УДК 622.54; https://doi.org/10.37878/2708-0080/2022-4.04
http://orcid.org/0000-0003-4707-3322
http://orcid.org/0000-0002-1196-5268
http://orcid.org/0000-0003-3997-8324
http://orcid.org/0000-0002-7866-2341
http://orcid.org/0000-0001-6417-4841

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ АЛМАЗНЫХ БУРОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ КОЛЬЦЕВОГО ТИПА

Б.Т. РАТОВ[1],
доктор технических наук,
профессор,
ratov69@mail.ru

Б.В. ФЕДОРОВ[1],
доктор технических наук,
главный научный сотрудник,
fedorovbv20@mail.ru

А.Е. КУТТЫБАЕВ[1],
кандидат технических наук,
ассоц. профессор,
aidarasp@mail.ru

С.Е. КОЙБАКОВА[2],
зав. кафедрой
«Экология и геология»,
symbat.koibakova@yu.edu.kz

А.Р. БОРАШ[2], докторант PhD, *borah.ard@gmail.com*

[1]SATBAYEV UNIVERSITY,
Республика Казахстан, 050013, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22

[2]YESSENOV UNIVERSITY,
Республика Казахстан,130000, г. Актау, мкр. 32

Для решения проблемы ускоренного ввода в эксплуатацию полезных ископаемых, залегающих в твердых горных породах, проведены исследования, позволяющие сформулировать следующие рекомендации по созданию высокопроизводительных алмазных коронок:

- матрица коронки должна содержать по высоте несколько (5 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;

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

- для выполнения высококачественной износостойкой матрицы следует добавлять в малых количествах различные компоненты в состав связки алмазных зерен вида 94WC+Co+Cu.

Рекомендации воплощены в конструкции алмазных импрегнированных коронок, на которые получены патенты Республики Казахстан. Коронки внедрены в производство с получением значительного эффекта.

Разработана и запатентована алмазная коронка, импрегнированные слои которой размещены в матрице на трехзаходной винтовой поверхности, имеющей малый шаг, составляющий 0,8 – 1,2 мм. Ожидается, что при таком исполнении в процесс разрушения забоя будет вовлечена зона предразрушения, залегающая под зоной внедрения и представляющая разбитую и ослабленную трещинами твердую породу на глубину, десятикратно превышающую глубину внедрения алмазных зерен.

Изготовлена с помощью программного обеспечения и станков ЧПУ опытная партия многослойных коронок с равнонагруженным гребенчатым профилем и размещением импрегнированных слоев на трехзаходной винтовой поверхности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *алмазная многослойная импрегнированная коронка, равнонагруженный «гребенчатый» профиль, изготовление алмазонесущей матрицы, программное обеспечение; трехзаходная винтовая поверхность, размещение импрегнированных слоев.*

САҚИНАЛЫ ТҮРДЕГІ АЛМАЗДЫ БҰРҒЫЛАУ ҚҰРАЛДАРЫН ЖАСАУДЫҢ ҒЫЛЫМИ НЕГІЗДЕРІ

Б.Т. РАТОВ[1], техника ғылымдарының докторы, профессор, *ratov69@mail.ru*
Б.В. ФЕДОРОВ[1], техника ғылымдарының докторы, профессор, *fedorovbv20@mail.ru*
А.Е. КУТТЫБАЕВ[1], техника ғылымдарының кандидаты, ассоц.профессор, *aidarasp@mail.ru*
С.Е. КОЙБАКОВА[2], «Экология және геология» кафедрасының кафедра менгерушісі, *symbat.koibakova@yu.edu.kz*
А.Р. БОРАШ[2], докторант PhD, *borah.ard@gmail.com*

[1]SATBAYEV UNIVERSITY,
Қазақстан Республикасы, 050013, Алматы қ, Сәтбаев к., 22

[2]YESSENOV UNIVERSITY,
Қазақстан Республикасы, 130000, Актау қ, 32 ш.а.

