

ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА

Том II

**ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА.
ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
И ПЕРЕРАБОТКИ**



ФГУП «РОССИЙСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЯДЕРНЫЙ ЦЕНТР –
ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ»

ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА

Учебное издание

Под общей редакцией
академика РАН, зав. кафедрой СарФТИ
Р. И. Илькаева

Саров
2007

ФГУП «РОССИЙСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЯДЕРНЫЙ ЦЕНТР –
ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ»

ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА

Том II

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ

Под редакцией
доктора технических наук Л. В. Фомичевой

Саров
2007

ББК 35.63
В 40
УДК 662.2

Взрывчатые вещества: учебное издание / Под общей ред. Р. И. Илькаева / Т. 2. **Взрывчатые вещества. Основные свойства. Технология изготовления и переработки** / Под ред. Л. В. Фомичевой. Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2007. – 452 с.: – ил.

ISBN 978-9515-0078-8

В систематизированном виде даны общие представления о взрывчатых веществах, их основных свойствах, методологии разработки смесевых взрывчатых веществ с заданными целевыми параметрами, технологиях изготовления взрывчатых веществ и переработки их в детали. Описаны методики исследования свойств взрывчатых веществ, меры по охране труда и безопасность при работах с ВВ.

Книга предназначена для студентов СарФТИ, в программу обучения которых включен курс по взрывчатым веществам. Может представлять интерес для специалистов, работающих с ВВ на различных предприятиях.

Авторский коллектив: Л. А. Андреевских, В. М. Бельский, В. Г. Васипенко, С. А. Вахмистров, Ю. А. Власов, В. Н. Герман, Н. Н. Жбанова, Н. Д. Маначинский, Н. И. Родникова, В. И. Селютин, Н. Н. Титова, Л. В. Фомичева, И. П. Хабаров

ISBN 978-9515-0078-8

© ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2007

ПРЕДИСЛОВИЕ

Инициатива создания учебного издания принадлежит академику РАЕН и РАН, доктору технических наук С. А. Новикову, который долгое время заведовал кафедрой теоретической и экспериментальной механики на физико-техническом факультете Саровского Государственного физико-технического института (СарФТИ).

Издание предназначено в первую очередь для студентов физико-технического факультета СарФТИ, в программу обучения которых входит курс по взрывчатым веществам. Внимание к взрывчатым веществам в большой степени обусловлено следующими факторами:

- кадровое пополнение РФЯЦ-ВНИИЭФ, который является градообразующим предприятием г. Сарова, в последние годы в большей степени осуществляется за счет выпускников СарФТИ. Их профессиональная деятельность в той или иной степени связана со взрывчатыми веществами;

- взрывные устройства и технологии (в том числе разрабатываемые в РФЯЦ-ВНИИЭФ) широко используются как в промышленности, так и в исследовательской практике.

Первый том издания «Поведение твердых взрывчатых веществ при механических нагрузках» вышел в Сарове в 2001 г. В этом томе основное внимание уделено свойствам взрывчатых веществ, которые используются в качестве конструкционного материала: упругим, реологическим параметрам; прочности при статическом, динамическом, ударно-волновом нагружении; влиянию поврежденности ВВ на механические свойства и их чувствительность к ударным нагрузкам.

Вместе с тем известно, что конструкционные материалы из ВВ должны быть технологичными при изготовлении и переработке в детали, обладать необходимой мощностью, иметь приемлемую чувствительность к внешним воздействиям, быть химически и физически стойкими, удовлетворять требованиям по теплофизическим параметрам, быть химически совместимыми с другими конструкционными материалами. Необходимо особо подчеркнуть, что физико-механические характеристики ВВ – конструкционного материала зависят не

только от природы ВВ, но и от технологий его изготовления и переработки. Именно этим вопросам посвящен второй том издания «Взрывчатые вещества. Основные свойства. Технология изготовления и переработки».

При составлении пособия авторы использовали монографии, учебники и другие издания широко известных авторов (К. К. Андреев, А. Г. Горст, Е. Ю. Орлова, Ф. А. Баум, К. П. Станюкович, Б. И. Шехтер, Л. П. Орленко и др.) и обширный собственный научно-технический опыт, накопленный в процессе работы со взрывчатыми веществами на предприятиях Росатома и смежных организаций. При этом учитывалось, что студенты СарФТИ не получают систематических знаний по химии нитросоединений.

