

УДК 624.32

¹Ратов Б.Т., ¹Федоров Б.В., ¹Кудайкулова Г.А., ¹Куттыбаев А.Е., ²Бондаренко В.А.,
³Омирзакова Э.Ж.

¹Satbayev University, Республика Казахстан, 050013, г. Алматы

²ТОО «СП РБМ-Казахстан», Республика Казахстан, 050000, г. Алматы

³CaspianUniversity, Республика Казахстан, 050000, г. Алматы

¹Ratov B.T., ¹Fedorov B.V., ¹Kudaikulova G.A., ¹Kuttybaev A.E., ²Bondarenko V.A.,
³Omirezakova E.Zh.

¹Satbayev University, Republic of Kazakhstan, 050013, Almaty

²LLP «CP RBM-Kazakhstan», Republic of Kazakhstan, 050000, Almaty

³Caspian University, Republic of Kazakhstan, 050000, Almaty

СОЗДАНИЕ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ АЛМАЗНЫХ КОРОНОК ДЛЯ РАЗВЕДОЧНОГО БУРЕНИЯ ТВЕРДЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

Аннотация. Ускоренный ввод в эксплуатацию полезных ископаемых, залегающих в твердых горных породах, во многом зависит от производительности разведочного бурения, технико-экономические показатели которого в значительной мере определяются эффективностью работы алмазных буровых коронок.

Для решения упомянутой проблемы проведены исследования, позволяющие сформулировать следующие рекомендации по созданию высокопроизводительных, алмазных коронок для бурения твердых абразивных пород:

- матрица коронки должна содержать по высоте несколько (пять и более) импрегнированных алмазосодержащих слоев, разделенных между собой безалмазными слоями значительно меньшей твердости (например, твердый сплав ВК-20);

- каждый алмазный импрегнированный слой матрицы должен иметь «гребенчатый» профиль, представляющий кольцевые клинообразные выступы и впадины;

- импрегнированные алмазные слои матрицы в процессе бурения должны быть одинаково нагружены по радиусу коронки, что позволяет повысить износостойкость инструмента и уменьшить количество алмазного сырья для изготовления последнего; получена зависимость, определяющая изменение высоты конусных кольцевых выступов алмазосодержащих слоев в направлении от периферийного выступа к оси коронки при условии равенства оснований упомянутых выступов;

- для сохранения диаметров скважины и выбуриваемого керна внутренняя и наружная боковые поверхности матрицы должны оснащаться износостойкими алмазными вставками (например, из твесаля);

- для выполнения высококачественной износостойкой матрицы следует добавлять в малых количествах различные компоненты в состав связки алмазных зерен вида 94WC+Co+Cu; например, экспериментально доказано, что добавка порошка монокарбида вольфрама WC при зернистости 200/160 показатель эффективности повышается в 1,9 раза;

упомянутый показатель прямопропорционален механической скорости бурения, величине проходки скважины и обратно пропорционален линейному износу матрицы по высоте;

- для повышения интенсификации разрушения забоя скважины следует провести экспериментальные работы с алмазной коронкой, импрегнированные слои которой размещены в матрице на трехзаходный винтовой поверхности, имеющий малый шаг, составляющий 0,8 – 1,2 мм; ожидается, что при таком конструктивном исполнении в процесс, помимо глубины внедрения алмазных зерен, будет вовлечена зона предразрушения, залегающая под зоной внедрения и представляющая разбитую и ослабленную трещинами твердую породу на глубину, десятикратно повышающую глубину внедрения алмазных зерен.

Вышеупомянутые рекомендации воплощены в конструкции алмазных импрегнированных коронок, на которые получены патенты Республики Казахстан. Коронки, выполненные по рекомендациям 1-4, внедрены в производство с получением значительного эффекта при оснащении ими снарядов со съёмными керноприемниками (ССК).

Ключевые слова: буровая коронка, многослойная матрица, импрегнированные и безалмазные слои, «гребенчатый» профиль, износостойкость, добавление компонентов, связка матрицы, равномерно нагруженный профиль.

CREATION OF HIGH-PERFORMANCE DIAMOND BITS FOR EXPLORATION DRILLING IN HARD ROCKS

Abstract. The accelerated commissioning of minerals occurring in hard rocks largely depends on the productivity of exploration drilling, the technical and economic indicators of which are largely determined by the efficiency of diamond drill bits.