Мақалада қатты тау жыныстарында жатқан пайдалы қазбаларды жедел пайдалануға беру мәселесін шешу үшін жоғары өнімді алмаз коронкаларын жасау бойынша келесі ұсыныстарды қалыптастыруға мүмкіндік беретін зерттеулер жүргізілді:

- коронканың матрицасында бірнеше (бес немесе одан да көп) импрегнирленген Алмаз бар қабаттар болуы керек, олар қаттылығы әлдеқайда аз (мысалы, ВК-20 қатты қорытпасы);

- матрицаның әрбір алмазды импрегнирленген қабаты сақиналы сына тәрізді шығыңқы жерлер мен қуыстарды білдіретін "тарақ тәрізді" профильге ие болуы керек;

- бұрғылау процесінде матрицаның импрегнирленген алмаз қабаттары коронканың радиусымен бірдей жүктелуі керек, бұл құралдың тозуға төзімділігін арттыруға және соңғысын жасау үшін алмаз шикізатының мөлшерін азайтуға мүмкіндік береді;

- ұңғыманың және бұрғыланатын өзектің диаметрін сақтау үшін матрицаның ішкі және сыртқы бүйір беттері тозуға төзімді алмас ендірмелермен (мысалы, твесалдан) жабдықталуы тиіс;

- жоғары сапалы тозуға төзімді матрицаны орындау үшін 94WC+Co+Cu түріндегі Алмаз түйірлерінің құрамына аз мөлшерде әртүрлі компоненттерді қосу керек.

1-4 ұсынымдар Қазақстан Республикасының патенттері алынған алмазды импрегнирленген коронканың конструкциясына енгізілген. Қаптамалар айтарлықтай нәтиже бере отырып, өндіріске енгізілген. Алмаз коронкасы жасалынған және патенттелген, оның әсер етілген қабаттары матрицада 0,8 – 1,2 мм болатын кішкентай қадамы бар үш жақты бұрандалы бетке орналастырылған.Бұл жағдайда кенжарды бұзу процесіне енгізу аймағының астында жатқан және сынған, жарықтармен әлсіреген қатты жыныстарды алмаз дәндерін енгізу тереңдігінен он есе асатын тереңдікке шығаратын аймақ қатысады деп күтілуде.

Бағдарламалық жасақтама мен СБ (сандық бақылау) станоктарының көмегімен көп қабатты коронканың тәжірибелі партиясы бірдей жүктелген тарақ профилімен және үш жақты бұрандалы бетке импрегнирленген қабаттарды орналастырумен жасалған.

ТҮЙІН СӨЗДЕР: *алмазды көп қабатты импрегнирленген коронка, тең жүктелген «тарақты» профиль, алмазды матрица жасау, бағдарламалық қамтамасыз ету; үш жақты бұрандалы бет, импрегнирленген қабаттарды орналастыру.*

SCIENTIFIC FOUNDATIONS OF THE CREATION OF DIAMOND DRILLING TOOLS OF THE RING TYPE

B.T. RATOV[1], Doctor of Technical Sciences, Professor, *ratov69@mail.ru*
B.V. FEDOROV[1], Doctor of Technical Sciences, Professor, *fedorovbv20@mail.ru*
A.E. KUTTYBAYEV[1], Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, *aidarasp@mail.ru*
S.E. KOIBAKOVA[2], Head of the Department «Ecology and Geology», *symbat.koibakova@yu.edu.kz*
A.R. BORASH[2], PhD student, *borash.ard@gmail.com*

[1]SATBAYEV UNIVERSITY
22 Satbayev Street, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan

[2]YESSENOV UNIVERSITY
32 microdistrict, Aktau, 130000, Republic of Kazakhstan

To solve the mentioned problem of accelerated commissioning of minerals occurring in hard rocks, studies have been carried out to formulate the following recommendations for the creation of high-performance diamond bits:

- 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 number of rough diamonds for the manufacture of the latter;

- 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 tvesala);

- to produce a high-quality wear-resistant matrix, small amounts of various components should be added to the composition of the binder of the 94WC + Co + Cu type diamond grains.

Recommendations 1-4 are embodied in the design of diamond impregnated crowns, for which the Republic of Kazakhstan has received patents. Crowns have been introduced into production with a significant effect. A diamond crown has been developed and patented, the impregnated layers placed in a matrix on a three-start helical surface with a slight pitch of 0.8 - 1.2 mm. It is expected that with this design, the pre-fracture zone will be involved in the bottom hole destruction process, which lies under the intrusion zone and represents a hard rock broken and weakened by cracks to a depth ten times greater than the intrusion depth of diamond grains.

