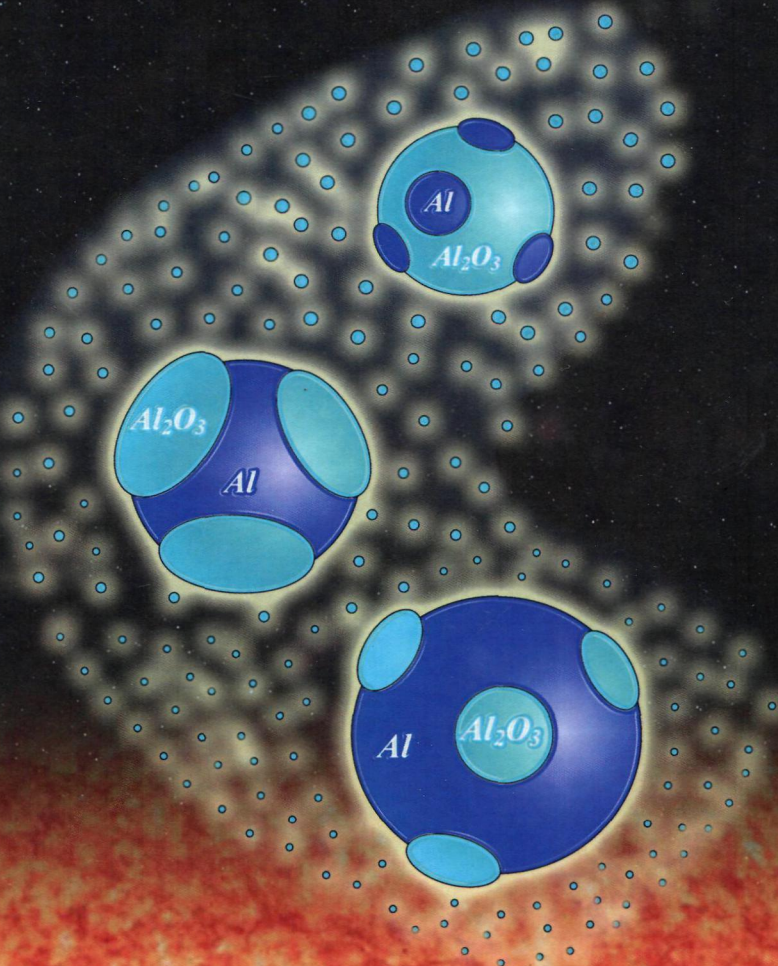


В.И. Малинин

ВНУТРИКАМЕРНЫЕ ПРОЦЕССЫ В УСТАНОВКАХ НА ПОРОШКООБРАЗНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ГОРЮЧИХ



Екатеринбург - Пермь, 2006

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ПЕРМСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

В.И. МАЛИНИН

**ВНУТРИКАМЕРНЫЕ ПРОЦЕССЫ
В УСТАНОВКАХ
НА ПОРОШКООБРАЗНЫХ
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ГОРЮЧИХ**

Екатеринбург - Пермь, 2006

УДК 621.453

Малинин В.И. Внутрикамерные процессы в установках на порошкообразных металлических горючих. Екатеринбург - Пермь: УрО РАН, 2006.

ISBN 5-7691-1780-X

В книге изложены физические основы организации и оптимизации внутрикамерных процессов в установках на порошкообразных металлических горючих. Применение металлов в качестве горючего позволяет создать принципиально новые высокоэффективные реактивные двигатели для земных и космических летательных аппаратов. Сжигание металлов в технологических установках позволяет получить ультрадисперсные материалы с особыми свойствами.

Рассмотрен комплекс научных и технических задач, связанных с процессами пневмотранспорта порошков металлов, их распыления и смесеобразования топлива, воспламенения и горения взвесей металлов, теплозащиты стенок камеры в условиях высокой концентрации конденсированной фазы.

Книга адресована научным и инженерно-техническим работникам, преподавателям, аспирантам и студентам технических вузов, а также интересующимся перспективами развития ракетно-космической техники.

Ответственный редактор
кандидат технических наук *В.П. Приходченко*

Рецензенты: доктор технических наук *В.Н. Стрельников*
доктор технических наук *В.А. Вальцифер*

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Сокращения, условные обозначения, индексы	5
Введение	10
Глава 1. Анализ исследований горения металлов в активных газах и внутрикамерных процессов в установках на ПМГ	16
1.1. Особенности металлических горючих	16
1.2. Модели горения одиночных частиц и взвесей порошков металлов	20
1.2.1. Одиночные частицы	20
1.2.2. Взвеси порошков металлов	26
1.3. Экспериментальные исследования воспламенения и горения одиночных частиц и взвесей порошков металлов	28
1.3.1. Воспламенение и горение частиц металлов	28
1.3.2. Воспламенение и горение порошков металлов	29
1.4. Особенности внутрикамерных процессов при сжигании ПМГ	33
1.5. Способы организации сжигания горючих в воздушном потоке	36
1.6. Особенности внутрикамерных процессов в ПВРД	39
Выводы	40
Глава 2. Математическое моделирование горения порошкообразного алюминия в потоке активных газов	42
2.1. Модель горения одиночной частицы алюминия	42
2.1.1. Основные положения	42
2.1.2. Система уравнений	44
2.1.3. Скорости химических реакций и фазовых переходов	45
2.2. Расчёт горения частицы алюминия в потоке активных газов. Сравнение с экспериментом	49
2.3. Модель горения высокоскоростного потока полифракционной аэрозвеси частиц алюминия	56
2.3.1. Основные положения	57
2.3.2. Система уравнений	59
2.3.3. Скорости химических реакций и фазовых переходов	63
2.4. Математическое моделирование горения потока переобогащённой алюминисво-воздушной смеси	71
2.4.1. Методика расчёта. Исходные параметры	71
2.4.2. Результаты расчётов	74
Выводы	78
Глава 3. Организация и математическое моделирование внутрикамерных процессов в установках на ПМГ	80
3.1. Схема организации внутрикамерных процессов	80
3.2. Подача порошкообразных металлов в камеру сгорания и их распыление в воздушном потоке	82
3.2.1. Регулируемая подача порошка	82