To solve the above problem, studies have been carried out that allow us to formulate the following recommendations for the creation of high-performance diamond bits for drilling hard abrasive rocks:

- the crown matrix should contain several (five or more) impregnated diamond-bearing layers in height, separated by diamond-free layers of significantly lower hardness (for example, VK-20 hard alloy);

- each diamond impregnated layer of the matrix must have a «comb» profile, representing annular wedge-shaped protrusions and depressions;

- the impregnated diamond layers of the matrix during drilling should be equally loaded along the radius of the bit, which makes it possible to increase the wear resistance of the tool and reduce the amount of rough diamonds for the manufacture of the latter; a dependence was obtained that determines the change in the height of the conical annular protrusions of diamond-containing layers in the direction from the peripheral protrusion to the axis of the crown, provided that the bases of the mentioned protrusions are equal;

- to maintain the diameters of the well and the drilled core, the inner and outer side surfaces of the matrix must be equipped with wear-resistant diamond inserts (for example, from tessal);

- to produce a high-quality wear-resistant matrix, small amounts of various components should be added to the composition of the binder of diamond grains of the 94WC + Co + Cu type; for example, it has been experimentally proven that the addition of tungsten monocarbide powder WC at a grain size of 200/160 increases the efficiency index by 1.9 times; the mentioned indicator is directly proportional to the mechanical drilling speed, the size of the well penetration and is inversely proportional to the linear wear of the matrix in height;

- to increase the intensification of the destruction of the bottom of the well, it is necessary to carry out experimental work with a diamond crown, the impregnated layers of which are placed in

a matrix on a three-start helical surface with a small pitch of 0.8 - 1.2 mm; It is expected that with such a design, in addition to the depth of penetration of diamond grains, the process will involve a pre-fracture zone that lies under the zone of penetration and represents a hard rock broken and weakened by cracks to a depth that tenfold increases the depth of penetration of diamond grains.

The above recommendations are embodied in the design of diamond impregnated crowns, for which patents of the Republic of Kazakhstan have been received. The crowns made according to recommendations 1-4 have been introduced into production with a significant effect when they are equipped with projectiles with removable core receivers (PRC).

Keywords: *drill bit, multilayer matrix, impregnated and diamond-free layers, «comb» profile, wear resistance, addition of components, matrix bond, equally loaded profile.*

Введение. Ускоренный ввод в эксплуатацию полезных ископаемых, залегающих в твердых горных породах, во многом зависит от производительности разведочного бурения, технико-экономические показатели которого в значительной мере определяются эффективностью работы алмазных буровых коронок.

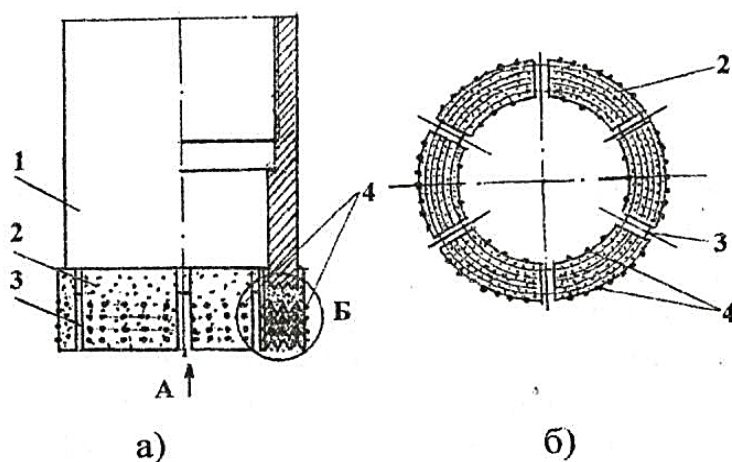
Для решения упомянутой проблемы проведены исследования, позволяющие сформулировать рекомендации по созданию высокопроизводительных, алмазных коронок для бурения твердых абразивных пород, которые воплощены в следующих разработках Казахского научно-исследовательского технического университета (КазНИТУ, Алматы, Ка-

захстан) и института сверхтвердых материалов (ИСМ, Киев, Украина):

- матрица коронки должна содержать по высоте несколько (пять и более) импрегнированных алмазосодержащих слоев, разделенных между собой безалмазными слоями значительно меньшей твердости (например, твердый сплав ВК-20);

- каждый алмазный импрегнированный слой матрицы должен иметь «гребенчатый» профиль, представляющий кольцевые клинообразные выступы и впадины.

Вышеупомянутые рекомендации реализованы в конструкции многослойной алмазной коронки с гребенчатым профилем алмазосодержащих импрегнированных слоев (рис.1) [1].



