

ВЫСШЕЕ ГОРНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Г.Г. Каркашадзе

МЕХАНИЧЕСКОЕ РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД

Допущено Министерством образования Российской Федерации в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Физические процессы горного или нефтегазового производства» направления подготовки дипломированных специалистов «Горное дело»

МОСКВА

ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

2 0 0 4



УДК 622.23.02
ББК 33.24
К 23

*Экспертиза проведена
Министерством образования Российской Федерации
(гриф выдан 24.06.2003 г., письмо № 14-55-455зр/22)*

*Книга соответствует «Гигиеническим требованиям к изданиям книжным
для взрослых. СанПиН 1.2.1253—03», утвержденным
Главным государственным санитарным врачом России 30 марта 2003 г.*

Рецензенты:

- д-р техн. наук, проф. *С.Д. Викторов* (зав. отделом проблем геомеханики и разрушения горных пород ИПКОН РАН);
- д-р техн. наук, проф. *С.В. Иляхин* (кафедра «Горное дело и проведение горно-разведочных выработок» Московского государственного геологоразведочного университета)

Каркашадзе Г.Г.

К 23 **Механическое разрушение горных пород: Учеб. пособие для вузов.** — М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2004. — 222 с.: ил.

ISBN 5-7418-0301-6 (в пер.)

Рассмотрены особенности деформирования и разрушения горных пород. Приведены критерии прочности. Изложены основы механики рассеянных повреждений, линейной механики разрушения и механизма роста трещин. Описаны основные эффекты процессов разрушения. Даны решения прикладных задач разрушения горных пород с применением критериев прочности, описания лабораторных работ по определению прочностных свойств пород.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Физические процессы горного или нефтегазового производства» направления подготовки дипломированных специалистов «Горное дело». Может быть полезна аспирантам и преподавателям горных вузов и факультетов.

УДК 622.23.02
ББК 33.24

ISBN 5-7418-0301-6

© Г.Г. Каркашадзе, 2004
© Издательство МГГУ, 2004
© Дизайн книги. Издательство МГГУ, 2004

При разработке полезных ископаемых открытым и подземным способами наиболее энергоемким технологическим процессом является разрушение горных пород. На реализацию процесса разрушения горных пород тратится свыше 20 % энергии, производимой во всем мире. В России каждый год извлекается из недр более одного миллиарда тонн горных пород. Такая масса извлекается при добыче полезных ископаемых, в строительстве — при прокладке дорог, подготовке фундаментов наземных сооружений и др. Чтобы уменьшить энергетические затраты на разрушение, а также создать более прочные строительные материалы, необходимо знать прочностные параметры горных пород и минералов, закономерности их деформирования и разрушения. Для горных инженеров-нефтяников представляет интерес поведение горных пород при высоких давлениях и температурах во время глубинного бурения. Инженеров-строителей интересует прочность, трещиностойкость, износостойкость, ударная прочность, морозостойкость природных строительных материалов (мрамор, известняк, гранит, песчаник и др.) и искусственных (бетоны, композиты, керамика, стекла и др.). При исследовании процессов горных работ горные инженеры изучают поведение пород при бурении скважин, формировании устойчивых уступов на карьерах, проходке горных выработок, взрывном дроблении, механическом дроблении и измельчении на обогатительных фабриках. По некоторым оценкам, при добыче и переработке полезных ископаемых свыше 80 % энергии расходуется на процессы дробления и измельчения горных пород на обогатительных фабриках, а остальные энергозатраты приходятся на другие технологические процессы.

Таким образом, информация о прочностных характеристиках горных пород и механизме разрушения позволяет принимать рациональные технологические решения по энерго- и ресурсосбережению. Поэтому важность исследований в этой области трудно переоценить.

