

УДК 536.71:536.46:541.124

РЕЦЕНЗИЯ НА КНИГУ О.Ф. ШЛЕНСКОГО “ГОРЕНИЕ И ВЗРЫВ МАТЕРИАЛОВ” (М.: МАШИНОСТРОЕНИЕ, 2012)

© 2013 г. К. В. Хищенко

Объединенный институт высоких температур РАН, Москва

Поступила в редакцию 19.11.2012 г.

DOI: 10.7868/S0040364413030034

Книга О.Ф. Шленского посвящена анализу физико-химических процессов, протекающих в конденсированных средах при горении и взрыве. Исследование подобных процессов имеет весьма давнюю историю [1], что обусловлено интересом как для фундаментальной науки, так и для обширнейшего круга приложений.

Рассмотрены (глава 1) термодинамические обоснования условий потери устойчивости фазового состояния твердых и жидких веществ различного химического состава при интенсивном нагреве. Приведена расчетная диаграмма состояний полиметилметакрилата, на которой нанесены линии равновесия конденсированная фаза–газ и спинодали. Отмечено, что при повышении температуры в изобарических условиях происходит скачкообразное увеличение объема системы, вызванного образованием газовой фазы. Специфика быстрого нагрева заключается в том, что макромолекулы полимера не успевают разрушиться в конденсированном состоянии, их окончательное терморазложение происходит в газовой фазе. Хемофазовыми превращениями автором условно названы химические реакции терморазложения, активированные гомогенной нуклеацией перегретых жидкостей свыше температуры равновесного фазового перехода. Составлено кинетическое уравнение хемофазового превращения, в котором учтены частота зародышеобразования и скорость собственно химической реакции, происходящей на поверхности раздела фаз. Впервые введено понятие температуры достижимого перегрева энергоемких соединений. Эта величина функционально связана с работой образования гомогенных зародышей, в которой в свою очередь учтено не только давление насыщенного пара, но и давление газообразных продуктов разложения. К хемофазовым превращениям отнесены кипение с разложением и диссоциативная сублимация вблизи поверхности горения.

Рассмотрены (глава 2) методы и результаты экспериментальных исследований кинетики горения и взрыва. Предложенный автором метод отпечатка позволил получить высокие темпы на-

грева вещества до 10^6 К/с, характерные для горения и взрыва энергоемких соединений. Совместно с ОИВТ РАН была разработана методика регистрации убыли массы исследуемого материала за доли секунды в почти изотермических условиях (перепад температуры не более 0.5–0.6 К). В основе методики лежит видеосъемка тонких пленок образцов, нанесенных на предварительно прогретую металлическую подложку, в видимом и инфракрасном диапазонах излучения. К сожалению, автор не привел ссылки на оригинальные публикации [2–6], в которых изложены методы измерения времени жизни пленки с вариацией температуры подложки и приведены некоторые полученные результаты.

Описаны (глава 3) математические модели режимов горения, в которых учтены эффекты достижимых перегревов в аналитической форме, сформулированы условия перехода медленного горения (дефлаграции) во взрыв (детонацию), рассмотрена (глава 4) математическая модель явления самораспространяющегося высокотемпературного синтеза, записано условие устойчивости горения. В главе 5 обсуждаются нестационарные режимы горения конденсированных систем и, в частности, возбуждение взрыва энергоемких веществ в результате механических воздействий. Показано, что механоактивация играет существенную роль в возбуждении детонации в рамках тепловой теории взрыва.

Автор приводит гиперболическое уравнение теплопроводности (глава 6), которое позволяет описать процесс движения тепловой волны при неидеальных режимах дефлаграции и детонации (таких, как высокоскоростное горение и низкоскоростная детонация). Представлены результаты решения этого уравнения, позволяющие найти условия устойчивого распространения тепловой волны горения. Подобные неидеальные процессы возможны только при значительном перегреве конденсированной системы сверх температуры начала превращения в газовую фазу. Предлагается математическое оформление идеи Я.Б. Зельдовича [7] о переходе медленного горе-

ния жидких взрывчатых веществ в детонацию. Остается только пожалеть, что не проведено сопоставление результатов автора с результатами расчетов процессов высокоскоростного горения и низкоскоростной детонации дымного пороха из статьи [8], которая лишь цитируется в приложении.