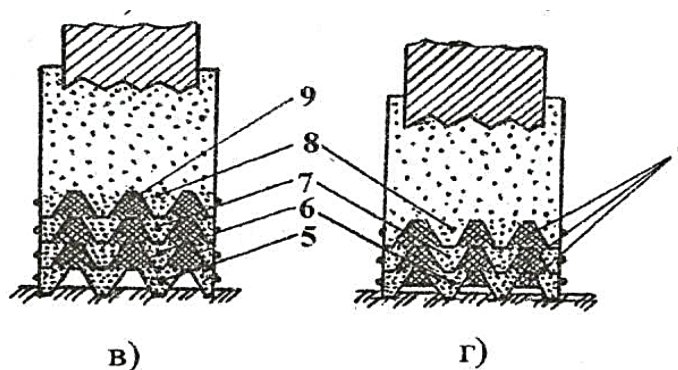


Рисунок 1. Многослойная алмазная коронка КСБ-1 с гребенчатым профилем алмазосодержащих слоев

а - вид со стороны корпуса; *б* - вид *А*; *в* - продольный разрез алмазосодержащей матрицы в увеличенном масштабе (узел *Б* на рис 1а); *г* - продольный разрез матрицы после износа первого алмазного слоя. 1 - корпус, 2 - матрица, 3 - промывочные каналы, 4 - подрезные алмазы, 5, 6, 7, 8 - алмазосодержащие слои, 9 - без алмазные слои.

Из рисунка 1 следует, что работа по разрушению породы и углублению забоя скважины осуществляется первоначально импрегнированным слоем 5, затем поле его срабатывания – слоем 6, который обнажается благодаря значительно меньшей твердости безалмазных слоев 9. После износа алмазного слоя 6 в работу вступает импрегнированный слой 7 и т.д. до полного износа всех алмазосодержащих слоев в матрице 2 коронки.

Рассматриваемая алмазная коронка под маркой КСБ-1 изготовлена, прошла производственные испытания и показала весьма хорошие результаты [2]. Вместе с тем, следует признать, что в алмазной коронке КСБ-1 внешнее давления на конусные кольцевые выступы алмазосодержащих слоев при равенстве действующей на них нагрузки будет различным в зависимости от их радиального положения. Это связано с различной площадью кольцевых выступов: минимальная площадь будет у выступа, примыкающего к внутреннему радиусу матрицы, а максимальная – у кольцевого выступа, расположенного на ее наружном радиусе.

Такая неравномерность давления на выступы по радиусу матрицы может привести к чрезмерной величине на выступ,

расположенный на внутреннем радиусе матрицы, и ее не-достаточной величине на периферийный выступ.

Поэтому следующая рекомендация при изготовлении алмазных коронок формулируется следующим образом:

3. импрегнированные алмазные слои матрицы в процессе бурения должны быть одинаково нагружены по радиусу коронки, что позволяет повысить износостойкость инструмента и уменьшить количество алмазного сырья для изготовления последнего, для сохранения диаметра скважины и керна нужно оснастить коронку износостойки алмазными вставками.

В соответствии с этой рекомендацией разработана алмазная многослойная буровая коронка с равномерно нагруженными при бурении импрегнированными слоями (рисунок 2) [3], на котором показан ее общий вид «а» и в увеличенном масштабе профиль импрегнированных слоев матрицы (вид «б»). Равенство площадей алмазосодержащих выступов достигается уменьшением их высоты h и увеличением угла приострения α в направлении от наружного радиуса матрицы к ее внутреннему при равенстве их оснований в соответствии со следующей формулой:

$$h_i = \frac{(2R_g + 0,5t)}{2R_g + (2m_i - 1) \cdot 0,5t} h_{max}, \quad (1)$$

где R_b – внутренний радиус матрицы коронки;

t – основание алмазосержащих выступов;

m_i – порядковый номер боковой поверхности выступов, начиная от наружного радиуса в направлении к внутреннему радиусу матрицы.

Для сохранения диаметра скважины и керна коронка снабжена цилиндрическими вставками 6. (рисунок 2). Другие конструктивные параметры коронки аналогичны параметрам коронке КСБ-1 (рис.1).

Многослойная алмазная коронка с равнонагруженными при бурении импрегнированными слоями под маркой КСБ-2 успешно прошла производственные испытания и внедрена при разведочном бурении ряда месторождений Казахстана со значительным экономическим эффектом [4].

