

В. М. Корнев, В. В. Коробков, Р. А. Кулагин

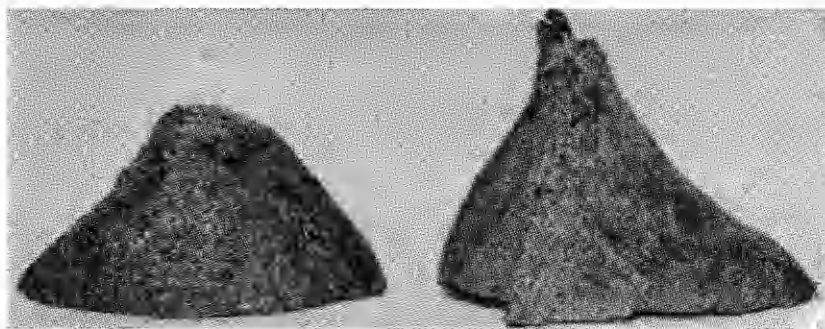
ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО РАЗРУШЕНИЮ БЛОКОВ ЧУГУНА ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

В [1, 2] отмечалось, что при использовании высокоэнергетических ударных устройств резко повышается эффективность разрушения горных пород. Известные работы (см., например, [2—7]), рассматривающие различные аспекты взаимодействия ударного инструмента с разрушаемым массивом, не содержат достаточной информации для объяснения замеченного феномена. Одной из причин этого, по-видимому, является то, что при дроблении горных пород трудно проследить за характером разрушения из-за переизмельчения породы в месте контакта инструмента с разрушаемым материалом. Поэтому для экспериментов выбран хрупкий материал — чугун, обладающий некоторыми пластическими свойствами. Процесс разрушения при дроблении достаточно однородного объекта (чугуна) отличается от такового при дроблении горной породы (см., например, [1, 5, 7]). Поняв характер разрушения чугуна при воздействии тупого инструмента на блок материала, можно высказать предположения о характере разрушения горных пород и интенсифицировать процесс разрушения чугуна (последний вопрос связан с оптимизацией ломопереработки).

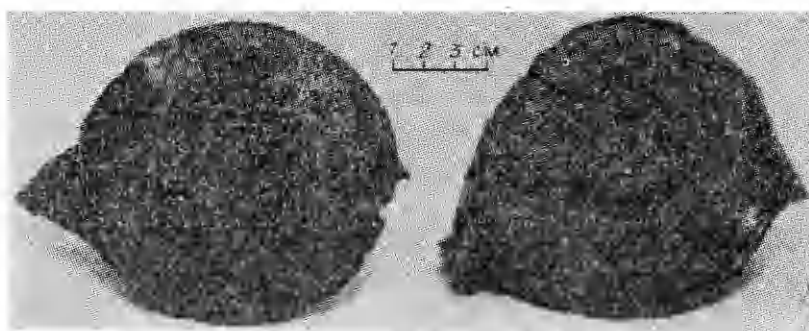
Проведен эксперимент по дроблению чугунного лома гидропневматическим молотом метательного типа М100 с энергией удара до 0,1 МДж. Молот испытывался на Череповецком металлургическом комбинате в составе агрегата АД1, изготовленного по документации, разработанной совместно Институтом гидродинамики им. М. А. Лаврентьева и СКБ гидроимпульсной техники СО АН СССР.

Разрушение материалов при работе молота М100 производится последовательным нанесением ударов ударником по разрушаемому объекту [8]. Длина ударника 3 м, масса около 1,5 т, скорость встречи ударника с преградой может превосходить 10 м/с; длина ударника в несколько раз превышала толщину разрушаемого блока. Кроме того, в передней части ударника закреплен сменный инструмент — боек, площадь поперечного сечения которого на порядок меньше, чем у ударника. В эксперименте тупой боек имел центральное отверстие. Боек в момент удара выполняет роль упругой пружины между ударником и разрушаемым объектом, что приводит к существенному увеличению времени действия нагрузки на разрушаемый материал. Поэтому выбранная плоская схема нагружения при численном эксперименте [9] как по времени (двойной пробег волны сжатия по блоку), так и по распределению интенсивности прикладываемой нагрузки соответствует тому динамическому процессу, который реализовывался в натурном трехмерном эксперименте.

Отметим некоторые особенности характера разрушения материала. До полного разрушения блока требуется нанести в одну точку от трех до десяти ударов (энергия единичного удара 0,1 МДж). В месте их нанесения на поверхности чугуна образуется вмятина, равная в поперечнике диаметру бойка, с четким отпечатком центрального отверстия бойка (рис. 1, 2, где представлены типичные керны, образовавшиеся при дроблении чугуна, соответственно сбоку и со стороны бойка, т. е. со стороны удара). К моменту разрушения глубина этой вмятины, как правило, не превышает 5 мм. Видимое макроразрушение начинается как одна или несколько трещин, направленных радиально от образовавшейся вмятины, причем трещины в подавляющем большинстве случаев не распространяются внутрь деформированной зоны. Поверхность разлома обычно перпендикулярна поверхности, по которой наносились удары. На поперечном сечении в месте разлома всегда наблюдалась уплотненная зона или керн, имеющий характерную форму головки снаряда или клина (в зависимости от конфигурации и толщины разрушаемого объекта); максимальный диаметр керна на поверхности удара примерно равен диаметру бойка, а его высота составляет 0,55—0,65 диаметра бойка. В момент раскалывания материала блока этот керн зачастую полностью отделяется от образовавшихся обломков (см. рис. 1, 2).



