

Испытания шарошечного инструмента для бурения взрывных скважин некруглого поперечного сечения

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-7-00-00>

БУЯЛИЧ Геннадий Данилович

Доктор техн. наук, профессор,
профессор кафедры «Горные машины
и комплексы» КузГТУ,
650000, г. Кемерово, Россия,
тел.: +7 (3842) 39-69-40,
e-mail: gdb@kuzstu.ru

ТАЩИЕНКО Виктор Прокопьевич

Доктор техн. наук,
профессор кафедры «Горные машины
и комплексы» КузГТУ,
650000, г. Кемерово, Россия,
тел.: +7 (3842) 39-08-92,
e-mail: ipeb@mail.kuzstu.ru

ХУСНУТДИНОВ Михаил Константинович

Старший преподаватель кафедры
«Горные машины и комплексы» КузГТУ,
650000, г. Кемерово, Россия,
тел.: +7 (3842) 39-69-40,
e-mail: hmk.gmk@kuzstu.ru

Для дробления горных пород на открытых горных разработках с использованием некруглого сечения скважин требуется создание бурового инструмента. Буровой инструмент должен обеспечивать получение некруглого поперечного сечения скважины в полускальных и скальных горных породах. Для этих целей проведены промышленные испытания инструмента для бурения взрывных скважин с квадратным поперечным сечением, представляющего собой шарошечный расширитель, формирующий квадратный профиль поперечного сечения скважины, и серийное опережающее шарошечное долото. Испытания показали, что буровой инструмент способен создавать близкое к квадратному поперечное сечение скважины. Скважина сформирована с поворотом в сторону вращения квадратного профиля ее поперечного сечения. Для обеспечения прямолинейности сопряжения стенок скважины требуется, чтобы шарошки рас-

ширителя и опережающего долота обладали сходной разрушающей способностью. В результате спуско-подъемных операций произошло рассогласование шарошек относительно друг друга. Для исключения рассогласования шарошек по углу поворота относительно их осей требуется производить бурение, в том числе наращивание бурового става, без подъема бурового инструмента.

Ключевые слова: бурение, взрывная скважина, буровой инструмент, поперечное сечение буровой скважины, буровая скважина, шарошка, шарошечное долото, шарошечное бурение.

ВВЕДЕНИЕ

Повышение эффективности действия взрыва является актуальной задачей, решение которой позволяет сократить расходы на взрывчатые вещества и уменьшить негативное воздействие на экологию при дроблении горных пород взрывом при добыче полезных ископаемых открытым способом [1]. Использование некруглого поперечного сечения скважины для взрывных работ является способом управления энергией взрыва [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9]. Форма некруглого поперечного сечения оказывает влияние на распределение механических напряжений в близлежащем горном массиве, при этом вдоль направления выраженных углов стенок скважины происходит концентрация растягивающих напряжений. Это создает предпосылки того, что в начальный момент взрыва можно создавать преимущественные направления раскола горного массива, куда устремляются продукты детонации, проникая на большее расстояние. Площадь поверхности стенки скважины с некруглым поперечным сечением, на которую действуют продукты детонации, является большей, чем у скважин с круглым поперечным сечением, из-за разности периметров одинаковой площади поперечных сечений.

Для создания некруглого поперечного сечения взрывной скважины требуется буровой инструмент, способный эффективно работать по скальным и полускальным горным породам [10, 11, 12, 13]. Имеются результаты теоретических и лабораторных исследований, показывающие возможность получения некруглого поперечного сечения взрывной скважины шарошечным инструментом [14, 15, 16]. Для подтверждения результатов этих исследований проведены промышленные испытания варианта шарошечного инструмента.



Рис. 1. Буровой инструмент для промышленных испытаний и форма скважины

КОНСТРУКЦИЯ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ШАРОШЕЧНОГО ИНСТРУМЕНТА

Скважины с круглым поперечным сечением образуются благодаря вращению бурового инструмента. В большинстве известных технических решений создание некруглого поперечного сечения может происходить благодаря прерывному движению бурового инструмента [10], путем изменения его линейных размеров в процессе бурения [11] или бурения параллельно-совмещенных скважин [12]. Шарошечный буровой инструмент способен создавать некруглое поперечное сечение взрывной скважины благодаря непрерывным вращательному и поступательному движениям бурового става. При этом обеспечивается изменение линейных размеров (радиуса разрушаемого поперечного сечения скважины) от угла поворота инструмента без использования дополнительных кинематических звеньев. Для этого конус шарошек со стороны его основания является усеченным с длинами его образующих, обеспечивающих при их перекачивании разрушение забоя скважины с переменным радиусом. Вершина конуса шарошек должна лежать на оси вращения долота, что способствует более стабильной их кинематической связи с поверхностью забоя скважины [14]. Конусная поверхность шарошек должна быть образована вершинами зубчатого, штыревого или комбинированного вооружения, что способствует широкой области применения инструмента по крепости и абразивности буримых пород.