An experimental batch of multilayer crowns with an equally loaded comb profile and placement of impregnated layers on a three-start helical surface was made using software and CNC (numerical control) machines.

KEY WORDS: *diamond multilayer impregnated crown, evenly loaded "comb" profile, production of a diamond-bearing matrix, software; three-start helical surface, placement of impregnated layers.*

Введение. Быстрый ввод в эксплуатацию месторождений полезных ископаемых, залегающих в твердых абразивных породах, во многом зависит от эффективности разведочного бурения, технико-экономические показатели которого в значительной мере определяются производительностью и стойкостью алмазного бурового инструмента кольцевой формы – буровой коронки. Наибольший эффект от применения такого инструмента достигается при его оснащении снарядов со съемными керноприемниками (ССК). Вместе с тем, производительность и особенно стойкость алмазных буровых коронок значительно снижается при проходке твердых абразивных пород: джеспилитов, кварцитов роговиков, корундовых пород. Например, если по двенадцатибальной шкале буримости примерная скорость бурения в породах IX категории (крупнозернистые граниты) составляет 0,75 – 1,2 м/час, то в породах XII категории (роговик) она снижается до 0,15 – 0,25 м/час [1].

Материалы и методы исследований. Для решения задачи значительного повышения скорости бурения и стойкости алмазного инструмента твердых абразивных породах проведены экспериментальные и теоретические исследования взаимодействия рабочего торца алмазосодержащей матрицы коронки с забоем скважины. Их анализ позволил получить важные рекомендации по совершенствованию конструкций алмазных коронок для бурения твердых пород.

Первые из упомянутых рекомендаций по оформлению матрицы коронки получены сотрудниками Казахского национального исследовательского технического университета (КазНИТУ, Алматы) и фирмы ТОО «Бурмаш» (Алматы) [2] и формулируются следующим образом:

- матрица коронки должна содержать по высоте несколько (5 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 запатентованной конструкции многослойной алмазной матрицы коронки с «гребенчатым» профилем алмазосодержащих импрегнированных слоев (*рисунок 1*) [3].

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.

Для обоснования эффективности предлагаемого торца матрицы, представляющего конические (клинообразные) кольцевые выступы и впадины, приведем полученную нами формулу для общей силы трения $F_{тр.сум.}$ на контакте «гребенчатого» торца и забоя скважины [4]:

$$F_{тр.сум.} = Pf_0/\sin\frac{\alpha}{2}, \qquad (1)$$

где P – осевая нагрузка на коронку (матрицу); f_0 – коэффициент трения на границе «алмазное зерно-горная порода»; α – угол приострения кольцевых выступов матрицы.

Так как механическая скорость алмазного бурения пропорциональна в широком диапазоне изменения осевой нагрузки [4], то из *(1)* следует, что она также пропорциональна силе трения $F_{тр.сум.}$ Такой вывод подтверждается тем, что при использовании импрегнированных слоев с мелкими алмазными зернами порода разрушается в большей степени истиранием и микрорезанием, а эти процессы зависят от силы трения между трущимися телами (алмаз – горная порода).

Рассматриваемая алмазная коронка КСБ-1 была изготовлена, прошла производственные испытания и показала достаточно хорошие результаты [2]. Вместе с

