

УДК 622.233

И.А. Жуков, Л.Т. Дворников, В.Н. Цвигун

ЭФФЕКТ СИМУЛЬТАННОСТИ ПРИ УДАРНОМ РАЗРУШЕНИИ ГОРНОЙ ПОРОДЫ БЕЗЛЕЗВИЙНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

Одним из наиболее распространенных процессов сооружения горной выработки или шахтного ствола путем разрушения горных пород на забое является бурение. По характеру разрушения породы применяемые способы бурения делятся на механические – буровой инструмент непосредственно воздействует на горную породу, разрушая ее, и немеханические – разрушение происходит без непосредственного контакта с породой источника воздействия на нее (термическое, взрывное и др.). Механические способы бурения подразделяют на вращательные и ударные. При вращательном бурении порода разрушается за счет вращения прижатого к забою инструмента.

В зависимости от прочности породы при вращательном бурении применяют буровой инструмент лезвийного типа. При ударно-поворотном бурении породоразрушающий инструмент находится под большим осевым давлением в постоянном контакте с породой и разрушает ее за счет наносимых ударов и периодического поворотного движения инструмента. В результате вращательного движения в горной породе образуются отверстия круглого сечения, при этом происходит неизбежный абразивный износ режущих лезвий инструмента, которые, являясь концентратором напряжений, позволяют передавать через себя ограниченную их физико-механическими свойствами энергию, что препятствует решению проблемы повышения производительности буровых машин.

В работе [1] впервые высказана мысль о возможности ударного бурения шпурков, т.е. без поворота инструмента вокруг его оси. Ударный способ разрушения хрупких сред позволяет уйти от необходимости применения бурового инструмента с режущими лезвиями. Существенного увеличения производительности бурения возможно добиться путем применения безлезвийного инструмента – буровых коронок с твердосплавными вставками – инденторами.

Наиболее распространенными для бурения хрупких горных пород средней и высокой крепости в настоящее время являются буровые коронки, оснащенные цилиндросферическими твердосплавными вставками. Первое применение твердосплавных вставок с полусферической рабочей поверхностью для армирования бурового инструмента ударного действия приходится на конец 1960-х годов. Промышленные испытания показали их значительные преимущества по сравнению с лезвийным инструментом по стойкости, скорости бурения, удельному расходу твердого сплава, затратам на бурение. Применение цилиндросфери-

ческих вставок для оснащения коронки позволяет простыми средствами (изменяя, например, их диаметр, количество и схему размещения) создать практически неограниченное количество вариантов конструкций коронок и, следовательно, для данных конкретных горно-технологических условий месторождения выбрать наиболее оптимальную конструкцию. Однако, в настоящее время нет обоснованных рекомендаций по выбору диаметра, формы и числа вставок, схемы их размещения, в связи с этим работы по созданию новых конструкций продолжаются и в настоящее время.

Рассмотрим процесс взаимодействия сферических инденторов с поверхностью горной породы, механизм разрушения которой имеет ярко выраженный упруго-хрупкий. Предыдущими исследованиями [2-4] было установлено, что хрупкому разрушению поверхности крепких горных пород предшествует стадия упругого деформирования, и порода на данном этапе может рассматриваться как упругое полупространство. Характер взаимодействия сферы с поверхностью породы можно представить в виде следующих этапов, показанных на рис. 1.

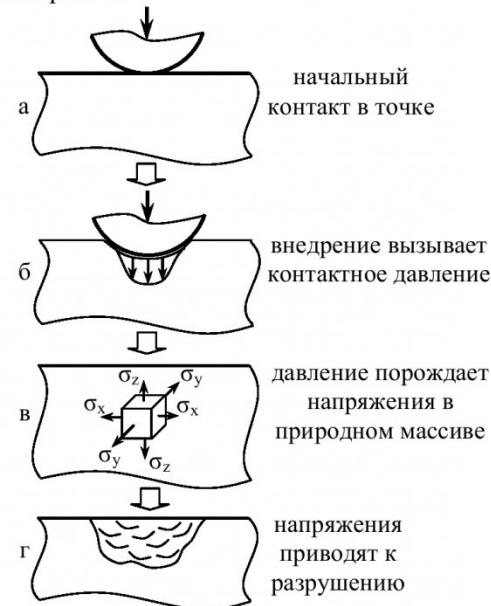


Рис. 1. Разрушение горной породы индентором

Первоначально сфера контактирует с поверхностью породы в точке. При взаимодействии сферы с породой поверхность последней деформируется, формируя при этом некоторую площадку контакта. Возникающее по площадке контакта давление порождает в поверхностном слое породы напряжения. При достижении внутренними на-

