

ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

DOI: 10.26730/1999-4125-2018-1-93-98

УДК 622.2833

МЕХАНИКА РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД УДАРОМ ПРИ ОДНОВРЕМЕННОМ ВНЕДРЕНИИ НЕСКОЛЬКИХ ИНДЕНТОРОВ

MECHANICS OF ROCK DESTRUCTION BY AN IMPACT AT SIMULTANEOUS INTRUSION OF SEVERAL INDENTERS

Жуков Иван Алексеевич,

к.т.н., доцент, e-mail: tmmiok@yandex.ru

Zhukov Ivan A.,

candidate of technical sciences, associate professor

Сибирский государственный индустриальный университет, 654007, Россия, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42

Siberian State Industrial University, 42 Kirova street, Novokuznetsk, 654007, Russian Federation

Аннотация: Актуальность работы. Обоснование эффективности разрушения горной породы различным буровым инструментом связано с необходимостью повышения производительности буровых работ и уменьшения энергоемкости процесса разрушения.

Целью работы является поиск и обоснование рациональных геометрических параметров инденторов и схем их размещения на буровом инструменте, обеспечивающих разрушение горной породы ударными воздействиями, в том числе для получения шпуров некруглого сечения.

Методы исследования основаны на проведении физического эксперимента по горной породе высокой крепости с различным количеством одновременно внедряемых инденторов.

Результаты исследований показали возможность оценки механизма разрушения пород высокой крепости на основе анализа зависимости «сила – внедрение»; доказывают оптимальность применения схемы равнобедренного треугольника для армирования бурового инструмента твердосплавными вставками; свидетельствуют о возможности бурения ударными воздействиями шпуров некруглого поперечного сечения.

Abstract: The urgency of the study. Justification of the efficiency of rock destruction by various drilling tools is connected with the need to increase productivity of drilling operations and to reduce power consumption in the process of destruction.

The purpose of the work is searching and justification of rational geometrical parameters of the indenters and schemes of their placement on the drilling tool ensuring rock destruction by impact actions including for receiving blast-holes of non-round section.

The research methods are based on carrying out the physical experiment on rock of high hardness with a various number of indenters introduced at the same time.

The results of researches have shown the possibility of assessment of the mechanism of hard rock destruction on the basis of the analysis of dependence "force – introduction"; they prove optimality of application of the scheme of the equilateral triangle for reinforcing the drilling tool with hard-alloy inserts confirming the possibility of drilling by impact actions of blast-holes with non-round cross section.

Ключевые слова: удар, разрушение, бурение, шпур, горная порода.

Key words: impact, destruction, drilling, blast-hole, rock.

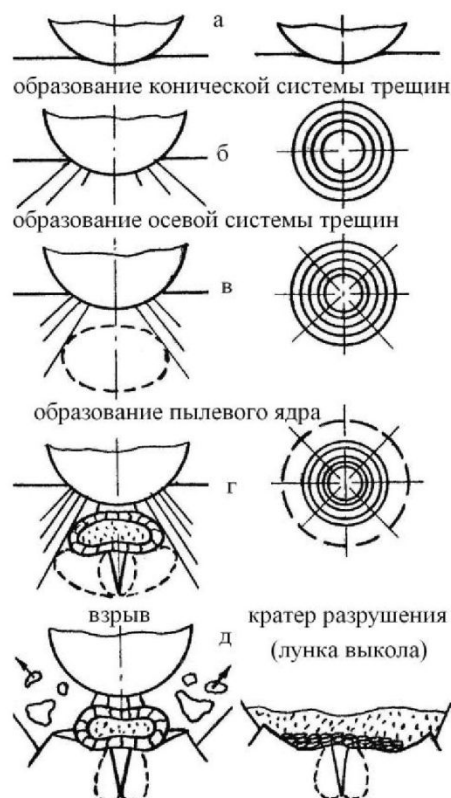


Рис. 1. Разрушение горной породы индентором
Fig. 1. Rock destruction by an indenter