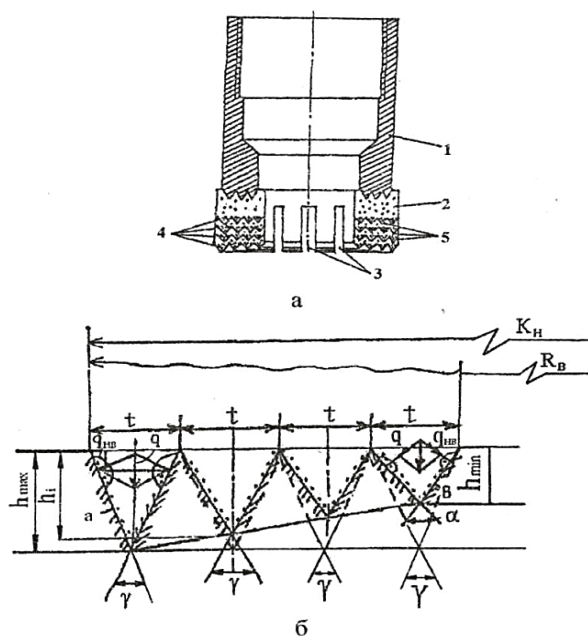


Рисунок 2. Многослойная буровая коронка КСБ-2 с равно нагруженными алмазосодержащими слоями

а – общий вид; б – профиль алмазосодержащего слоя в продольном сечении. 1 – корпус, 2 – матрица, 3 – промывочные окна, 4 – алмазосодержащие слои, 5 – безалмазные слои

Следующей задачей, решение которой позволило бы и далее повышать эффективность применения алмазных инструментов при бурении твердых абразивных пород является повышение качества выполнения алмазосодержащей матрицы коронки путем добавления в состав связки алмазных зерен в малых количествах различных компонентов. В решении этой задачи наибольших успехов добились сотрудники ИСМ [5].

Опыты проводились путем экспериментального бурения в шокстинском граните алмазной коронкой конструкции ИСМ НАН (Украина) (рис.3), которая предназначена для оснащения снарядов со съемными кернаприемниками. Коронка содержит импрегнированную алмазосодержащую матрицу 1, припаянную к сварному корпусу 2. Матрица 1 имеет 10 промывочных каналов для прохода бурового раствора, а ее торец имеет «гребенчатый» профиль,

представляющий конусные кольцевые выступы и впадины. Угол приострения кольцевых выступов составлял 60° .

Объемный слой матрицы оснащался монокристаллическими алмазами марки АСТ 200 зернистостью 500/400 мкм. Импрегнированный слой содержит в виде связки алмазных зерен состав вида $94\text{WC}+\text{Co}+\text{Cu}$.

В подрезном слое коронка оснащалась цилиндрическими вставками 4 твесала диаметром 5 мм с алмазами марки АСТ 125

зернистостью 315/250. Вставки 4 размещены радиально снаружи и внутри кольца 5 для калибровки стенок скважины и керна.

При изготовлении коронок в матрице последовательно вводили в состав связки алмазных зерен вида $94\text{WC}+\text{Co}+\text{Cu}$ порошок монокарбида WC зернистой зернистости в малом количестве (6% - 12%).

Экспериментально доказано, что при добавке порошка монокарбида вольфрама при зернистости 200/160 в состав связки показатель Φ эффективности повышается в 1,9 раза.