ВВЕДЕНИЕ	5
1. СВЯЗЬ ПЕТРОГРАФИЧЕСКИХ И ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОРНЫХ ПОРОД	6
2. КЛАССИФИКАЦИЯ ТИПОВ И РЕЖИМОВ РАЗРУШЕНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ	13
3. ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД	19
4. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ ИДЕАЛЬНОГО КРИСТАЛЛА	23
5. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ КРИТЕРИЕВ ПРОЧНОСТИ И ПЛАСТИЧНОСТИ	26
6. КЛАССИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ПРОЧНОСТИ	28
6.1. Критерий наибольших нормальных напряжений.....	29
6.2. Критерий наибольших линейных деформаций.....	29
6.3. Критерий наибольших касательных напряжений.....	30
6.4. Критерий максимальной удельной энергии формоизменения.....	31
7. КРИТЕРИИ ПРОЧНОСТИ ДЛЯ МАТЕРИАЛОВ, НЕОДИНАКОВО СОПРОТИВЛЯЮЩИХСЯ РАСТЯЖЕНИЮ И СЖАТИЮ	35
7.1. Критерий прочности Кулона — Навье.....	35
7.2. Критерий прочности Мора.....	38
7.3. Стандартная огибающая кругов Мора для горных пород.....	45

7.4. Критерий Баландина	51
7.5. Критерий Шлейхера — Надаи	52
7.6. Достоинства и недостатки критериев прочности и пластичности	52
8. МЕХАНИКА РАССЕЯННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ	54
8.1. Общие представления о построении критериев длительной прочности	54
8.2. Принцип линейного суммирования повреждений	57
8.3. Кинетическое уравнение поврежденности	60
8.4. Кинетическая теория прочности. Критерий Журкова	61
8.5. Обоснование величины эквивалентного напряжения в уравнении долговечности	65
8.6. Определение термокинетических параметров горных пород на основе базовых прочностных свойств	68
8.7. Критерий механики рассеянных повреждений Качанова	70
Контрольные вопросы	73
9. ЛИНЕЙНАЯ МЕХАНИКА РАЗРУШЕНИЯ	75
9.1. Концентрация напряжений	75
9.2. Условие хрупкого разрушения и распространения трещин по Гриффитсу	80
9.3. Напряженно-деформированное состояние в вершине трещины	87
9.4. Критерий Ирвина	92
9.5. Модель хрупкой трещины с зоной ослабленных связей в вершине трещины	96
9.6. Механизм вязкого разрушения. Пластичность тел с трещинами	99
9.7. Инвариантные Γ -интеграл Черепанова и J -интеграл Райса	102
Контрольные вопросы	108

10. ОСНОВНЫЕ ЭФФЕКТЫ ПРОЦЕССОВ РАЗРУШЕНИЯ..... 110

11. НЕКОТОРЫЕ ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД 117

11.1. Самоподдерживающееся разрушение при горном ударе..... 117

11.2. Механизм хрупкого разрушения при ударе твердым телом по полупространству..... 126

11.3. Модель расчета эффективности взрывной отбойки породного массива скважинными зарядами..... 140

11.4. Оптимизация расположения сетки скважин при взрывной отбойке породного массива..... 146

11.5. Исследование влияния комбинации касательных и нормальных напряжений на контуре скважин на эффективность взрывной отбойки породного массива 150

11.6. Энергонасыщение породного массива при взрывной отбойке под действием источников напряжений, имеющих эллиптическое поперечное сечение..... 158

11.7. Энергозатраты на стадиях дробления и измельчения горных пород 165

Контрольные вопросы 174

12. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО МЕХАНИЧЕСКОМУ РАЗРУШЕНИЮ ГОРНЫХ ПОРОД 176

12.1. Определение предела прочности горных пород при одноосном сжатии 176

12.2. Определение предела прочности горных пород при сжатии в сухом и водонасыщенном состоянии..... 179

12.3. Определение предела прочности горных пород при многократном раскалывании и сжатии 181

12.4. Определение предела прочности горных пород при растяжении..... 184

12.5. Определение предела прочности горных пород при срезе со сжатием 187

12.6. Определение предела прочности на растяжение при изгибе горной породы.....	190
12.7. Определение предела прочности образцов произвольной формы при разрушении встречными сферическими инденторами.....	193
12.8. Определение сопротивления горной породы ударным воздействиям.....	196
12.9. Определение энергозатрат при разрушении горных пород на маятниковом копре.....	198
12.10. Определение разрушаемости горных пород одиночным ударом.....	201
12.11. Определение контактной прочности горных пород.....	203
12.12. Определение вязкости разрушения и поверхностной энергии разрушения горных пород.....	204
12.13. Определение абразивности горных пород.....	207
12.14. Определение удельной энергоемкости выкола в зависимости от энергии удара.....	209
12.15. Оптимизация разрушения горных пород выколом в зависимости от формы индентора.....	212
12.16. Исследование влияния нагрева на показатели механического дробления и измельчения горных пород.....	213
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	216