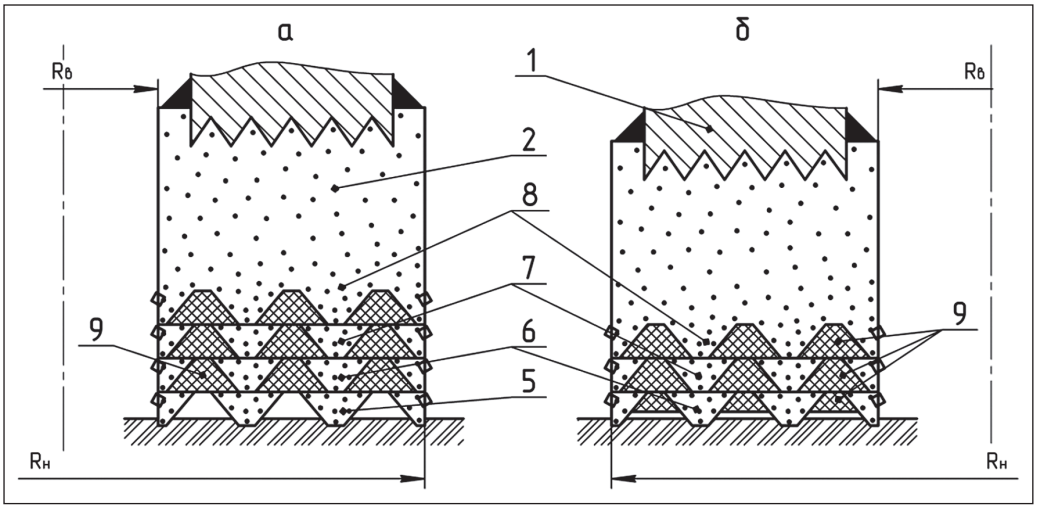

Рисунок 1 – **Многослойная алмазная матрица коронки КСБ-1 с «гребенчатым» профилем алмазосодержащих слоев: *а* – продольный разрез алмазонесущей матрицы в увеличенном масштабе; *б* – продольный разрез матрицы после износа первого алмазного слоя; 1 – корпус; 2 – матрица; 3 – пайка; 4 – подрезные алмазы; 5,6,7,8 – алмазосодержащие слои; 9 – безалмазные слои**

тем, следует признать, что в алмазной коронке КСБ-1 внешнее давление 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 $R_В$ матрицы, а максимальная – у кольцевого выступа, расположенного на ее наружном радиусе$R_Н$ (*рисунок 1*).

Такая неравномерность давления на выступы по радиусу матрицы может привести к чрезмерной величине на выступ, расположенный на внутреннем радиусе матрицы, и ее недостаточной величине на периферийный выступ.

Поэтому следующая рекомендация при изготовлении алмазных коронок формулируется следующим образом:

- 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 износостойкими алмазными вставками.

В соответствии с этой рекомендацией разработана и запатентована алмазная многослойная буровая коронка с равногруженными при бурении импрегнированными слоями (*рисунок 2*) [5], на котором показан ее общий вид "а" и в увеличенном масштабе профиль импрегнированных слоев матрица (вид "б"). Равенство площадей алмазодержащих выступов достигается уменьшением их высоты hi и увеличением угла приострения в направлении от наружного радиуса матрицы к ее внутреннему при равенстве их оснований в соответствии со следующей формулой:

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

где $R_в$– внутренний радиус матрицы коронки; t – основание алмазосодержащих 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*).

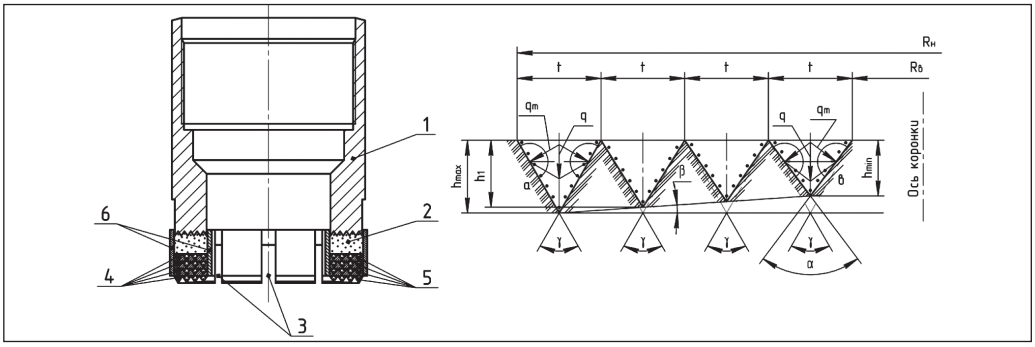

Рисунок 2 **– Многослойная буровая коронка КСБ-2 с равно нагруженными алмазосодержащими слоями: *а* – общий вид; *б* – профиль алмазосодержащего слоя в продольном сечении; *1* – корпус; *2* – матрица; *3* – промывочные окна; *4* – алмазосодержащие слои; *5* – безалмазные слои; *6* – цилиндрические вставки**

Другие конструктивные параметры коронки аналогичны параметрам коронке КСБ-1 (*рисунок 1*). Многослойная алмазная коронка с равнонагруженными при бурении импрегнированными слоями под маркой КСБ-2 успешно прошла сравнительные производственные испытания с буровыми коронками зарубежных производителей и внедрена при разведочном бурении ряда месторождений Казахстана со значительным экономическим эффектом (*таблица 1*) [6].