Начальное ориентирование шарошек по углу поворота относительно их осей должно быть таким, чтобы каждая из шарошек в составе бурового инструмента при его повороте воспроизводила один и тот же профиль некруглой формы поперечного сечения скважины. Для обеспечения прямолинейности сопряжения стенок скважины в

процессе бурения шарошки должны перекачиваться по забой скважины без скольжения с одинаковым передаточным отношением.

Для размещения внутри скважины нескольких шарошек требуется передаточное отношение, равное двум, при котором угол конусности шарошек является малым для размещения подшипниковой опоры с большой грузоподъемностью. Поэтому для промышленных испытаний изготовлен двухшарошечный расширитель, шарошки которого предназначены преимущественно для формирования профиля некруглого поперечного сечения, а для бурения центральной части скважины с круглым поперечным сечением использовано серийное шарошечное долото (рис. 1).

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ И ИХ РЕЗУЛЬТАТЫ

Для промышленных испытаний использован станок для вращательного бурения шарошечными долотами с продувкой сжатым воздухом, максимальное осевое усилие составило 135 кН, частота вращения – 134-138 мин⁻¹. Крепость буримой породы по М.М. Протодьяконову составила $f = 4$.

При нагрузке 30% от применяемой для данных диаметра и крепости породы (осевое усилие – 45 кН) произведено забуривание на глубину 0,8 м (рис. 2, 3). В момент начала контакта шарошек расширителя

с горной породой получена квадратная форма поперечного сечения (см. рис. 2). При продолжении бурения скважина сформирована с поворотом в сторону вращения квадратного профиля поперечного сечения с шагом винтовой линии около 1,5 м (см. рис. 3).

Далее произведено опускание бурового инструмента в ранее пробуренную скважину с вращением. Бурение продолжено с величиной осевого усилия, применяемой для данных диаметра и крепости породы (усилие – 112-135 кН), и сформирована скважина глубиной 15 м (рис. 4) со средней скоростью бурения 96 м/ч. При наращивании бурового става производился подъем инструмента на высоту около 0,5 м.

Боковые стенки полученной скважины имеют концентраторы напряжений спиралевидной формы. В процессе бурения наблюдались колебания осевого усилия и крутящего



Рис. 2. Вид сбоку забуренной скважины

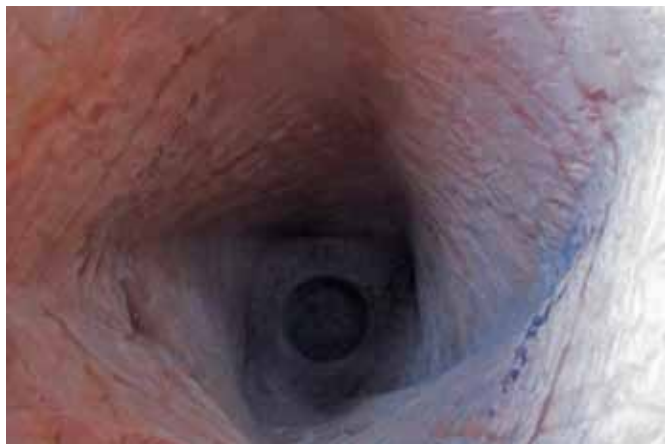


Рис. 3. Вид сверху на забуренную скважину (глубина – 0,8 м)