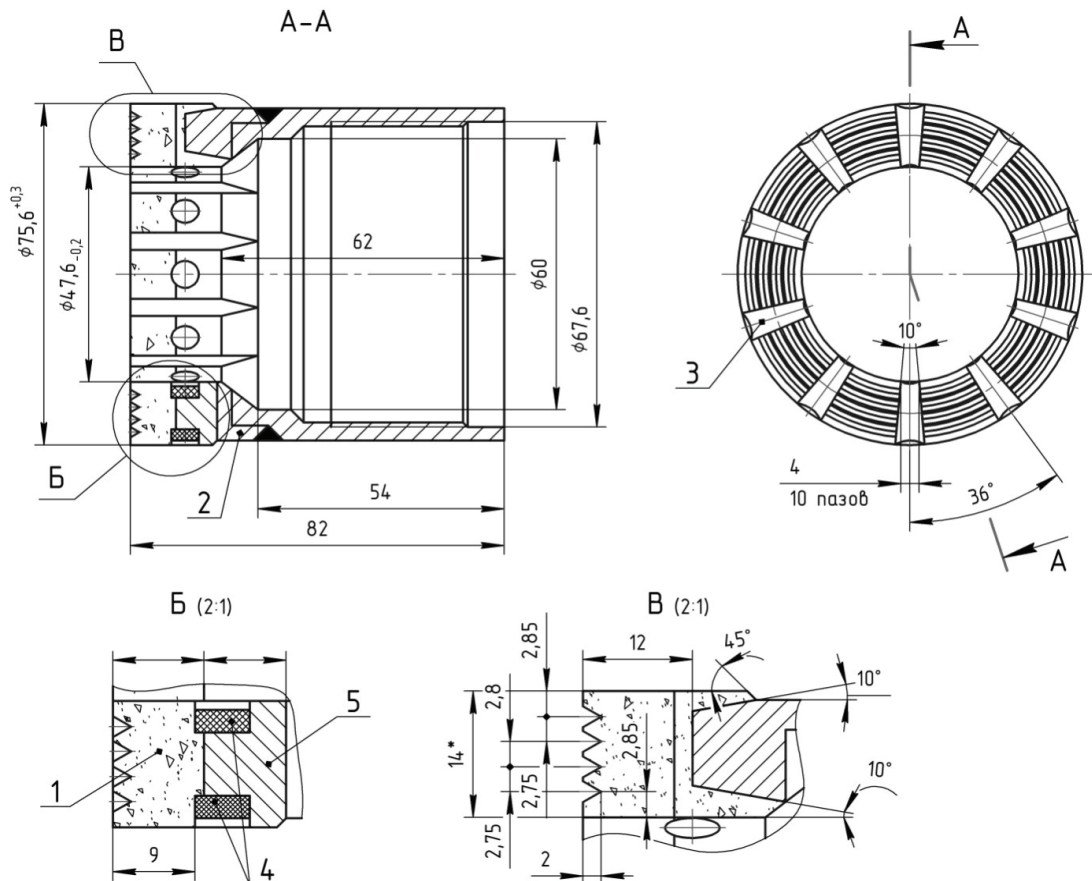


Рис. 1 Алмазная буровая коронка конструкции ИСМ НАН (Украина).
1-алмазнесущая матрица; 2-корпус; 3-промывочные каналы;
4-вставки твесала; 5-кольцо.

Последний рассчитывался по следующей формуле:

$$\Phi = \vartheta_{mex} \frac{L}{h}, \quad (2)$$

где ϑ_{mex} - механическая скорость бурения;

L – проходка за время бурения;

h – износ матрицы по высоте за время бурения.

С целью интенсификации процесса разрушения забоя скважины алмазными коронками сотрудники КазНИТУ (Казахстан) предложили использовать особенность процесса разрушения твердой породы при внедрении алмазного зерна в разработку конструкции алмазных инструментов. Упомянутое физическое явление заключается в том, что при внедрении алмазного зерна глубже этой зоны появляется область предразрушения, т.е. ослабленная трещинами порода, глубина которой h_p составляет:

$$h_p = H_6 \cdot K, \quad (3)$$

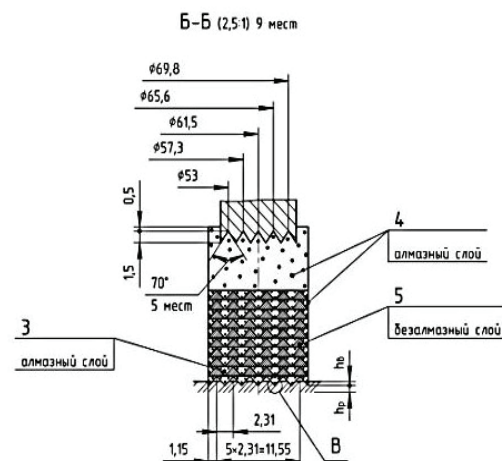
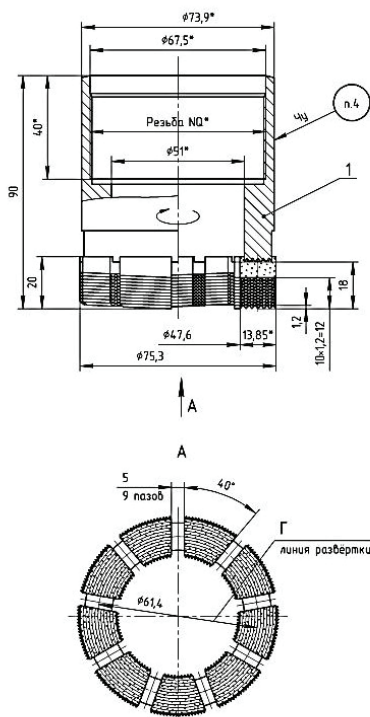
где H_6 – глубина внедрения зерна в породу;

K – коэффициент увеличения, составляющий при разрушении твердых пород $K = 8 + 12$.