Таблица 1 **– Результаты сравнительных испытаний алмазных буровых коронок NQ ведущих фирм**

Фирма изготовитель буровых коронок	Проходка, м	Расход коронок шт.	Средняя проходка на коронку (стойкость) S,м	Средне-квадратичное отклонение проходки, δ см	Коэффициент вариации V=δ/S	Стоимость коронки C, доллар	Эффективность использования коронок F=C/S
Dimatec(США)	560 м	14	40	1,3	0,032	467	$\frac{467}{40} = 11,675$
ALFA-0,8 (Канада)	175 м	6	35	1,35	0,039	533	$\frac{533}{35} = 15,23$
Ultra Terra (Канада)	175 м	5	35	1,36	0,039	567	$\frac{567}{35} = 16,2$
BoartLongyear (Канада)	355 м	7	50	1,42	0,028	600	$\frac{600}{50} = 12$
Терек-Алмаз (Россия)	315 м	7	45	1,45	0,032	433	$\frac{433}{45} = 9,6$
Bohwa (Китай)	150 м	5	30	1,33	0,044	333	$\frac{333}{30} = 11,1$
КСБ-2 (Терек-Алмаз по патенту РК № 13379)	630 м	10	63	1,45	0,023	433	$\frac{433}{63} = 6,87$

За эффективность применения различных алмазных коронок принят показатель F = C/S (C – стоимость коронки в долларах; S – средняя проходка на коронку). Алмазная коронка КСБ-2 оказалась эффективнее других коронок, так как показатель F – минимален (F = 6,87, последний столбец *таблицы 1*).

Следующая рекомендация, направленная на улучшение конструкций алмазных коронок и повышение эффективности их применения, сформулирована следующим образом:

- повышение качества выполнения алмазосодержащей матрицы достигается путем добавления в состав связки алмазных зерен различных компонентов в малых количествах.

В решении упомянутой задачи наибольших успехов добились сотрудники Института сверхтвердых материалов (ИСМ НАН, Украина) [7]. В частности, при изготовлении матрицы коронок в состав связки алмазных зерен вида 94WC+Co+Ск последовательно вводился порошок монокарбида WC разной зернистости в малом количестве (6 – 12%). Экспериментальное бурение осуществлялось коронкой диаметром 75,6 мм с гребенчатым профилем торца матрицы в шокстинском граните X-ой категории по буримости. Опыты показали, что при изготовлении матрицы добавление порошка монокарбида WC при зернистости 200/160 в состав связки увеличивает ее прочность и повышает показатель эффективности Ф применения алмазных коронок в 1,9 раза.

Последний рассчитывался по следующей формуле:

$$\Phi = \vartheta_{mex} \frac{L}{h}, \qquad (3)$$

где ϑ_{mex} – механическая скорость бурения; L – проходка за время бурения; h – износ матрицы по высоте за время бурения.

Как следует из зависимости *(3)* показатель Ф учитывает основные характеристики процесса бурения алмазными коронками: производительность и износ.

Для улучшения конструктивных и технологических параметров алмазных буровых коронок рекомендуется использовать особенность разрушения крепких горных пород алмазными зернами.

Упомянутое физическое явление заключается в том, что при внедрении алмазного зерна под ней появляется область предразрушения, т.е. ослабленная трещинами порода, глубина зоны которой $h_р$ составляет:

$$h_р = К \cdot Н_в, \qquad (4)$$

где $Н_в$ – глубина внедрения зерна в породу; К – коэффициент увеличения, составляющий при разрушении твердых пород К = 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 [8]. 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 алмазонесущих секторов матрицы (в данном случае по три). Угол подъема α каждой винтовой поверхности определяется из зависимости:

$$\alpha = artg \frac{3h_р}{\pi Д_{ср}}, \qquad (5)$$

где $Д_{ср}$ – средний диаметр торца матрицы.