Основная цель второго тома издания – дать общее представление о взрывчатых веществах, их основных свойствах, методологии разработки смесевых взрывчатых веществ с заданными целевыми параметрами (мощность, чувствительность, физическая и химическая стойкость), методиках исследования, технологиях изготовления ВВ и переработки их в детали, требованиях к организации работ с ВВ.

Книга состоит из 12 глав, содержание которых в совокупности отвечает поставленной цели.

Для закрепления материала в конце каждой главы имеется перечень контрольных вопросов. Для каждой главы приведен список использованной литературы.

Предлагаемый вниманию читателей материал является первым опытом по созданию учебного пособия по ВВ для студентов СарФТИ. Авторский коллектив с благодарностью примет все предложения и критические замечания, направленные на совершенствование издания.

Руководитель авторского коллектива, составитель
учебного издания и ответственный редактор тома 2 –
доктор технических наук *Л. В. Фомичева*

Содержание

Предисловие	5
Глава 1. Общая характеристика и классификация взрывчатых веществ [1–4]	7
1.1. Общие сведения о взрыве	7
1.2. Взрыв ВВ, виды взрывных процессов	8
1.3. Классификация ВВ	15
1.4. Основные требования, предъявляемые к ВВ	18
Вопросы к главе 1	20
Список литературы к главе 1	20
Глава 2. Термохимия ВВ [1–4]	21
2.1. Основы термохимии ВВ	21
2.1.1. Расчет теплоты взрыва	23
2.2. Состав и удельный объем продуктов взрыва	28
2.2.1. Кислородный баланс и кислородный коэффициент ..	29
2.2.2. Уравнение реакции взрывного превращения	30
2.2.3. Объем газообразных продуктов взрыва	32
2.3. Температура взрыва	35
Вопросы к главе 2	41
Список литературы к главе 2	41
Глава 3. Стойкость ВВ	42
3.1. Основные формы превращения ВВ	43
3.2. Элементы кинетики простых газовых реакций	44
3.2.1. Механизм химической реакции и зависимость скорости реакции от температуры	44
3.2.2. Зависимость скорости реакции от концентрации.	
Изменение скорости во времени	47
3.3. Самоускоряющиеся химические реакции	50

3.3.1. Тепловое самоускорение реакции (тепловой взрыв) в газах	52
3.3.2. Тепловое самоускорение реакции в конденсированных ВВ	56
3.3.3. Автокаталитическое ускорение реакции (автокаталитический взрыв)	59
3.4. Медленное химическое превращение конденсированных ВВ	62
3.4.1. Общая характеристика.	62
3.4.2. ВВ, разлагающиеся в твердом состоянии	63
3.4.3. Общие закономерности медленного химического превращения ВВ	64
3.5. Химическая стойкость ВВ	69
3.5.1. Теория химической стойкости	69
3.5.2. Общая характеристика методов экспериментального определения химической стойкости	72
3.6. Физическая стойкость ВВ	91
Вопросы к главе 3	93
Список литературы к главе 3	94
Глава 4. Чувствительность ВВ [1–5].	96
4.1. Чувствительность ВВ к тепловым воздействиям	97
4.2. Чувствительность ВВ к механическим воздействиям	103
4.2.1. Возбуждение взрывного превращения механическим импульсом	103
4.2.2. Факторы, определяющие чувствительность ВВ	109
4.2.3. Эффективность начального импульса	111
4.2.4. Методы определения чувствительности ВВ к удару	116
4.2.5. Методы определения чувствительности ВВ к трению	129
4.2.6. Технологические пробы	131
4.2.7. Чувствительность ВВ к воздействию пуль и осколочных элементов	132
4.2.8. Чувствительность ВВ к ударной волне	133