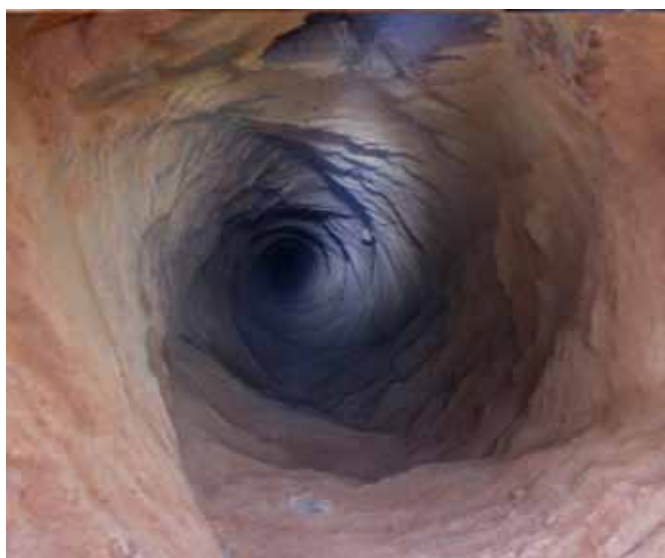


Рис. 4. Вид скважины сверху (глубина – 15 м)

момента 10-15%. Начиная с глубины 13 м неоднократно происходило подклинивание вращения, бурение останавливалось, инструмент приподнимался с вращением, затем бурение продолжалось. При подъеме инструмента с вращением наблюдались рывки. После разборки шарошечного расширителя установлено, что произошло разрушение роликов подшипниковой опоры одной из шарошек.

Перегрев шарошек опережающего долота и слабый нагрев шарошек расширителя свидетельствует о том, что опережающее долото не справлялось со своей работой, а шарошки расширителя были слабо нагружены. В таких условиях шарошки расширителя, очевидно, перекатывались со скольжением зубьев по забою, что привело к формированию слабо выраженной зубчатой рейки на забое скважины и повороту по спирали квадратного профиля скважины по направлению вращения.

Колебания осевого усилия и крутящего момента вызваны некруглой формой поперечного сечения и рассогласованием исходного положения шарошек после повторного опускания бурового инструмента в скважину с винтовой поверхностью ее стенок.

Подклинивание вращения инструмента на глубине более 13 м вызвано поломкой подшипникового узла одной из шарошек. Рывки при подъеме бурового инструмента вызваны наличием поворота по спирали квадратного профиля скважины и вращением инструмента.

ВЫВОДЫ

Промышленные испытания показали, что буровой инструмент способен создавать близкое к квадратному поперечное сечение скважины. Для исключения рассогласования шарошек по углу поворота относительно их осей требуется производить бурение, в том числе наращивание бурового става, без подъема бурового инструмента. Для обеспечения прямолинейности сопряжения стенок скважины требуется, чтобы шарошки расширителя и опережающего долота обладали сходной разрушающей способностью. Для получения бурового инструмента, с помощью которого можно реализовать опытные буровзрывные работы, необходимы разработка конструкций шарошечного инструмента с учетом полученных результатов испытаний и дальнейшие исследования процесса бурения.

Список литературы

1. Abdollahisharif J., Bakhtavar E., Nourizadeh H. Green biocompatible approach to reduce the toxic gases and dust caused by the blasting in surface mining // *Environ. Earth Sci.* 2016. Vol. 75(3). Pp. 1–12.
2. Sanchidrián J.A., García-Bermudez P., Jimeno C.L. Optimization of granite splitting by blasting using notched holes // *International Journal for Blasting and Fragmentation.* 2000. Vol. 4. Pp. 1-11.
3. Numerical study of fracture plane control in laboratory-scale blasting / S.H. Cho, Y. Nakamura, B. Mohanty et al // *Engineering Fracture Mechanics.* 2008. Vol. 75. Pp. 3966–3984.
4. Zhongwen Y., Yang G., Xu W. Experimental study of crack propagation under blasting load in notched boreholes // *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering.* 2015. Vol. 34(10). Pp. 2018-2026.
5. Экспериментально-аналитические исследования геомеханических процессов в массиве крепких сложноструктурных горных пород при взрыве зарядов ВВ различной формы / К.С. Ищенко, С.В. Коновал, И.Л. Кратковский и др. // *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук.* 2014. № 1. Т. 1. С. 122–127.
6. Каркашадзе Г.Г., Алексеева В.А. Влияние формы горизонтального сечения скважинных зарядов на величину энергонасыщения породного массива при взрывной отбойке // *Горный информационно-аналитический бюллетень.* 2000. № 1. С. 33–35.
7. Numerical simulation of influence of filled joint on the crack formed by notch hole blast / J. Huang, X. Li, Y. Luo et al. // *European Journal of Environmental and Civil Engineering.* 2017. October. Pp. 1-17. doi: 10.1080/19648189.2017.1392366.
8. Yue Z.-W., Wang X. Experimental analysis on behaviors of blast-induced crack propagation in different notched borehole orientations // *Journal of China Coal Society,* 2016. December. Vol. 41. Pp. 412-418.
9. Exadaktylos G.E., Liolios P.A., Stavropoulou M.C. A semi-analytical elastic stress-displacement solution for notched circular openings in rocks // *International Journal of Solids and Structures.* 2003. Vol. 40. Pp. 1165-1187.
10. Жуков И.А., Дворников Л.Т. Разрушение хрупких сред безлезвийным инструментом с образованием отверстий некруглого сечения // *Горное оборудование и электромеханика.* 2009. № 2. С. 23–26.
11. Соколова Е.К., Богомолов И.Д. Моделирование устройств для бурения скважин с поперечным сечением

