Котлобаю за ценные замечания, которые были учтены при ее редактировании.

Отзывы и пожелания читателей можно направлять по адресу: [masha.shlensky@gmail.com](mailto:masha.shlensky@gmail.com)

*Автор*