Вопросы к главе 4	138
Список литературы к главе 4	139
Глава 5. Детонация ВВ	140
5.1. Общие представления о механизме возбуждения и распространения детонации	140
5.2.1. Методы определения критического диаметра детонации ВВ	144
5.3. Скорость детонации ВВ и ее зависимость от различных факторов	146
5.3.1. Методы определения скорости детонации ВВ	146
5.3.2. Зависимость скорости детонации ВВ от плотности, диаметра заряда, температуры, наличия оболочки и других факторов	151
5.4. Передача детонации от заряда к заряду	157
5.4.1. Передача детонации при непосредственном контакте зарядов	157
5.4.2. Передача детонации от заряда к заряду, расположенных на расстоянии	161
Вопросы к главе 5	163
Список литературы к главе 5	164
Глава 6. Горение конденсированных бризантных ВВ	165
6.1. Предельные условия горения	166
6.2. Стационарное послыйное горение	167
6.2.1. Общая теория стационарного послыйного горения ...	167
6.2.2. Скорость горения	169
6.2.3. Зависимость скорости горения от давления и начальной температуры	170
6.3. Нарушение стационарного послыйного горения ВВ – переход послыйного горения во взрыв	170
6.3.1. Механизмы переходных процессов	171
6.3.2. Условия возникновения КГ в зазорах	172
6.3.3. Условия возникновения КГ в порах	174
6.4. Методики определения параметров горения	175

6.4.1. Критический диаметр горения	175
6.4.2. Скорость послыйного горения	175
6.4.3. Критическое давление возникновения КГ в порах и зазорах	177
Вопросы к главе 6	178
Список литературы к главе 6	179
Глава 7. Экспериментальные методы оценки работы взрыва.	
Кумуляция [1–5]	180
7.1. Определение теплоты взрыва	182
7.2. Определение бризантного действия взрыва	183
7.2.1. Проба Гесса	183
7.2.2. Импульсомер Каста – Бардина	185
7.3. Оценка общей работы взрыва	187
7.3.1. Бомба Трауцля	187
7.3.2. Баллистический маятник	188
7.3.3. Баллистическая мортира	191
7.3.4. Тротиловый эквивалент	193
7.4. Метательное действие ВВ	195
7.4.1. Основные закономерности метания	195
7.4.2. Экспериментальные методы определения метательного действия	200
7.5. Кумуляция	210
7.5.1. Общие сведения о кумуляции	210
7.5.2. Кумуляция при наличии выемки с металлической облицовкой	213
7.5.3. Бронепробивное действие кумулятивной струи	219
Вопросы к главе 7	221
Список литературы к главе 7	222
Глава 8. Физико-механические свойства ВВ	
8.1. Основные требования к ВВ как конструкционному материалу	223
8.2. Виды внешних воздействий и их взаимосвязь со свойствами ВВ	225

8.3. Методология лабораторных исследований свойств ВВ . . .	228
8.3.1. Общие требования к исследуемым образцам из ВВ .	228
8.4. Теплофизические свойства ВВ	229
8.4.1. Классификация теплофизических свойств	229
8.4.2. Методики определения термических свойств ВВ	230
8.5. Методики определения механических свойств ВВ.	237
8.5.1. Испытание на сжатие	238
8.5.2. Испытание на растяжение	239
8.5.3. Испытание на изгиб	241
8.5.4. Определение прочности на сдвиг	243
8.5.5. Испытание на раскол (радиальное сжатие)	244
8.5.6. Испытание ВВ на прочность в сложнапряженном состоянии	244
8.5.7. Испытание модельных деталей на прочность при гидростатическом нагружении	248
8.5.8. Испытание модельных деталей на термopрочность	250
8.5.9. Термосиловые испытания модельных деталей	253
8.5.10. Механические испытания на усталость	255
8.5.11. Термоциклическое нагружение	257
8.5.12. Определение ползучести и долговременной прочности	258
8.5.13. Термомеханическое исследование ВВ	259
8.6. Неразрушающие методы исследования изделий из ВВ	261
8.6.1. γ -контроль плотности и разнoплотности	262
8.6.2. Акустические методы. Взаимосвязь акустических параметров и свойств ВВ	264
8.6.3. Исследование вязкоупругих свойств ВВ	265
8.6.4. Метод акустической эмиссии	270
8.7. Методика исследования физической стойкости деталей из ВВ	274
Вопросы к главе 8	279
Список литературы к главе 8	280
Глава 9. Некоторые представители ВВ	283

9.1. Тротил (тринитротолуол, тол, ТНТ)	283
9.2. Тетрил (тринитрофенилметилнитрамин)	285
9.3. Гексоген (циклотриметилентринитрамин)	287
9.4. Октоген (циклотетраметилентетранитрамин)	289
9.5. ТЭН (пентаэритриттетранитрат, пентрит)	291
9.6. Нитроглицерин (глицеринтринитрат)	293
9.7. Коллоксилин (азотно-кислый эфир целлюлозы с содержанием азота 11,2–12 %)	294
9.8. Смесевые ВВ (водоустойчивые аммониты).	296
Список литературы к главе 9	298

Глава 10. Смесевые ВВ. Технология изготовления.

