

О. Ф. ШЛЁНСКИЙ

ГОРЕНИЕ И ВЗРЫВ МАТЕРИАЛОВ

Машиностроение

A photograph of a rocket launch. A dark rocket nozzle is visible at the top, with a bright orange and yellow flame and a large, billowing plume of white and grey smoke trailing downwards. The background is a clear blue sky. The image is used as a background for the book cover.

О. Ф. ШЛЁНСКИЙ

ГОРЕНИЕ И ВЗРЫВ МАТЕРИАЛОВ



Москва
Машиностроение
2012

УДК 536.46+662.42

ББК 24.54:35.63

Ш 68

Рецензенты: *В.С. Зарубин*, доктор техн. наук, проф. МГТУ им. Н.Э. Баумана;
Л.Г. Гвоздева, доктор техн. наук, проф., ст. научный сотр.
Объединенного института высоких температур РАН

Шлёнский О.Ф.

Ш 68 Горение и взрыв материалов. М.: Машиностроение, 2012.—
216 с., ил.

ISBN 978-5-217-03503-8

Процессы горения взрыва впервые рассматриваются как результат перегрева и последующих хемофазовых превращений. При взрыве волна перегрева, движущаяся с околозвуковой скоростью, вызывает ударную волну в расширяющихся газообразных продуктах горения.

Для инженеров и научных работников, специализирующихся в области физики и теории горения и взрыва.

УДК 536.46, 662.42

ББК 24.54:35.63

Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов, опубликованных в данной книге, допускаются только с разрешения издательства и ссылкой на источник информации.

ISBN 978-5-217-03503-8

© Автор, 2012
© Издательство «Машиностроение», 2012

Оглавление

Предисловие	3
Основные принятые обозначения	6
Основные сокращения	8
Глава первая. Характеристики хемофазовых превращений	9
1.1. Термодинамические характеристики	9
1.1.1. Условия устойчивости фазового состояния	9
1.1.2. Полимерные системы	13
1.1.3. Вещества кристаллического строения	17
1.1.4. Условия устойчивости тепловых колебаний	18
1.2. Кинетические характеристики испарения	22
1.3. Режимы пузырькового кипения и взрывного вскипания жидкостей	25
1.4. Кинетика высокотемпературных фазовых превращений в перегретых КС	27
1.5. Эффект механоактивации вскипания и возгонки	28
1.6. Понятие достижимого перегрева КС	30
1.7. Кипение с разложением и диссоциативная сублимация термонеустойчивых КС	32
1.8. Кинетика хемофазовых превращений	34
1.9. Достижимый перегрев энергоемких соединений	35
1.10. Уравнения спинодали и небольших перегревов. Связь с законом горения	40
1.11. Кипение с разложением и диссоциативная сублимация с разложением на поверхности горения	43
Глава вторая. Методы и результаты экспериментальных исследований ...	45
2.1. Регистрация тепловой волны горения	45
2.2. Специальные методы термического анализа	50

2.2.1. Метод «теплового зонда»	50
2.2.2. Метод контактного термического анализа	53
2.2.3. Метод «отпечатка»	55
2.2.4. Филаментный метод	62
2.2.5. Результаты испытаний	62
2.3. Микрокинетика термодеструкции полимеров	69
2.3.1. Пенополиуретан	69
2.3.2. Бутадиеновый каучук	73
2.3.3. Погрешности метода флеш-пиролиза	74
2.4. Метод линейного пиролиза	77
2.5. Влияние темпа нагрева на диапазон температур термолиза КС	79
2.6. Условие локализации фазовых и хемофазовых превращений на поверхности горения	81
2.7. Два режима испарения и термолиза	86
2.8. Аналитическое описание опытных данных	89
2.9. Тепловые эффекты реакций термолиза КС	92
Глава третья. Математическое моделирование режимов горения	95
3.1. Терморазложение летучих энергоемких систем	95
3.1.1. Эффект объемного испарения	95
3.1.2. Кинетика термолиза летучих ВВ	96
3.1.3. Кинетика тепловыделения	98
3.1.4. «Мягкий» тепловой взрыв летучих систем	99
3.2. Уравнения тепло- и массопереноса	102
3.3. Температурный профиль Михельсона	103
3.4. Режим медленного горения	105
3.4.1. Уравнение теплового баланса	105
3.4.2. Кинетическое уравнение	106
3.4.3. Зависимость скорости термолиза от температуры	107
3.5. Решение системы уравнений	108
3.5.1. Определение параметров	108
3.5.2. Условия устойчивости горения	111
3.6. Движение тепловой волны в перегретых летучих системах	113
3.6.1. Уравнение теплового баланса	113
3.6.2. Кинетическое уравнение	114
3.6.3. Движение фронта убыли массы	115
3.7. Режимы вспышки	116
3.8. Распространение фронта горения от очага воспламенения. Вспышка с хлопком	119

<i>Глава четвертая. Самороспространяющийся высокотемпературный синтез</i>	123
4.1. Основные понятия	123
4.2. Скорость тепловой (температурной) волны	124
4.3. Условие устойчивости горения	128
<i>Глава пятая. Нестационарные режимы горения</i>	131
5.1. Основные сведения	131
5.2. Режимы воспламенения	132
5.2.1. Воспламенение накаливаемой поверхностью	132
5.2.2. Воспламенение тепловым потоком	134
5.3. Неустойчивость горения при понижении давления	135
5.4. Чувствительность энергоемких материалов к механическим воздействиям	136
5.5. Кинетика механоактивационных процессов	140
5.6. Механика ударного нагружения	145
5.7. Условие вспышки в результате механоактивации	148
<i>Глава шестая. Высокоскоростной взрывной режим горения конденсированных систем (субдетонация)</i>	154
6.1. Математическая модель	154
6.2. Экспериментальные данные	157
6.3. Численное решение уравнения теплопроводности	162
6.4. Возникновение механических напряжений	169
6.5. Аналитическое решение уравнения теплопроводности гиперболического типа	170
6.6. Возникновение детонации в энергоемких материалах	173
<i>Глава седьмая. Горение смесевых видов топлива</i>	176
7.1. Схематизация структуры	176
7.2. Основные соотношения	179
7.3. Условия на границе раздела фаз	180
7.4. Модель теплообмена в КС с учетом теплового излучения объема газа	181
7.5. Результаты численного моделирования	182
7.6. Факторы интенсификации горения	184
7.7. Обоснование допущения о бесконечно тонком реакционном слое	185
7.8. Температурная чувствительность горения ЭМ	188
7.9. Горение взрывосмесевых ВВ	

Заключение	194
Приложение	198
1. Механоактивация зародышеобразования	198
2. Оценка температурной погрешности методов КТА	203
3. Критический диаметр заряда при высокоскоростном режиме горения	204
Список литературы	206