некруглой формы / Сб. науч. тр. КузПИ «Механизация горных работ». Кемерово: КузПИ, 1992. С. 78-83.

12. Патент РФ № 2407875. Устройство для бурения скважин некруглого сечения / Д.А. Юнгмейстер, В.С. Свинин, Ю.В. Демидов и др. // Бюл. 27.12.2010. № 36.

13. Zhukov I.A., Dvornikov L.T., Nikitenko S.M. About creation of machines for destruction of rock with formation of apertures of various cross-section // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. Vol. 124(1). Pp. 012171.

14. Буялич Г.Д., Хуснутдинов М.К., Шмат В.Н. Особенности шарошечного бурового инструмента для получения

некруглого поперечного сечения скважины // Горное оборудование и электромеханика. 2017. № 5. С. 10-14.

15. Buyalich G., Khusnutdinov M. Justification of the Shape of a Non-Circular Cross-Section for Drilling with a Roller Cutter // E3S Web of Conferences – EDP Sciences. 2017. Vol. 21: The second international innovative mining symposium. P. 03010.

16. Buyalich G., Khusnutdinov M. Analysis of cross-sectional shapes of borehole // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing. 2017. Vol. 87: UPDME 2017. P. 022004.

UDC 622.24.051.55 © G.D. Buyalich, V.P. Tatsienko, M.K. Khusnutdinov, 2019
ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2019, № 7, pp. 00-00

COAL MINING EQUIPMENT

Title TESTING OF ROLLER TOOL FOR DRILLING BLAST HOLES OF NON-CIRCULAR CROSS-SECTION

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-7-00-00>

Authors

Buyalich G.D.¹, Tatsienko V.P.¹, Khusnutdinov M.K.¹

¹ Gorbachev Kuzbass State Technical University (KuzSTU), Kemerovo, 650000, Russian Federation

Authors' Information

Buyalich G.D., Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Professor Mining Machinery and Complexes Department, tel.: +7 (3842) 39-69-40, e-mail: gdb@kuzstu.ru

Tatsienko V.P., Doctor of Engineering Sciences, Professor Mining Machinery and Complexes Department, tel.: +7 (3842) 39-08-92, e-mail: ipeb@mail.kuzstu.ru

Khusnutdinov M.K., senior lecturer Mining Machinery and Complexes Department, tel.: +7 (3842) 39-69-40, e-mail: hmk.gmk@kuzstu.ru

Abstract

For rock crushing in open-cast mining using a non-circular cross-section of wells requires the creation of a drilling tool. The drilling tool should ensure the creation of a non-circular cross-section of the borehole in half-rock and rock strata. For this purpose, industrial tests were carried out for a roller-cutter tool for drilling blast holes with a square cross-section, which acted like a roller reamer that forms a square profile of a borehole cross-section, and a serial pilot roller cone bit. The tests have shown that the drilling tool is able to create a near-square cross-section of the borehole. The borehole has been formed with a turn in the direction of rotation of the square profile of its cross section. To ensure the straightness of the borehole walls connection, it is required that the reaming roller cutters and the pilot roller cutters have a similar destructive capacity. As a result of landing and lifting operations, there was a mismatch between the cutters relative to each other. To eliminate the misalignment of cutters along the angle of rotation relative to their axes, it is required to drill, and to extend the drill without lifting the drilling tool.

Keywords

Drilling, Blast hole, Drilling tool, Cross-section of the borehole, Borehole, Cone roller, Cone bit, Roller drilling.