В главе 7 излагается подход к созданию численной модели горения смесевых видов топлива (на примере двухкомпонентной смеси перхлората аммония и бутадиенового каучука), развитой С.Т. Суржиковым и Х. Краером [9]. В дополнение к модели [9] автор книги предложил физическое обоснование использованного в [9] допущения о бесконечно тонком реакционном слое на основании изложенных в главе 1 кинетических соотношений с учетом температуры достижимого перегрева каждого компонента смеси. Дан вывод критерия тепловой чувствительности топлив из уравнения теплового баланса.

Основное утверждение автора книги заключается в том, что наряду с кинетикой химических реакций при моделировании горения энергоемких материалов необходимо учитывать кинетику превращения конденсированного вещества в газовую фазу. Введение кинетических характеристик гомогенной нуклеации в расчетные соотношения позволяет существенно сблизить получаемые результаты с экспериментальными данными.

Конечно, данная книга не решает все проблемы теории горения и взрыва конденсированных веществ. К примеру, не рассматриваются неидеальные детонационные режимы в механоактивированных энергетических композитах на основе смесей алюминия и магния с фторопластом, реагирующих с образованием твердотельных конечных продуктов [10, 11]. Тем не менее, книга представляет интерес для специалистов в области теплофизики и физики горения и взрыва.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зельдович Я.Б., Баренблатт Г.И., Либрович В.Б., Махвиладзе Г.М. Математическая теория горения и взрыва. М.: Наука, 1980. 478 с.
2. Юндев Д.Н., Лаш А.А., Шленский О.Ф., Вайнштейн Э.Ф., Вишневский Г.Е. Применение тепловизионной и киносъёмочной техники для изучения термоллиза и испарения тонких слоев вещества // ТВТ. 1989. Т. 27. № 2. С. 369.
3. Шленский О.Ф., Юндев Д.Н. О возможности определения температур достижимых перегревов конденсированных веществ неполимерного строения с помощью контактных нагревателей // ТВТ. 1993. Т. 31. № 4. С. 685.
4. Шленский О.Ф., Юндев Д.Н. Эффект снижения интенсивности зародышеобразования в тонких пленках жидкости и его применение в исследованиях свойств перегретых веществ // ТВТ. 1994. Т. 32. № 1. С. 139.
5. Рогаткин Д.А., Шленский О.Ф., Юндев Д.Н. К вопросу о применении тепловизионной техники для изучения кинетики термоллиза и испарения тонких слоев вещества // ТВТ. 1996. Т. 34. № 5. С. 823.
6. Хищенко К.В., Рогаткин Д.А., Юндев Д.Н., Ломоносов И.В., Шленский О.Ф. Некоторые результаты исследования кинетики терморазложения и испарения высокоперегретых веществ // ТВТ. 1998. Т. 36. № 2. С. 227.
7. Зельдович Я.Б. К теории горения порохов и взрывчатых веществ // ЖЭТФ. 1942. Т. 12. № 11/12. С. 498.
8. Ермолаев Б.С., Беляев А.А., Викторов С.Б., Слепцов К.А., Жарикова С.Ю. Неидеальные режимы дефлаграции и детонации дымного пороха // Хим. физика. 2010. Т. 29. № 5. С. 48.
9. Суржиков С.Т., Краер Х. Вычислительные модели горения неметаллизированного гетерогенного ракетного топлива // ТВТ. 2003. Т. 41. № 1. С. 106.
10. Долгобородов А.Ю., Махов М.Н., Колбанёв И.В., Стрелецкий А.Н., Фортков В.Е. Детонация в смеси алюминий-фторопласт // Письма в ЖЭТФ. 2005. Т. 81. № 7. С. 395.
11. Долгобородов А.Ю., Стрелецкий А.Н., Махов М.Н., Колбанёв И.В., Фортков В.Е. Взрывчатые составы на основе механоактивированных смесей металл-окислитель // Хим. физика. 2007. Т. 26. № 12. С. 40.