При работе такой коронки первоначально в забое формируется зона внедрения наибольшим по высоте секторами матрицы, а под ней – зона предразрушения, т.е. ослабленный трещинами слой породы. При следующем повороте коронки секторы коронки перемещаются вниз не только на величину зоны внедрения, а на большую величину, учитывая снижение прочности разбитой трещинами породы, т.е. осуществляется послойное удаление последней.

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 забою) положение алмазосодержащих импрегнированных слоев расположенных на винтовой поверхности и разделяющих их слоев малоабразивного материала, а также их конусная кольцевая форма позволяет создавать большие удельные нагрузки на забой, реализовать эффект самозатачивания и особенности механизма разрушения твердых пород при воздействии алмазных зерен.

В настоящее время партия таких алмазных коронок (*рисунок 3*) создана и подготовлена к производственным испытаниям на геологических объектах Казахстана.

В КазНИТУ разработана и запатентована алмазная многослойная коронка с равнонагруженными импрегнированными слоями, размещенными на трехзаходной винтовой поверхности [9]. Ее отличие от ранее рассмотренной коронки (*рисунок 3*) заключается в том, что импрегнированные, имея форму в виде конусных кольцевых выступов и впадин, представляют в поперечном разрезе (*рисунок 3*) равнобедренные треугольники с равными основаниями и различными углами приострения γi, увеличивающаяся от периферийного выступа (от радиуса R_H) к внутреннему радиусу R_B в соответствии с зависимостью

$$\gamma_i = 2arctg\left[\frac{R_H(2R_H - t/2 \cdot tg\,\gamma/2)}{R_b(2R_H - 2mt - t/2)}\right], \quad (6)$$

где R_H – наружный радиус коронки; R_B – внутренний радиус; t – ширина основания импрегнированных выступов; γ – угол приострения выступа, примыкающего к наружному радиусу R_H коронки; m – количество конусных выступов.

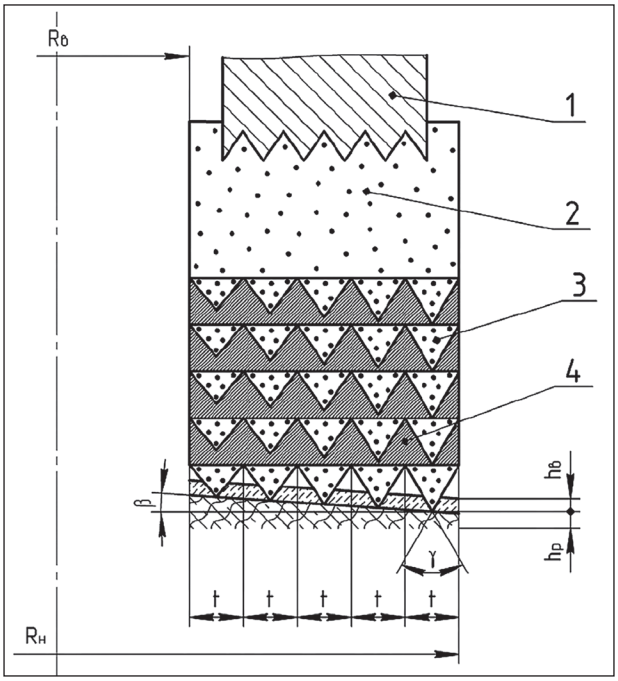

Рисунок 3 – **Равнонагруженный «гребенчатый» профиль импрегнированных слоев размещенных на трехзаходной винтовой поверхности, [9]:**
1 **– корпус коронки;** ***2*** **– матрица;** ***3*** **– алмазный импрегнированный слой;** ***4*** **– безалмазный слой;** $h_в$ **– глубина внедрения алмазных выступов;** $h_р$ **– глубина зоны предразрушения зоной внедрения**

Расчеты по *(6)* дают возможность получить равные площади всех импрегнированных выступов в радикальном направлении матрицы, а, следовательно, обеспечить одинаковое давление на них при работе коронки на забое скважины.