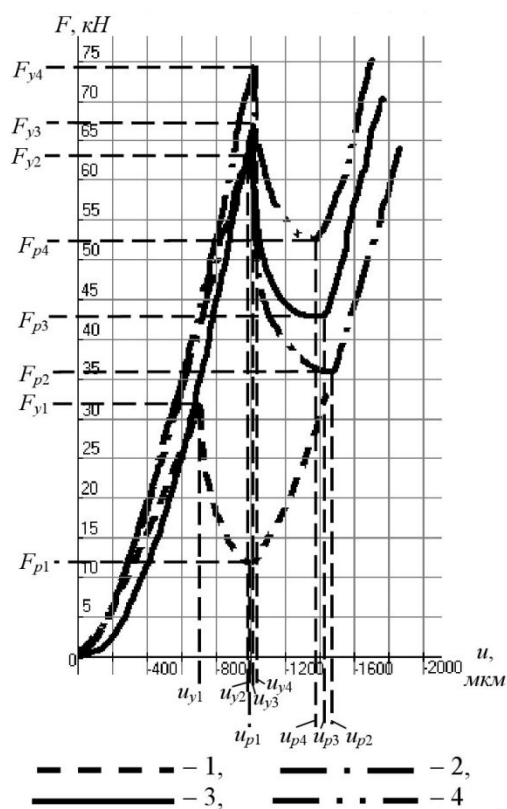


Рис. 2. Зависимость «сила–внедрение» для буровых коронок с числом инденторов 1, 2, 3, 4
Fig. 2. Dependence "force – introduction" for drill bits with quantity of indenter 1, 2, 3, 4

В зависимости от физико-механических свойств горных пород и параметров воздействия эффективность ее разрушения разными по форме инденторами различна. В связи с этим изучение

механизмов разрушения горных пород имеет большое значение для создания научных основ проектирования породоразрушающей части инструмента и обоснованного выбора силовых и энергетических параметров бурильных машин.

Особый интерес представляют теоретические и экспериментальные исследования взаимодействия с горной породой сферических инденторов [1]. Основные уравнения, описывающие напряженное состояние упругого взаимодействия двух тел с криволинейной поверхностью, а также решение частной задачи взаимодействия сферы с упругим полупространством, были получены Г. Герцем. Полученные Герцем соотношения были впоследствии использованы для описания механизмов разрушения поверхностного слоя породы сферическими инденторами. Шрейнер Л.А. [2] отмечает, что при внедрении сферы в породу одновременно существует два напряженных состояния, способных привести к разрушению. Одно из них связано с нормальными напряжениями разрыва, имеющими максимум на поверхности, другое – с касательными напряжениями, достигающими максимальное значение в глубине породы. Достижение предельного состояния тем или другим видом напряжений определяется физико-механическими свойствами породы. В основе механизмов разрушения при вдавливании сферы, описанные в работах [3, 4], также лежит положение о наличии двух критических зон начала разрушения. Большой объем экспериментальных исследований взаимодействия с хрупкой средой сферических инденторов проведен Е.В. Александровым и В.Б. Соколинским [5]. Авторы [6] описывают метод определения твердости горных пород путем вдавливания сферических инденторов и отмечают, что отношение усилия, при котором наступает хрупкий выкол породы, к произведению диаметра вдавливаемой сферы на глубину лунки выкола есть величина постоянная.

Практический интерес с точки зрения рационального размещения породоразрушающих элементов на ударном торце коронки представляют теоретические и экспериментальные исследования так называемого эффекта simultанности при одновременном вдавливании в горную породу

нескольких инденторов. Физическим обоснованием эффекта simultанности является суперпозиция полей напряжений породного массива в пространстве между инденторами. Для выяснения значимости эффекта simultанности Л.И. Бароном, Л.Б. Глатманом и Ю.Н. Козловым [7] была проведена серия экспериментов по вдавливанию одиночных и сдвоенных инденторов в различные горные породы. В результате было установлено относительное снижение усилия вдавливания сдвоенных инденторов по сравнению с усилием при вдавливании одиночного индентора до 45%. Отмечено, что отношение шага вдавливания, при котором не сказывается влияние соседней лунки, к диаметру индентора для каждой породы есть величина постоянная и не зависящая от абсолютного значения диаметра индентора. Значимость эффекта simultанности при разрушении поверхностного слоя породы подтверждается также в работе [8-13].

