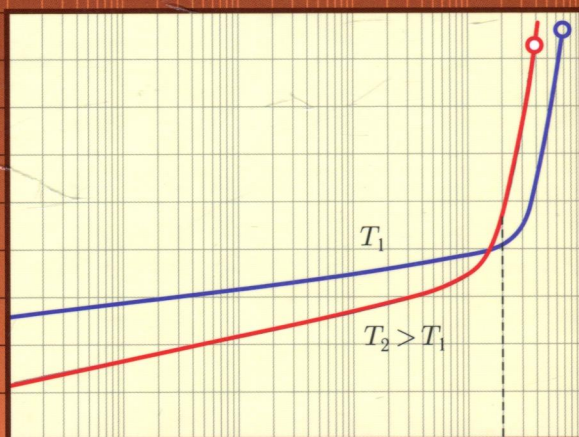


Г.И. Канель

УДАРНЫЕ ВОЛНЫ в ФИЗИКЕ ТВЕРДОГО ТЕЛА



Г.И. Канель

**УДАРНЫЕ
ВОЛНЫ
В ФИЗИКЕ
ТВЕРДОГО ТЕЛА**



МОСКВА
ФИЗМАТЛИТ®
2018

УДК 541.12
ББК 30.13
К 19



*Издание осуществлено при поддержке
Российского фонда фундаментальных
исследований по проекту 18-12-00017,
не подлежит продаже*

Канель Г.И. **Ударные волны в физике твердого тела.** — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2018. — 208 с. — ISBN 978-5-9221-1810-1.

Представлены методы и последние наиболее интересные результаты экспериментальных исследований прочностных свойств, полиморфизма и метастабильных состояний материалов и веществ при чрезвычайно малых длительностях ударно-волнового воздействия. Обнаружено явление аномального возрастания напряжения пластического течения с увеличением температуры при высоких скоростях деформации. Реализовано приближение к предельно возможной (идеальной) объемной и сдвиговой прочности твердых тел. Получены новые данные о механизме и основных закономерностях субмикросекундных полиморфных превращений и фазовых переходов. Представлен анализ особенностей поведения высокотвердых хрупких материалов при ударно-волновом нагружении и возможных способов диагностирования разрушения сжатием. Обнаружены и исследованы волны разрушения в ударно-сжатых стеклах. Обнаружен ряд специфических особенностей динамики упругопластических волн ударного сжатия в релаксирующих средах, которые еще ждут осмысления и теоретического описания. Изложению основных результатов предшествует подробное описание теоретических основ метода и краткое обсуждение основных способов генерации и диагностики ударных волн в твердых телах.

Книга написана по результатам многолетних исследований при поддержке главным образом Российского фонда фундаментальных исследований, а также программ фундаментальных исследований Президиума Российской академии наук и Российского научного фонда и ориентирована на специалистов в области физики высоких динамических давлений, физики металлов, физики и механики прочности и пластичности.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	6
Глава 1. Одномерные движения сжимаемой среды	9
§1.1. Одномерные безразрывные течения сжимаемой среды	10
§1.2. Характеристики, интегралы Римана	12
§1.3. Ударные волны	16
§1.4. Устойчивость ударных волн, многоволновые конфигурации и ударные волны разрежения в среде с аномальной сжимаемостью	22
§1.5. Распады разрывов и волновые взаимодействия	24
§1.6. Детонационная волна	26
Глава 2. Методы генерации ударных волн и регистрации газодинамических параметров в динамических экспериментах	29
§2.1. Взрывные генераторы плоских ударных волн	29
§2.2. Баллистические установки для экспериментов с ударными волнами	34
§2.3. Перспективные генераторы высоких динамических давлений	37
§2.4. Дискретные методы измерения волновых и массовых скоростей	40
§2.5. Методы непрерывной регистрации профилей массовой скорости	43
§2.5.1. Емкостные датчики скорости	44
§2.5.2. Лазерные измерители скорости движения свободных и контактных поверхностей образцов	46
§2.5.3. Манганиновые пьезорезисторы для регистрации профилей давления ударного сжатия	51
Глава 3. Основные направления исследований поведения конденсированных веществ при ударном сжатии методами механики сплошных сред	56
§3.1. Структура волн сжатия и разрежения в упругопластическом теле	56
§3.2. Волна сжатия в упрочняющемся и разупрочняющемся материалах	59
§3.3. Эволюция упругого предвестника в релаксирующем материале	62
§3.4. Интерпретация профилей скорости свободной поверхности при выходе упругопластической волны сжатия	65
§3.5. Структура пластической ударной волны	69
§3.6. Формирование двухволновой структуры при полиморфном превращении в процессе ударного сжатия	70

§ 3.7. Откольное разрушение твердых тел. Волновые взаимодействия при отколе	72
§ 3.8. Определение величины разрушающего напряжения при отколе. Искажение волновых профилей при отколе в упруго-пластическом теле.	74
Глава 4. Основные результаты исследований откольных явлений в различных материалах.	82
§ 4.1. Характерные значения субмикросекундной прочности твердых тел и жидкостей	82
§ 4.1.1. Условия нагружения при измерениях откольной прочности материалов	82
§ 4.1.2. Откольная прочность материалов и веществ различных классов	87
§ 4.2. Приближение к «идеальной» прочности конденсированного вещества.	92
§ 4.3. Влияние структурных факторов на субмикросекундную прочность металлов	95
§ 4.4. Откольная прочность монокристаллов и поликристаллов вблизи плавления.	102
Глава 5. Специфические особенности высокоскоростной деформации металлов при ударном сжатии.	105
§ 5.1. Общие представления	105
§ 5.2. Методология ударно-волновых исследований скоростных зависимостей сопротивления деформированию	109
§ 5.3. Температурные эффекты	114
§ 5.4. Приближение к предельной (идеальной) сдвиговой прочности	116
§ 5.5. Эффекты отжига и упрочняющей механической обработки	120
§ 5.6. Температурно-скоростные зависимости напряжения течения на разных стадиях ударно-волнового деформирования металлов.	124
§ 5.7. Поведение монокристаллов при ударно-волновом нагружении	128
§ 5.8. Эффекты размножения дислокаций.	134
Глава 6. Ударно-волновое сжатие высокотвердых хрупких материалов.	140
§ 6.1. Ударное сжатие и разрушение стекла. Волны разрушения.	142
§ 6.2. Попытка регистрации волн разрушения при ударном сжатии керамических материалов	148
§ 6.3. Диагностирование характера неупругого деформирования хрупких материалов при ударном сжатии.	150
§ 6.4. Дивергентное ударное сжатие	154
§ 6.5. Поведение сапфира при ударном сжатии	159

Глава 7. Исследования полиморфных превращений и фазовых переходов при ударном сжатии.	164
§ 7.1. Полиморфное превращение железа под давлением.	164
§ 7.2. Превращение графита в алмаз при ударном сжатии.	166
§ 7.3. Поиск структурных превращений при растяжении.	170
§ 7.4. Плавление при ударном сжатии и растяжении	174
§ 7.5. Затвердевание при динамическом сжатии.	179
§ 7.6. Испарение при разгрузке из ударно-сжатого состояния.	182
Глава 8. Определение макрокинетических закономерностей превращения взрывчатых веществ в ударных и детонационных волнах.	185
Заключение	196
Список литературы	198