Ожидается, что многослойная коронка с равнонагруженными алмазными слоями гребенчатого профиля, размещенными на трехзаходной винтовой поверхности с малым шагом (порядка 1 мм) при бурении твердых абразивных пород покажет наибольшую эффективность.

Предлагаемая технология создания многослойной коронки с равнонагруженным профилем [9] разделяется на два процесса: проектирование и изготовление (*рисунок 4*).

Рисунок 4 – **Схема технологии изготовления алмазной многослойной коронки, [9]**

Многослойная алмазная коронка (*рисунок 3*) имеет сложную криволинейную форму алмазных импрегнированных слоев, каждый из которых по мере износа предыдущего слоя вступает в контакт с породой для ее разрушения. Поэтому создание такой коронки невозможно без современного программного обеспечения [10-20].

Проектирование технологического процесса на изготовление коронки включает 3 этапа:

– создание 3Д-модели коронки;

– создание модели прессформы (технологической оснастки) для изготовления коронок;

– создание программного кода для станка ЧПУ при изготовлении основания прессформы.

Для проектирования и создания 3Д-моделей буровой коронки и графитовой прессформы был использован упрощенный вариант САПР Kompas 3D V14 Home. Главное достоинство семейства данных программ, производимых в РФ – полная совместимость со стандартами ЕВРАЗЭС.

Первоначально была создана 3Д-модель буровой коронки (*рисунок 5*).

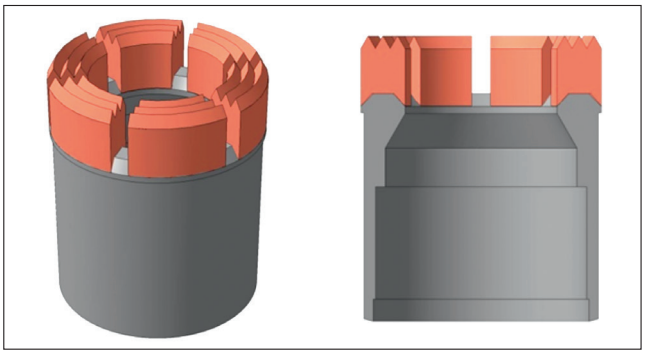

Рисунок 5 – **Буровая коронка общий вид и в разрезе (на примере NQ, d75,6 мм)**

По разработанной 3Д-модели были разработаны рабочие чертежи короночной заготовки и прессформы (*рисунки 6,7*), а состоящей из 7 графитовых деталей: основания 1, обоймы 2, направляющей 3, вкладыша 4, разделителей 5, упругих вставок 6, короночной заготовки 7, центрирующего стержня 8.

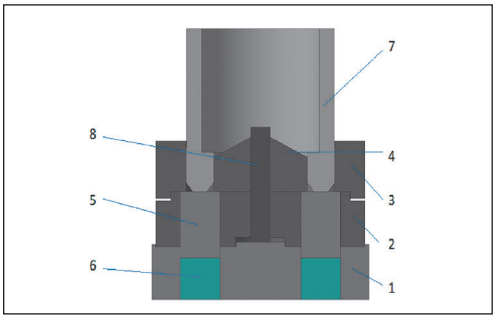

Рисунок 6 – **Прессформа буровой коронки**

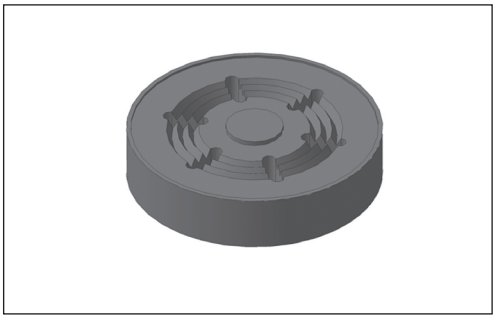

Рисунок 7 – **3Д-модель основания пресс-формы для изготовления алмазонесущей матрицы коронки**

Наиболее сложной по исполнению деталей прессформы является основание (*рисунок 8*). Проектируемая матрица буровой коронки имеет сложную криволинейную форму, а основание прессформы является той деталью, которая будет формировать профиль матрицы. При использовании стандартного токарного, фрезерного и сверлильного оборудования создать такую форму крайне сложно и практически невозможно воспроизвести с требуемым качеством. Поэтому данная деталь будет изготовлена с использованием станка ЧПУ типа REMAX 4030 [9–20, 30].