3.2.2. Распыление порошка	84
3.3. Сжигание металловоздушных смесей	86
3.3.1. Особенности горения металловоздушных смесей при низком коэффициенте избытка воздуха	86
3.3.2. Организация сжигания металловоздушных смесей	89
3.4. Выделение конденсированной фазы из высокотемпературного потока продуктов сгорания	95
3.5. Математическое моделирование сжигания алюминиево-воздушной смеси	99
Выводы.....	104
Глава 4. Экспериментальная установка сжигания аэрозвесей порошков металлов. Результаты испытаний	105
4.1. Экспериментальная установка	105
4.2. Стенд огневых испытаний	109
4.2.1. Назначение и технические характеристики	109
4.2.2. Описание стенда	110
4.3. Методика проведения испытаний	113
4.4. Результаты испытаний экспериментальной установки	115
4.4.1. Зажигание	115
4.4.2. Стабилизация пламени. Устойчивость процесса	118
4.4.3. Эффективность горения	122
4.4.4. Дисперсность и свойства выделенной к-фазы	126
4.4.5. Теплозащита конструкции	129
4.4.6. Работоспособность установки	130
Выводы.....	130
Глава 5. Уточнение параметров и проверка адекватности математической модели сжигания алюминиево-воздушной смеси	132
5.1. Уточнение параметров модели	132
5.2. Проверка адекватности модели	136
5.2.1. Моделирование влияния давления на внутрикамерные процессы	136
5.2.2. Математическое моделирование горения алюминиево-воздушной смеси в камере с внезапным расширением	150
Выводы.....	151
Глава 6. Регулируемый ПВРД ПМГ. Внутрикамерные процессы и оптимизация параметров	152
6.1. Регулируемые ПВРД ПМГ – новое перспективное направление в реактивном двигателестроении.....	152
6.2. Устройство и конструкция	156
6.3. Экспериментально-теоретическое обоснование работоспособности и эффективности основных систем	158
6.3.1. Газогенераторная система	158
6.3.2. Система регулируемой подачи ПМГ	165
6.3.3 Система первичного смешения, воспламенения, стабилизация пламени и первичного горения ПМГ	167
6.3.4. Система вторичного смешения и сжигания ПМГ	169
6.4. Влияние конструктивных параметров на режимы камеры сгорания и внутрикамерные процессы ПВРД	171

6.5. Влияние параметров полёта на внутрикамерные процессы ПВРД на алюминированном горючем	180
6.5.1. Математическое моделирование влияния длины вторичного смещения на внутрикамерные процессы при большой высоте полёта УР....	180
6.5.2. Математическое моделирование влияния начальной температуры на внутрикамерные процессы	182
Выводы	184

Глава 7. Получение ультрадисперсных оксидов методом сжигания аэрозвесей порошков металлов

7.1. Методы получения ультрадисперсных порошков	186
7.1.1. Механические методы	187
7.1.2. Термолиз	187
7.1.3. Золь-гель метод	188
7.1.4. Химическое осаждение из водных растворов солей	188
7.1.5. Плазмохимический метод	189
7.1.6. Метод электровзрыва проводников в атмосфере кислорода	189
7.1.7. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез	190
7.1.8. Лазерное физическое газофазное осаждение	190
7.2. Теоретические исследования влияния основных параметров на дисперсность оксида	192
7.2.1. Исследования на основе модели горения одиночной частицы алюминия	192
7.2.2. Исследования на основе модели горения полифракционной аэрозвеси частиц алюминия	196
7.3. Экспериментальная технологическая установка.....	200
7.4. Выделение ультрадисперсного оксида из конденсированных продуктов сгорания	201
7.5. Методика исследования выделенного оксида	204
7.5.1. Определение дисперсного состава	205
7.5.2. Определение удельной поверхности	205
7.5.3. Определение фазового состава	207
7.5.4. Определение химического состава	207
7.6. Влияние условий смесеобразования и параметров горения на дисперсный состав оксида	208
7.7. Свойства ультрадисперсного оксида алюминия – целевого продукта метода	211
7.7.1. Выделение и обработка целевого продукта	211
7.7.2. Исследование целевого продукта	214
7.7.3. Получение корундовой керамики из целевого продукта	216
7.8. Перспективы создания опытно-промышленной установки для получения УДП	218
Выводы	219

Глава 8. Двигательные установки космических аппаратов на ПМГ и взезимных окислителях

8.1. Реактивные двигатели, использующие взезимные компоненты, – перспективные двигатели космических летательных аппаратов	221
8.2. Массовые характеристики и дальности перелётов КЛА с ракетным двигателем на ПМГ и взезимных окислителях	224

8.3. Экспериментально-теоретическое обоснование возможности создания реактивных двигателей на ПМГ и взеземных компонентах	229
8.3.1. Термодинамические расчёты	229
8.3.2. Выбор горючего и окислителя	232
8.3.3. Воспламенение и горение	232
8.3.4. Организация рабочего процесса	233
8.4. Описание конструкции, схема и параметры ракетного двигателя	234
Выводы	237
Заключение	239
Список литературы	244