Для вовлечения зоны предразрушения в общий процесс углубления забоя скважины разработана и запатентована многослойная импрегнированная коронка, алмазосодержащие слои которой размещены на трехзаходной винтовой поверхности (рис.4) [6]. Все импрегнированные слои имеют «гребенчатый» профиль и разделены безалмазными слоями значительно меньшей твердости. Шаг трехзаходной винтовой поверхности имеет малую величину, близкую к 1 мм. На каждом заходе размещено одинаковое количество алмазосодержащих секторов матрицы (в данном случае по три на рисунке 4 б). Угол подъема α каждой винтовой поверхности определяется из зависимости

$$\alpha = \text{artg} \frac{3h_p}{\pi D_{cp}}, \quad (4)$$

где D_{cp} – средний диаметр торца матрицы.



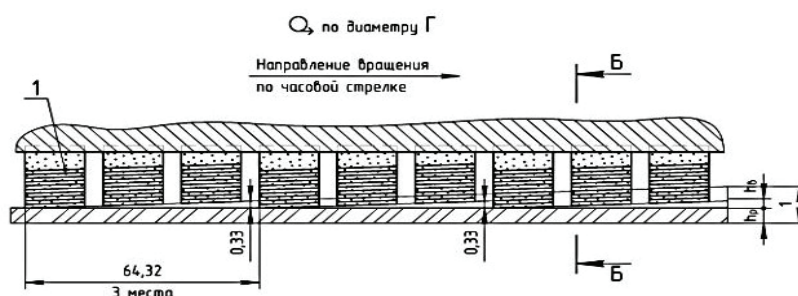


Рисунок 4. Алмазная многослойная импрегнированная коронка с размещением алмазосодержащих слоев на трехзаходной винтовой поверхности.

1 – корпус; 2 – алмазонесящая матрица.

А – общий вид; Б – вид с торца (по стрелке А); В – в увеличенном масштабе продольный разрез матрицы; Г – развертка матрицы по среднему диаметру.

При работе на забое скважины, каждый из указанных секторов коронки, воздействуя на породу наибольшими по высоте конусными кольцевыми выступами алмазосодержащего слоя и пройдя 1/3 окружности забоя, формирует аналогичные по форме конусные кольцевые впадины, а под ними - зону предразрушения (Рис.4г)

При дальнейшем вращении коронки каждая группа секторов, расположенная на одном заходе винтовой поверхности, перемещается в часть забоя, подготовленного к углублению впереди работающей группой секторов, расположенной на соседнем заходе. Таким образом, через 1/3 оборота вследствие сформированной на забое кольцевой зоны предразрушения и действия постоянной осевой нагрузки секторы матрицы, вытесняя раздробленную породу, перемещаются вниз на величину, близкую к толщине предразрушенного слоя, и осуществляют послойное удаление последнего. Формирующиеся на забое кольцевые выступы разрушаются под действием всегда имеющихся вибраций буровой коронки.

После отработки первого, начиная от забоя, алмазосодержащего слоя вследствие опережающего износа малоабразивного слоя связующего материала происходит

обнажение второго алмазосодержащего слоя секторов, который производит дальнейшее углубление забоя.

Опережающий износ малоабразивного безалмазного слоя позволяет, постепенно обнажая алмазосодержащий слой, полностью отработать его при разрушении породы. Далее процесс углубления забоя повторяется до полной отработки всех алмазосодержащих слоев матрицы.

Наклонное (по отношению к забю) положение алмазосодержащих импрегнированных слоёв расположенных на винтовой поверхности и разделяющих их слоёв, малоабразивного материала, а также их конусная кольцевая форма позволяет создавать большие удельные нагрузки на забой, реализовать эффект самозатачивания и особенности механизма разрушения твёрдых пород при воздействии алмазных зёрен.

В настоящее время партия таких алмазных коронок (рисунок 4) создана и подготовлена к производственным испытаниям на гео-логических объектах Казахстана.

Следует также отметить последние работы КазНИТУ, заключающиеся в создании запатентованной алмазной коронки с трехзаходной винтовой поверхностью и рав-

нозагруженными импрегнированными слоями гребенчатой формой [7-30].

Выводы

1. При создании алмазных буровых коронок для бурения твердых абразивных пород нужно учитывать, что наибольшая эффективность их применения достигается при оснащении ими снарядов со съёмными керноприемниками.

2. Поэтому коронки должны иметь несколько (4-5 и более) импрегнированных слоев, разделенных безалмазными слоями значительно меньшей твердости (например, ВК-20).

3. Каждый импрегнированный слой должен иметь «гребенчатую» форму, представляющую кольцевые выступы и впадины. Такая форма слоев обеспечивает высокие удельные давления на забой, что весьма важно при разрушении твердых пород. Угол приострения выступов должен быть как можно меньше, но с учетом его необходимой прочности в матрице коронки.