В работе [14, 15] автором показаны результаты экспериментального изучения внедрения в горную породу инденторов – одиночных, сдвоенных и расположенных в вершинах треугольника и квадрата. В качестве основных выводов, дающих новые знания о механизме разрушения горных пород ударом, можно отметить следующие.

1. Хрупкому разрушению поверхности породы предшествует ее упругая деформация. При этом хрупкое разрушение наступает в момент достижения напряжениями в породном массиве при его упругом деформировании своих предельных значений. Понимание роли напряженного состояния породного массива позволило определить критические зоны начала хрупкого разрушения, а также установить принципиальное различие в механизмах разрушения пород острым лезвием, лезвием с площадкой притупления, сферой. Основные стадии схемы разрушения представлены на рис. 1.

Характер записанных в ходе испытаний диаграмм зависимости «сила–внедрение» (рис. 2) показывает, что при разрушении горной породы твердосплавными вставками происходит накопление энергии и развивается упругая деформация u_y до достижения подаваемой нагрузки значения F_y . При взаимодействии индентора с породой

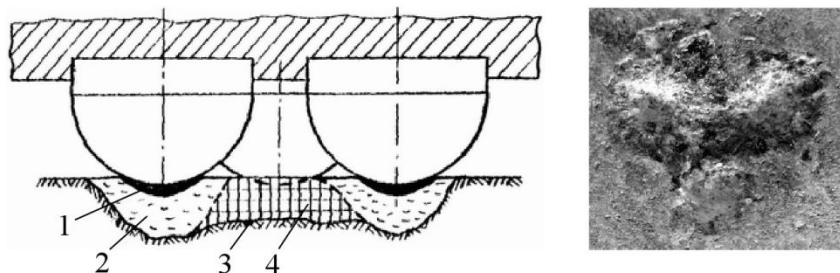


Рис. 3. Профиль лунки выкола при внедрении трех инденторов:

Fig. 3. Profile of the hole cut in the introduction of three indentors:

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

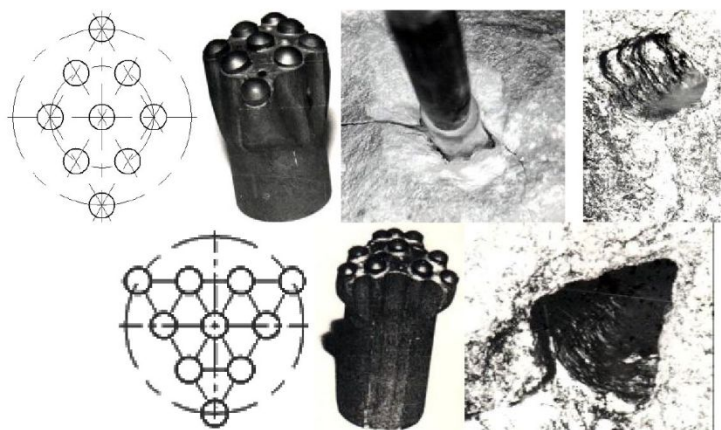


Рис. 4. Бурение шпуров ромбического и треугольного сечений

Fig. 4. Drilling of blastholes of rhombic and triangular sections

поверхность последней деформируется, формируя при этом некоторую площадку контакта. Возникающее по площадке контакта давление порождает в поверхностном слое породы напряжения. При достижении внутренними напряжениями предельных значений происходит хрупкое разрушение породы под вставкой и внедрение индентора на величину u_p при величине нагрузки, равной F_p . При этом отмечено, что объем лунки выкола существенно больше внедрившейся части сферы.

2. При одновременном внедрении двух, трех (рис. 3), четырех инденторов, часть породы в пространстве между инденторами разрушается крупным сколом. При оптимальном расстоянии между соседними инденторами (– диаметр рабочей части индентора), обеспечивающим совместный скол породы, суммарный объем разрушения возрастает в среднем в 1,5-2,5 раза.

3. 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. Задаваясь конкретным значением диаметра шпура, 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 некруглого сечения.