References

1. Abdollahisharif J., Bakhtavar E. & Nourizadeh H. Green biocompatible approach to reduce the toxic gases and dust caused by the blasting in surface mining. *Environ. Earth Sci.*, 2016, Vol. 75(3), pp. 1–12.
2. Sanchidrián J.A., García-Bermudez P. & Jimeno C.L. Optimization of granite splitting by blasting using notched holes. *International Journal for Blasting and Fragmentation*, 2000, Vol. 4, pp. 1-11.
3. Cho S.H., Nakamura Y., Mohanty B., Yang H.S. & Kaneko K. Numerical study of fracture plane control in laboratory-scale blasting. *Engineering Fracture Mechanics*, 2008, Vol. 75, pp. 3966–3984.
4. Zhongwen Y., Yang G. & Xu W. Experimental study of crack propagation under blasting load in notched boreholes. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2015, Vol. 34(10), pp. 2018–2026.
5. Ishchenko K.S., Konoval S.V., Kratkovskiy I.L., Kurkovskaya V.V. & Kurkovskiy A.P. Eksperimental'no-analiticheskie issledovaniya geomekhanicheskikh protsessov v massive krepkikh slozhnostrukturnykh gornykh porod pri vzryve zaryadov VV razlichnoy formy [Experimental and analytical investigation of geomechanical processes in complicated-structure rock masses under blast-

ing of explosive charges of different shapes]. *Fundamentalnye i prikladnye voprosy gornykh nauk – Fundamental and applied problems of mining sciences*, 2014, Vol. 1(1), pp. 122–127.

6. Karkashadze G.G. & Alekseeva V.A. Vliyanie formy gorizontalnogo secheniya skvazhinnykh zaryadov na velichinu energonasyscheniya porodnogo massiva pri vzryvnoy otboylke [The influence of the horizontal section of the well charges on the energy saturation of the rock mass during explosive breaking]. *Gornyye Informatsionno-Analiticheskiy Byulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) – Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, 2000, No. 1, pp. 33–35.

7. Huang J., Li X., Luo Y., Liu T., Dong Q., Xu K. & Tang C. Numerical simulation of influence of filled joint on the crack formed by notch hole blast. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, October 2017, pp. 1-17. doi: 10.1080/19648189.2017.1392366.

8. Yue Z.-W. & Wang X. Experimental analysis on behaviors of blast-induced crack propagation in different notched borehole orientations. *Journal of China Coal Society*, December 2016, Vol. 41, pp. 412-418.

9. Exadaktylos G.E., Liolios P.A. & Stavropoulou M.C. A semi-analytical elastic stress-displacement solution for notched circular openings in rocks. *International Journal of Solids and Structures*, 2003, Vol. 40, pp. 1165-1187.

10. Zhukov I.A. & Dvornikov L.T. Razrushenie khrupkikh sred bezlezyvnyym instrumentom s obrazovaniem otverstiy nekruglogo secheniya [Destruction of fragile environments with bladeless tool with formation of apertures of not round section]. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika – Mining equipment and electromechanics*, 2009, No. 2, pp. 23–26.

11. Sokolova E.K., Bogomolov I.D. *Modelirovanie ustroystv dlya bureniya skvazhin s poperechnym secheniem nekrugloy formy* [Modeling of devices for drilling wells with non-circular cross-section]. Collection of scientific of Kuzbass Polytechnic Institute “Mechanization of mining operations”. Kemerovo, KuzPI Publ., 1992, pp. 78-83.

12. Patent RU № 2407875. Ustroystvo dlya bureniya skvazhin nekruglogo secheniya [Device for drilling a non-circular cross-section]. Yungmeyster D.A., Svinin V.S., Demidov Yu.V. et al., Pub. 27.12.2010, Vol. 36.

13. Zhukov I.A., Dvornikov L.T. & Nikitenko S.M. About creation of machines for destruction of rock with formation of apertures of various cross-section. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2016, Vol. 124 (1), pp. 012171.

14. Buyalich G.D., Khusnutdinov M.K. & Shmat V.N. Osobennosti sharoshechnogo buravogo instrumenta dlya polucheniya nekruglogo poperechnogo secheniya skvazhiny [Features of rolling drilling tool to receive a non-circular cross-section borehole]. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika – Mining equipment and electromechanics*, 2017, No. 5, pp. 10–14.

15. Buyalich G. & Khusnutdinov M. Justification of the Shape of a Non-Circular Cross-Section for Drilling With a Roller Cutter. *E3S Web of Conferences. – EDP Sciences*, 2017, Vol. 21: The second international innovative mining symposium, pp. 03010.

16. Buyalich G. & Khusnutdinov M. Analysis of cross-sectional shapes of borehole. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publ., 2017, Vol. 87, UPDME 2017, pp. 022004.