4. Следует создавать коронки с равнонагруженными алмазосодержащими слоями, что обеспечит наибольшую долговечность работы инструментов.

5. Следует проводить дальнейшие исследования, направленные на увеличение прочности связки с алмазными зернами при изготовлении матрицы коронки. Следует отметить заслуги ИСМ НАН (Украина) по уже достигнутым результатам в этом направлении.

6. При создании алмазных коронок для бурения твердых пород весьма перспективным является использование в конструкции инструментов особенности механизма разрушения при внедрении алмазных зерен и появление ниже зоны внедрений области ослаблений трещинами породы, которую необходимо вовлечь в процесс углубления забоя скважины с меньшими затратами энергии.

«Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант № AP08857201)».

«This research has been/was/is funded by the Science Committee of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan (Grant No. APAP08857201)».

Литература

1. Предварительный патент РК №13169 «Алмазная буровая коронка», опубликовано в бюл. №6, 2003 (Авторы: Федоров Б.В., Кудайкулов С.К., Касенов А.).

2. *Кудайкулов С.К.* Бурение скважин в сложных условиях снарядами со съёмными керноприемниками (ССК). Алматы, КазНТУ, 2010.

3. Предварительный патент РК №13379 «Алмазная буровая коронка», опубликовано в бюл. №5, 2006. (Авторы: Федоров Б.В., Кудайкулов С.К., Касенов А.).

4. *Кудайкулова Г.А., Федоров Б.В. и др.* Результаты сравнительных испытаний алмазных буровых коронок ведущих фирм. Вестник КазНТУ, №2 (102), Алматы, 2014, стр.75-79.

5. *Ratov B. T., Bondarenko M. O., Mechnik V. A., Strelchuk V. V., Prikhna T. A., Kolodnitskyi V. M. и др.* Structure and Properties of WC-Co Composites with Different CrB₂ Concentrations, Sintered by Vacuum Hot Pressing, for Drill Bits // ISSN 1063-4576, Journal of Superhard Materials, 2021, Vol. 43, No. 5, pp. 344–354.

6. Инновационный патент РК №25764 «Алмазная буровая коронка», опубл. Бюл №5, 2012. (Авторы: Федоров Б.В., Кудайкулова Г.А., Бердыбаев И.М.).

7. Патент РК №35548 «Алмазная буровая коронка», опубликован бюл. №10, 2022. (Авторы: Ратов Б.Т., Федоров Б.В., Кудайкулова Г.А. и др.)

8. *Sudakov A., Dreus A., Ratov B., Delikesheva D.* Theoretical bases of isolation technology for swallowing horizons using thermoplastic materials // News of the national academy of sciences

of the republic of Kazakhstan series of geology and technical sciences. ISSN 2224-5278 Volume 2, Number 428 (2018), 72 – 80

9. *Biletskiy M. T., Ratov B. T., Kozhevnykov A. A., Baiboz A. R., Delikesheva D. N.* Updating the theoretic model of rock destruction in the course of drilling // News of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan series of geology and technical sciences. ISSN 2224-5278 Volume 2, Number 428 (2018), 63 – 71

10. *Ratov B.T., Fedorov B.V.* Hydroimpulsive Development of Fluid-Containing Recovery. Life Sci J 2013;10(11s):302-305] (ISSN:1097-8135).

11. *Ratov B.T., Fedorov B.V. and Zhanabayev T.A.* The Causes of Fluctuation of Hydrodynamic Pressure in Wells and Recommendations for its Reduction. Life Sci J 2013;10(12s):589-591 (ISSN:1097-8135).

12. *Novitskiy I.V., Sliesarev V.V., Maliienko A.V.* Method of identification of nonlinear dynamic control objects of preparatory processes before ore dressing / Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2020, (2): 42-46 <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-2/042>

13. *Abdullayev, V. J.* (2021). New approach for two-phase flow calculation of artificial lift. SOCAR Proceedings, 1, 49–55.

14. *Исмайылов, Ф. С., Исмайылов, Г. Г., Сафаров, Н. М.* (2010). Сыпучие трубочисты (о перспективах применения вязкосыпучих систем в нефтедобыче). Нефть России, 10, 84-86.

15. *Suleimanov, B. A., Veliyev, E. F., & Aliyev, A. A.* (2021). Impact of nanoparticle structure on the effectiveness of pickering emulsions for eor applications. ANAS Transactions, 1, 82-92.

16. *Panakhov, G. M., Suleimanov, B. A.* (1995). Specific features of the flow of suspensions and oii disperse systems. Colloid Journal, 57(3), 386-390.