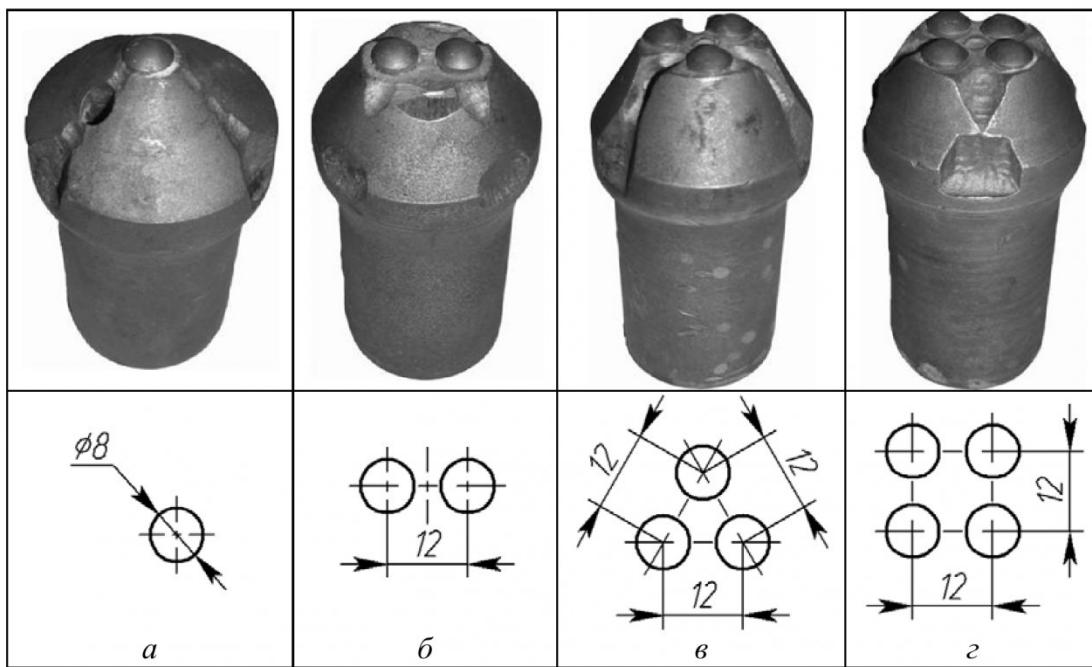


Рис. 2. Безлезвийные буровые коронки

пряжениями предельных значений происходит хрупкое разрушение породы под вставкой и образуется лунка выкола, объем которой существенно превышает объем внедрившейся части инденторов.

Практический интерес с точки зрения рационального размещения породоразрушающих элементов на ударном торце коронки представляют теоретические и экспериментальные исследования так называемого эффекта симультанности при

одновременном вдавливании в горную породу нескольких инденторов. Ранними экспериментальными исследованиями было установлено, что если две сферические вставки разместить на достаточно близком расстоянии и внедрять их одновременно, то возможно образование лунки общего скола с плоским дном. Данный эффект основан на суперпозиции полей напряжений породного массива в пространстве между инденторами. Расстояние между инденторами и схема размещения за-

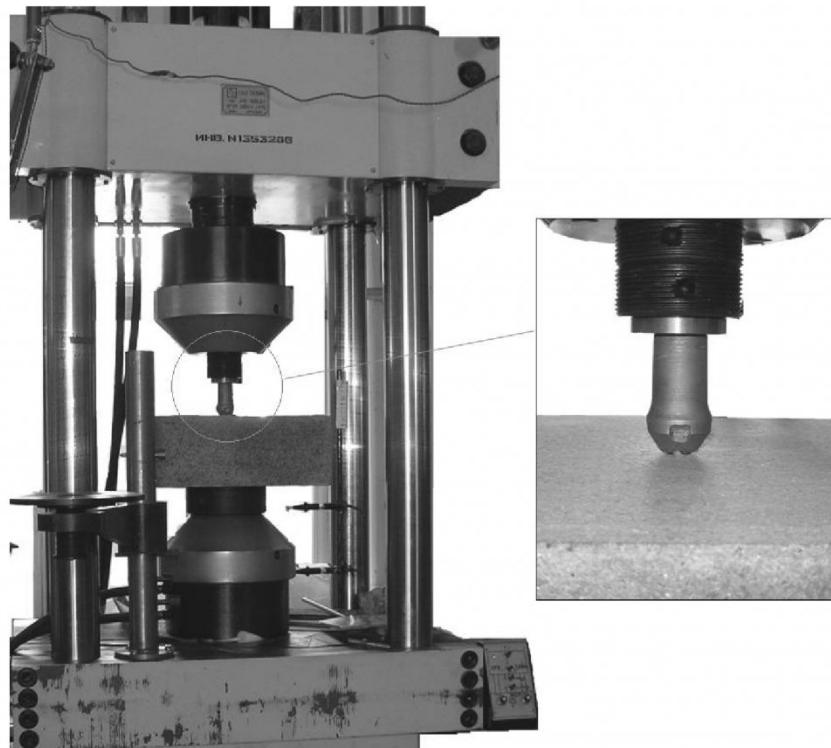


Рис. 3. МашинаВ испытательная универсальная ИК-500.01



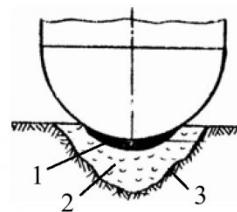
Рис. 4. Разрушение горной породы безлезвийным инструментом