Р и с. 1



Р и с. 2

Форма керна достаточно близко совпадает с формой главного объема давления, рассматриваемого в [2], однако его высота существенно меньше высоты главного объема давления (0,77—1,06 диаметра), вычисленного на основе концепции [2]. Вместе с тем форма керна соответствует характеру разрушения, предсказанному в работе [9, рис. 6], согласно которой разделение блока на части связано с возникновением впереди острого клина зоны растягивающих напряжений (в нашем случае эта зона сохраняется в течение достаточно длительного времени). Натурный эксперимент не подтвердил предположение [1] о том, что при высокоэнергетическом ударе геометрия инструмента (бойка) не влияет на эффективность разрушения.

На основе экспериментов по разрушению блоков чугуна можно считать, что при высокоэнергетическом ударном разрушении горных пород на последних стадиях процесса впереди тупого инструмента формируется (аналогично проведенным экспериментам) «коническая» головка, которая отделена от разрушаемого материала зоной скольжения. После завершения процесса разрушения — разделения объекта на части — эта «коническая» головка сама полностью или частично разрушается из-за взаимодействия с осколками и снятия гидростатической составляющей напряжений при разгрузке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Войцеховский Б. В., Митин Л. А., Войцеховская Ф. Ф. Эффективность применения высоких энергий удара для разрушения крепких скальных пород // ФТПРПИ. — 1973. — № 4.
2. Остроушко И. А. Разрушение горных пород при бурении (К теории забойных процессов). — М.: Госгеолиздат, 1952.
3. Барон Л. И. Горно-технологическое породоведение (Предмет и способы исследований). — М.: Наука, 1977.
4. Соколинский В. Б. Машины ударного разрушения (Основы комплексного проектирования). — М.: Машиностроение, 1982.

5. Протасов Ю. И. Теоретические основы механического разрушения горных пород. — М.: Недра, 1985.
6. Колесников Ю. В., Морозов Е. М. Механика контактного разрушения. — М.: Наука, 1989.
7. Падуков В. А., Антоненко В. А., Подозерский Д. С. Разрушение горных пород при ударе и взрыве. — Л.: Наука, 1971.
8. Фадеев П. Я., Коробков В. В., Фадеев В. Я. и др. Испытания бутобоя с высокоэнергетическим гидродневматическим молотом // Горн. журн. — 1986. — № 8.
9. Астапов Н. С., Корнев В. М. Динамическое деформирование блока упругого материала // ПМТФ. — 1991. — № 2.

г. Новосибирск

Поступила 29/I 1990 г.,
в окончательном варианте — 2/XI 1990 г.

УДК 539.3

С. А. Бублик, И. Г. Кадомцев

К ВОПРОСУ О ПРОДОЛЬНОМ УДАРЕ ТЕЛА ПО СТЕРЖНЮ

В квазистатической постановке рассматривается продольный упругопластический удар тела по полубесконечному стержню. Хорошо известно упругое решение этой задачи, предложенное Сирсом [1], однако оно подтверждается экспериментальными данными только для малых скоростей удара. С ростом скорости удара в области контакта появляются пластические деформации, которые заметно сказываются на основных параметрах удара: сила контактного взаимодействия P , местное смятие α , время контакта.

Задача о неупругом ударе в точной постановке приводит к динамической упругопластической задаче, которая в силу своей сложности решается либо численно, либо приближенно. Полагая, что скорость удара много меньше скорости звука в телах, можно пренебречь инерцией местного смятия и решать задачу в квазистатической постановке, т. е. считать, что зависимость $\alpha(P)$ в динамической задаче остается такой же, как и в статической. В работе принимается, что общие перемещения стержня можно считать упругими, а местные в области контакта тела и стержня — упругопластическими. Применяется построенная ранее модель местного смятия осесимметричных упругопластических тел $\alpha(P)$, которая отличается от предшествующих тем, что в ней учитывается вытекание материала в зоне контакта, а пластические деформации учитываются с момента, когда средние напряжения в зоне контакта достигают бринеллевских [2].

Поместим начало координат в точку начального касания тела и стержня. Уравнение продольных колебаний стержня имеет вид

$$(1) \quad \partial^2 u_1 / \partial t^2 = a_1 \partial^2 u_1 / \partial x^2, \quad a_1 = (E_1 / \rho_1)^{1/2}.$$

Здесь u_1 — продольное смещение точек стержня; E_1 — модуль Юнга; ρ_1 — плотность материала стержня.

Перемещение тела описывается уравнением

$$m \partial^2 u_2 / \partial t^2 = -P(t),$$

где u_2 — перемещение тела; m — его масса; $P(t)$ — сила контактного взаимодействия тела и стержня. Начальные условия следующие:

$$u_1(x, 0) = 0, \quad u_2(x, 0) = 0, \quad \partial u_1(x, 0) / \partial t = 0, \quad \partial u_2(x, 0) / \partial t = v_0$$

(v_0 — начальная скорость соударения). Местное смятие имеет вид

$$(2) \quad \alpha = u_2(0, t) - u_1(0, t).$$

На конце стержня выполняется условие

$$(3) \quad E_1 F_1 \partial u_1(0, t) / \partial x = -P(t)$$

(F_1 — площадь поперечного сечения стержня).

Применим к (1) и (3) преобразование Лапласа:

$$(4) \quad \partial^2 U_1 / \partial x^2 = x^2 U_1 / a_1^2;$$

$$(5) \quad s U_1(0, s) = a_1 Q / (E_1 F_1),$$

$$U_1 = s \int_0^\infty u_1(x, t) \exp(-st) dt, \quad Q = s \int_0^\infty P(t) \exp(-st) dt$$