Методология создания смесевых ВВ с требуемыми параметрами	299
10.1. Смесевые ВВ. Технология изготовления	299
10.2. Методология создания смесевых ВВ с требуемыми параметрами	302
Вопросы к главе 10	308

Глава 11. Технология изготовления зарядов из ВВ [1–24]

11.1. Общая характеристика методов переработки ВВ	309
11.2. Переработка ВВ методами механического уплотнения	315
11.2.1. Общие представления о сыпучих порошкообразных ВВ	315
11.2.2. Физические свойства порошков	316
11.2.3. Технологические свойства	327
11.2.4. Физические основы формирования зарядов ВВ прессованием	333
11.2.5. Основные требования к качеству зарядов ВВ	344
11.2.6. Основные параметры прессования	357
11.2.7. Способы формирования зарядов ВВ прессованием	364
11.2.8. Основные требования к оборудованию и пресс-инструменту	370
11.2.9. Доведение зарядов ВВ до требуемой геометрии	383

11.2.10. Общие представления о формировании зарядов ВВ методом шнекования	391
11.3. Изготовление зарядов из ВВ методом заливки	395
11.3.1. Характеристика ВВ, перерабатываемых методом заливки	396
11.3.2. Механизм плавления ВВ	398
11.3.3. Физические основы кристаллизации расплавов ВВ	400
11.3.4. Характеристика зарядов ВВ, полученных методом заливки. Дефекты зарядов и их предупреждение	403
11.3.5. Формирование зарядов методом заливки. Оборудование	405
11.4. Повторное использование ВВ	409
11.4.1. Экологический и экономический аспекты повторного использования ВВ	409
11.4.2. Общие представления о методах утилизации ВВ	410
11.4.3. Методы механического измельчения ВВ	411
11.4.4. Сравнительная характеристика ВВ первичного и повторного использования	413
11.4.5. Перспективы использования ВВУ	413
Вопросы к главе 11	414
Список литературы к главе 11	417
 Глава 12. Охрана труда и безопасность при работе с ВВ	 420
12.1. Порядок допуска лиц для работы с ВВ	420
12.2. Производственно-техническая и технологическая документация, необходимая для работы с ВВ	422
12.3. Классификация зданий по степени опасности. Безопасные расстояния по передаче детонации и действию ударной волны. Внешние и внутренние безопасные расстояния. Защитные кабины, камеры, экраны, казематы, бронебашни	425
12.3.1. Классификация зданий по степени опасности	425
12.3.2. Безопасные расстояния по передаче детонации	426
12.3.3. Безопасные расстояния по действию воздушной	426

ударной волны. Внутренние и внешние безопасные расстояния	
12.3.4. Защитные сооружения при работе с ВВ	428
12.4. Оборудование, электроустановки, вентиляция и молниезащита [3]	430
12.5. Основные правила безопасности при работе с ВВ	431
12.6. Безопасность при работе с ЛВЖ, ГЖ, кислотами и сильнодействующими ядовитыми веществами (СДЯВ) [4]	435
12.7. Требования пожарной безопасности при работе с ВВ и ЛВЖ. Воздействие на человека и окружающую среду. Гигиена труда [4, 5]	437
Вопросы к главе 12	442
Список литературы к главе 12	443

**Взрывчатые вещества. Основные свойства.
Технология изготовления и переработки**

Учебное издание

Том II

Редактор *Мазан Л. В.*

Компьютерная подготовка оригинала-макета *Ивлева А. А.*

Подписано в печать 6.03.2007. Формат 60×84/16

Печать офсетная. Уч.-изд.л. ~23. Усл.-печ.л. 26

Заказ 454-2006. Тираж 300

Отпечатано в ИПК ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»
607190, г. Саров Нижегородской обл.