Экспериментальные исследования бурового инструмента (рис. 4), которым можно бурить шпуры в крепких горных породах без вращения, проводились на буровой установке, оснащенной пневматическим колонковым перфоратором с независимым вращателем с энергией удара 50-90 Дж. За критерий эффективности принималась скорость бурения. Бурение осуществлялось в двух режимах: традиционном с вращением инструмента и без вращения. В результате экспериментов подтверждена принципиальная возможность бурения горных пород ударом без вращения (глубина пробуренных скважин 1,7 м). Однако, скорость бурения оказалась в среднем в 6-8 раз ниже, чем при бурении с вращением. Одним из основных предназначений технологии бурения некруглых шпуров является добыча каменных блоков правильных форм.

Таким образом, по результатам теоретических и экспериментальных исследований установлено, что подбор рациональных форм и схем размещения инденторов на безлезвийном ударном инструменте по результатам анализа экспериментальных математических моделей «сила – внедрение», дает возможность определять геометрические параметры инструмента машин ударного действия в зависимости от конкретных условий эксплуатации, в частности с целью разрушения горных пород с образованием шпуров и скважин некруглого сечения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жуков И.А. О результатах экспериментального исследования разрушения горной породы ударными воздействиями / И.А. Жуков, В.Н. Цвигун // МашиноСтроение. – 2009. – №19. – С. 125-137.
2. Шрейнер Л.А. Твердость хрупких тел. – М.: Изд. АН СССР, 1949. – 144 с.
3. Крюков Г.М. Сопротивление горных пород средней и выше средней крепости внедрению в них твердых инструментов. – Известия Вузов. Горный журнал. – 1975, №8. – С. 44-51.
4. Спивак А.И. Механика горных пород. – М.: Недра, 1965. – 192 с.
5. 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.

6. Хантеев В.Г. Метод определения твердости горных пород вдавливанием сферических инденторов и его практическое применение / В.Г. Хантеев, Н.С. Радченко // Физика горных пород и процессов. – М.: Недра, 1971. – С. 53-54.
7. 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.
8. Смоляницкий Б.Н., Репин А.А., Данилов Б.Б. и др. Повышение эффективности и долговечности импульсных машин для сооружения протяженных скважин в породных массивах / отв. ред. Б.Ф. Симонов. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2013. – 204 с.
9. Шадрина А.В., Саруев Л.А. Экспериментальное исследование влияния параметров ударной системы на разрушение гранита // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2013. № 4 (1). С. 276-280.
10. Реготунув А.С. К вопросу о разработке рациональных параметров инструмента штыревого типа и его воздействия на породу при бурении взрывных скважин // Горное оборудование и электромеханика. 2014. № 5. С. 37-42.
11. Реготунув А.С. Экспериментальное обоснование рациональных геометрических параметров коронок штыревого типа для повышения сколообразования в процессе бурения ударно-поворотным способом // Бюллетень научно-технической и экономической информации Черная металлургия. – 2016. – № 9. – С. 22-30.
12. Oparin V.N., Timonin V.V., Karpov V.N. Quantitative estimate of rotary-percussion drilling efficiency in rocks // Journal of Mining Science. 2016. Vol. 52, Issue 6. P. 1100-1111.
13. Dvornikov L.T., Korneyev V.A., Korneyev P.A., Krestovozdvizhensky P.D., Nikitenko S.M. Main development trends and some technical decisions on mining tools equipped with super-hard composite materials inserts // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, "All-Russian Conference on Challenges for Development in Mining Science and Mining Industry Devoted to the 85th Anniversary of Academician Mikhail Kurlenya". 2017. P. 012031.
14. Жуков И.А. К разработке безлезвийного бурового инструмента для разрушения горных пород высокой крепости // Горное оборудование и электромеханика. – 2011. – №6. – С. 39-41.
15. Zhukov I.A. About creation of machines for destruction of rock with formation of apertures of various cross-section / I.A. Zhukov, L.T. Dvornikov, S.M. Nikitenko // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 124. – №1. – P. 012171 – doi: 10.1088/1757-899X/124/1/012171.