висят от физико-механических свойств горных пород и энергетических параметров бурильных машин. Разрушение хрупкой среды путем бурения без поворота инструмента возможно лишь в том случае, когда взаимное расположение твердосплавных вставок на конце инструмента позволит разрушить весь забой шпера за один удар, иначе коронка «сидет» участками корпуса между вставками на забой. Значимость эффекта совместности при разрушении поверхностного слоя породы подтверждается в работах [5-6].

С целью подтверждения предположения о возможности бурения горных пород без вращения инструмента вокруг его оси, а также выявления особенностей бесповоротного внедрения твердосплавных вставок авторами проведено экспериментальное исследование. В качестве опытных образцов использовались буровые коронки, армированные цилиндросферическими твердосплавными вставками (рис. 2). Инденторы размещены по четырем схемам: одиночный индентор (рисунок 2,а); два индентора (рисунок 2,б); три индентора, расположенные в вершинах равностороннего треугольника (рис. 2,в); четыре индентора, размещенные в вершинах квадрата (рис. 2,г).

В качестве разрушающего объекта использовались блоки горной породы размером 40x36x15 см. Порода представлена гранитом мелкозернистым, плотным, со средним значением предела прочности на сжатие $\sigma_{сж}=180 \text{ кгс}/\text{см}^2$, что соответствует коэффициенту крепости по шкале проф. М.М. Протодьяконова $f=18$. Размеры образцов горной породы выбраны из следующих условий:

- абсолютные размеры и формы образцов



1 – сильно спрессованный слой породы,
2 – зона раздробленной породы,
3 – контур лунки выкола

Рис. 5. Профиль лунки выкола при внедрении одиночного индентора

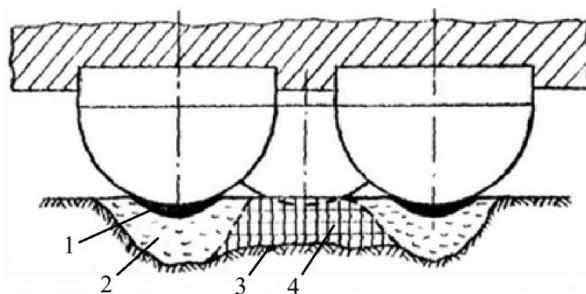
не должны влиять на результаты исследования;

– образец должен превосходить объем, в котором процесс разрушения при бурении может оказывать влияние эффект взаимодействия с границами образца упругих волн деформаций.

Эксперимент проводился на машине испытательной универсальной ИК-500.01 (рис. 3).

Блок горной породы устанавливается на нижнюю платформу стенда, вертикально ориентированная буровая коронка закрепляется в верхней части стенда и фиксируется от возможности поворота в процессе испытания. Принцип работы машины – электрогидравлический. Поток жидкости, создаваемый насосной установкой, направляется к исполнительным механизмам нагружающего устройства с помощью электрических сигналов системы управления. С помощью соответствующей настройки гидравлической станции устанавливается скорость и максимальная величина нагрузки. После включения стенда устанавливается контакт между коронкой и гранитным блоком. Затем на коронку подается нагрузка со скоростью $V_H=1 \text{ кН}/\text{с}$, и параллельно компьютерной системой управления производится запись диаграммы зависимости глубины внедрения коронки в гранит от величины нагрузки. Первый цикл испытания продолжается до момента разрушения породы и внедрения инструмента с образованием характерной лунки выкола под инденторами (рис. 4).

Последующее испытание осуществляется после очистки лунки от разрушенной породы и установки буровой коронки в ту же лунку. Нагружение продолжается до момента достижения величины подаваемого усилия $F_{max}=100 \text{ кН}$. После ка-



1 – сильно спрессованный слой породы, 2 – зона раздробленной породы,
3 – контур совместной лунки, 4 – зона крупного скола

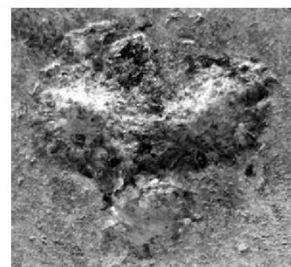


Рис. 6. Профиль лунки выкола при внедрении трех инденторов

ждого испытания производится замер объема разрушенной породы. Цикл повторяется до трех раз.