17. *Suleimanov, B. A., Askerov, M. S., Valiyev, G. A.* (2000). Potential of re-development of horizon PK-5 (north) of Surakhany field. Azerbaijan Oil Industry, (5), 16-21.

18. *Suleimanov, B. A.* (1997). Slip effect during filtration of gassed liquid. Colloid Journal, 59(6), 749-753.

19. *Suleimanov, B. A.* (2011). Sand plug washing with gassy fluids. SOCAR Proceedings, 1, 30-36.

20. *Mechnik V.A., Bondarenko N.A., Kuzin N.O., Lyashenko B.A.* The role of structure formation in the formation of physical and mechanical properties of diamond-(Fe-Cu-Ni-Sn) composites. Friction and wear. - 2016. - T. 37. - No. 4. - P. 482-490.

21. *Gevorkyan E., Mechnik V., Bondarenko N., Vovk R., Lytovchenko S., Chishkala V., Melnik O.* Peculiarities of obtaining diamond-(Fe-Cu-Ni-Sn) hot pressing. Functional Materials. – 2017. – №24. – P. 31-45.

22. *Mechnik V. A., Bondarenko N. A., Dub S. N., Kolodnitskiy V. M., Nesterenko Yu. V., Kuzin N. O., Zakiev I. M., Gevorkyan E. S.,* A study of microstructure of Fe-Cu-Ni-Sn and Fe-Cu-Ni-Sn-VN metal matrix for diamond containing composites. Materials Characterization. – 2018. – №146. – P. 209-216.

23. *Mechnik V. A., Bondarenko N. A., Kolodnitskiy V. M., Zakiev V. I., I. Zakiev I. M., Storchak M., Dub S. N., Kuzin N. O.* Physico-mechanical and tribological properties of Fe-Cu-Ni-Sn and Fe-Cu-Ni-Sn-VN nanocomposites obtained by powder metallurgy methods. Tribology in Industry. – 2019. – Vol. 41, № 2. – P. 188-198.

24. *Mechnik V. A., Bondarenko N. A., Kolodnitskiy V. N., Zakiev V. I., Zakiev I. M., Ignatovich S. R., Dub S. N., Kuzin N. O.* Formation of Fe-Cu-Ni-Sn-VN Nanocrystalline Matrix by Vacuum Hot Pressing for Composite Diamond-Containing Material. Mechanical and tribological properties // Superhard materials. 2019. - No. 6. - S. 26-43.

25. *Buravleva, A.A.; Fedorets, A.N.; Vornovskikh, A.A.; Ognev, A.V.; Nepomnyushchaya, V.A.; Sakhnevich, V.N.; Lembikov, A.O.; Kornakova, Z.E.; Kapustina, O.V.; Tarabanova, A.E.; Reva, V.P.;*

Buravlev, I.Y. Spark Plasma Sintering of WC-Based 10wt%Co Hard Alloy: A Study of Sintering Kinetics and Solid-Phase Processes. *Materials* 2022, 15, 1091. <https://doi.org/10.3390/ma15031091>

26. *Rasulov S. R., Hasanov G. T., Zeynalov A. N.* Acoustic testing of rheological properties of oil in borehole / *News Of The National Academy Of Sciences Of The Republic Of Kazakhstan series of geology and technical sciences.* ISSN 2224-5278 Volume 2, Number 440 (2020), 141 - 147 <https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.41>

27. *Isheyskiy V. A., Vasil'yev A. S.* Klyuchevyye osobennosti i problemy pri obrabotke, analize i interpretatsii dannykh poprotsessubureniyavzryvnykh skvazhin // *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'.* – 2022. – № 3. – S. 16–33. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_3_0_16.

28. *Sysoyev N. I., Grin'ko A. A., Grin'ko D. A.* Obosnovaniye struktury i ratsional'nykh konstruktivnykh parametrov perforatora s vintovym rabochim khodomburovogoinstrumenta // *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'.* – 2021. – № 7. – S. 113–124. DOI: 10.25018/0236.1493.2021.70113.

29. *Karasawa H., Ohno T., Miyazaki K., Eko A.* Experimental results on the effect of bit wear on torque response // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences.* 2016, vol. 84, pp. 1–9.

30. *Sarmurzina R.G., Boiko G.I., Lyubchenko N.P., Karabalin U.S., Demeubayeva N.S.* Alloys for the production of hydrogen and active aluminum oxide. *News Of The National Academy Of Sciences Of The Republic Of Kazakhstan Series Of Geology And Technical Sciences.* ISSN 2224-5278 Volume 1, Number 451 (2022), 91-98 <https://doi.org/10.32014/2022.2518-170X.145>