REFERENCES

1. Zhukov I.A. O rezul'tatakh eksperimental'nogo issledovaniya razrusheniya gornoy porody udarnymi vozdeystviyami / I.A. Zhukov, V.N. Tsvigun // MashinoStroenie. – 2009. – №19. – С. 125-137.
2. Shreyner L.A. Tverdest' khrupkikh tel. – М.: Izd. AN SSSR, 1949. – 144 s.
3. Kryukov G.M. Soprotivlenie gornykh porod sredney i vyshe sredney kreposti vnedreniyu v nikh tverdykh instrumentov. – Izvestiya Vuzov. Gornyy zhurnal. – 1975, №8. – С. 44-51.
4. Spivak A.I. Mekhanika gornykh porod. – М.: Nedra, 1965. – 192 s.
5. Aleksandrov E.V. Issledovanie vzaimodeystviya instrumenta i gornoy porody pri udarnom razrushenii / E.V. Aleksandrov, V.B. Sokolinskiy, G.M. Zakharikov i dr. – М.: IGD im. A.A. Skochinskogo, 1967. – 62 s.
6. Khanteev V.G. Metod opredeleniya tverdosti gornykh porod vдавливaniem sfericheskikh indentorov i ego prakticheskoe primeneniye / V.G. Khanteev, N.S. Radchenko // Fizika gornykh porod i protsessov. – М.: Nedra, 1971. – С. 53-54.
7. Baron L.I. Ob effekte sovmestnosti pri razrushenii gornykh porod gruppovym instrumentom / L.I. Baron, L.B. Glatman, Yu.N. Kozlov // Fizika gornykh porod i protsessov. – М.: Nedra, 1971. – С. 215-216.
8. Smolyanitskiy B.N., Repin A.A., Danilov B.B. i dr. Povysheniye effektivnosti i dolgovechnosti impul'snykh mashin dlya sooruzheniya protyazhennykh skvazhin v porodnykh massivakh / отв. ред. Б.Ф. Симонов. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2013. – 204 с.
9. Shadrina A.V., Saruev L.A. Eksperimental'noe issledovanie vliyaniya parametrov udarnoy sistemy na razrusheniye granita // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal). 2013. № 4 (1). С. 276-280.
10. Regotunov A.S. K voprosu o razrabotke ratsional'nykh parametrov instrumenta shtyrevogo tipa i ego vozdeystviya na porodu pri burenii vzryvnykh skvazhin // Gornoe oborudovanie i elektromekhanika. 2014. № 5. С. 37-42.

11. Regotunov A.S. Eksperimental'noe obosnovanie ratsional'nykh geometricheskikh parametrov koronok shtyrevogo tipa dlya povysheniya skoloobrazovaniya v protsesse bureniya udarno-povorotnym sposobom // Byulleten' nauchno-tekhnicheskoy i ekonomicheskoy informatsii Chernaya metallurgiya. – 2016. – № 9. – S. 22-30.
12. Oparin V.N., Timonin V.V., Karpov V.N. Quantitative estimate of rotary-percussion drilling efficiency in rocks // Journal of Mining Science. 2016. Vol. 52, Issue 6. P. 1100-1111.
13. Dvornikov L.T., Korneyev V.A., Korneyev P.A., Krestovozdvizhensky P.D., Nikitenko S.M. Main development trends and some technical decisions on mining tools equipped with super-hard composite materials inserts // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, "All-Russian Conference on Challenges for Development in Mining Science and Mining Industry Devoted to the 85th Anniversary of Academician Mikhail Kurlenya". 2017. P. 012031.
14. Zhukov I.A. K razrabotke bezlezviynogo burovogo instrumenta dlya razrusheniya gornyx porod vysokoy kreposti // Gornoe oborudovanie i elektromekhanika. – 2011. – №6. – S. 39-41.
15. Zhukov I.A. About creation of machines for destruction of rock with formation of apertures of various cross-section / I.A. Zhukov, L.T. Dvornikov, S.M. Nikitenko // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 124. – №1. – P. 012171 – doi: 10.1088/1757-899X/124/1/012171.

Поступило в редакцию 12.01.2018

Received 12.01.2018