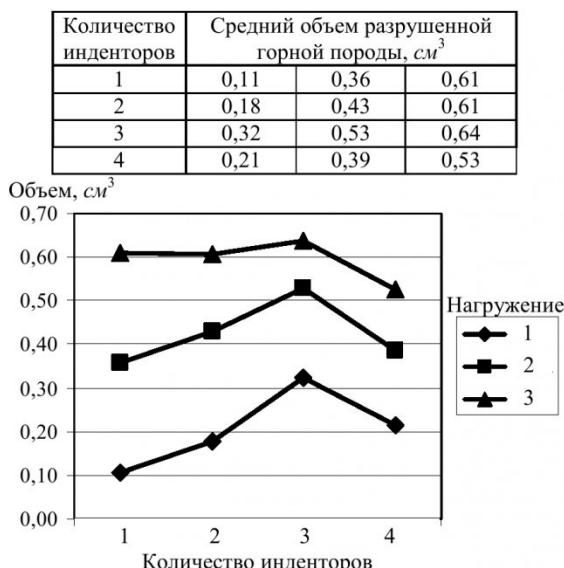


Рис. 7. Диаграмма объема разрушенной породы

Наблюдения за характером разрушения породы показывают, что при внедрении одиночного индентора (рис. 5) непосредственно под контактной площадкой образуется сильно спрессованный и достаточно тонкий чашеобразный слой породы несколько меньшего диаметра (на 1-2мм), чем диаметр лунки выкола. Остальная часть разрушенной породы представляет собой менее спрессованные раздробленные частички породы, удаляемые без значимых усилий острым предметом.

При одновременном внедрении трех инденто-

ров, расположенных по схеме равностороннего треугольника (рис. 6), характер разрушения породы под каждой сферой аналогичен описанному выше. Часть породы в пространстве между инденторами разрушается крупным сколом. При оптимальном расстоянии между соседними инденторами, обеспечивающим совместный скол породы, суммарный объем разрушения растет в среднем в 1,5-2,5 раза.

Оценка среднего объема разрушения (рис. 7) при одновременном вдавливании 1, 2, 3, 4-х инденторов, расположенных по схемам согласно рис. 3, показала, что наиболее оптимальной является схема нагружения, при которой одновременно внедряемые инденторы находятся в вершинах равностороннего треугольника.

Если несколько одновременно внедряемых инденторов разместить на породоразрушающей части бурового инструмента таким образом, что любые, рядом расположенные, три индентора будут лежать в вершинах равностороннего треугольника, то слой породы в пространстве между инденторами будет разрушен за один удар. Следовательно, задаваясь конкретным значением диаметра шпера, можно найти такое взаимное расположение троек инденторов, которое позволит бурить отверстие ударом без вращения инструмента вокруг его геометрической оси, обеспечивая тем самым возможность получения отверстий не-круглого сечения. Таким образом, экспериментально подтвержден эффект взаимовлияния близко расположенных и одновременно внедряемых инденторов – эффекта симультанности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дворников Л.Т. Бурение шпуров без вращения инструмента с рациональным размещением твердо-сплавных вставок / Л.Т. Дворников, Ю.А. Прядко, С.Н. Гудимов // Изв. вузов. Горный журнал. – 1987. – №11. – С. 95-100.
2. Шрейнер Л.А. Твердость хрупких тел. – Изд. АН СССР, 1949. – 144 с.
3. Александров Е.В. Исследование взаимодействия инструмента и горной породы при ударном разрушении / Е.В. Александров, В.Б. Соколинский, Г.М. Захариков и др. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1967. – 62 с.
4. Крюков Г.М. Сопротивление горных пород средней и выше средней крепости внедрению в них твердых инструментов. – Изв. Вузов: Горный журнал. – 1975. – №8. – С. 44-51.
5. Барон Л.И. Об эффекте совместности при разрушении горных пород групповым инструментом / Л.И. Барон, Л.Б. Глатман, Ю.Н. Козлов // Физика горных пород и процессов. – М.: Недра, 1971. – С. 215-216
6. Арцимович Г.В. Механофизические основы создания породоразрушающего инструмента. – Новосибирск: Наука, 1985. – 268 с.

Авторы статьи

Жуков

Иван Алексеевич

– канд. техн. наук, доц. каф. теории механизмов и машин и основ конструирования (Сибирский государственный индустриальный университет) zhival@yandex.ru

Дворников

Леонид Трофимович

– докт. техн. наук, проф., зав. каф. теории механизмов и машин и основ конструирования (Сибирский государственный индустриальный университет), tmmiok@yandex.ru

Цвигун

Владимир Несторович

– канд. техн. наук, старший научный сотрудник лаб. механических испытаний материалов (Сибирский государственный индустриальный университет)