После утверждения 3Д-модели конструкции прессформы (*рисунок 7*) все ее графитовые детали были переведены в рабочие чертежи. Используя программу ARTCAM 2011, была создана рабочая программа для изготовления этих деталей на упомянутом станке.

Поскольку детали прессформы, обойма и вкладыш имеют простую кольцевую форму, их изготовление производили на сверлильном станке 2М112. При этом использовались кольцевые алмазные сверла соответствующих диаметров.

Особенностью конструкции опытных коронок является чередование в матрице рабочих слоев, содержащих синтетический алмазный порошок SDB1125фракции 25/35 меш, порошковую смесь ВК-8 и пропиточную медь, а также безалмазные слои из смеси ВК-20 и меди. Слои имеют гребенчатую форму; всего 5 рабочих слоя и 5 безалмазных; высота алмазного слоя 1,2 мм, безалмазного – 1,2 мм. Общая высота матрицы 10 мм. Слои в матрице сформированы по трехзаходной винтовой поверхности.

Работа над изготовлением коронки начинается со сборки прессформы (*рисунок 8*).

Одновременно с этим производится развеска навесок порошка ВК-8, ВК-15, SDB1125 на весах ВЛК-500. Каждая из навесок ВК-8 и объединяются с навеской SDB1125, и они перемешиваются.

После этого начинается непосредственно сборка коронки перед прессованием. Навески засыпаются в рабочие полости прессформы и подпрессовываются инструментом, повторяющим профиль поверхности матрицы.

После окончания укладки слоев матрицы сверху в прессформу устанавливается заготовка и производится прессование под давлением 0,5 тс/см^2. После этого коронка подготовлена к процессу инфильтрации в печи с защитной средой.

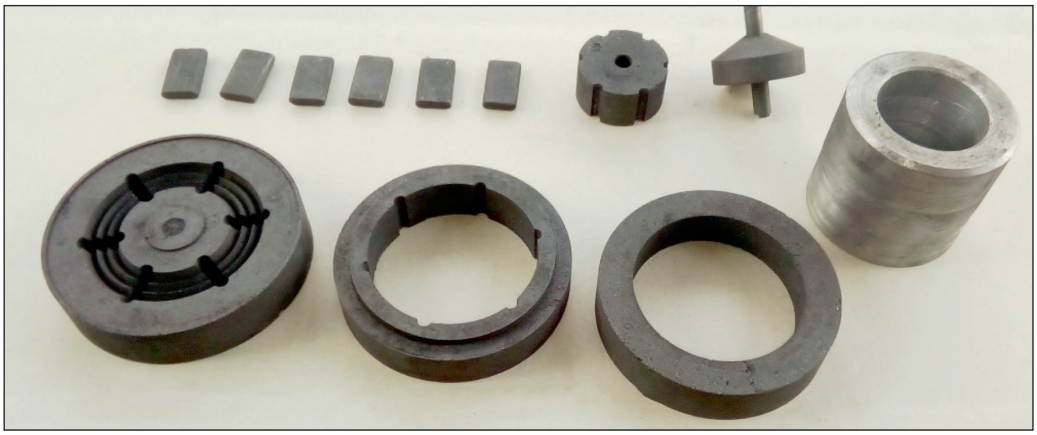

Рисунок 8 – **Детали прессформы, изготовленные из графита марки МПГ на станках Remax 3040 , 2М112, и стальная короночная заготовка**

Существуют разные возможности создания защитной среды при высокотемпературной инфильтрации порошковой матрицы пропиточными составами: использование активных газов (водород), инертных газов (Аргон, азот, окись углерода), твердых засыпок, связывающих атмосферный кислород в области нагрева, вакуума. Все способы имеют достоинства и недостатки. В качестве оптимального способа был выбран вакуумный нагрев изделия как наиболее безопасный, так и лучший по качеству исполнения алмазосодержащих матриц. Нагрев производился в опытной установке, собранной из стандартных узлов.

На *рисунке 9* показана пресс-форма в собранном виде, а на *рисунке 10* пресс-форма с короночной заготовкой после прессования и перед установкой в печь.

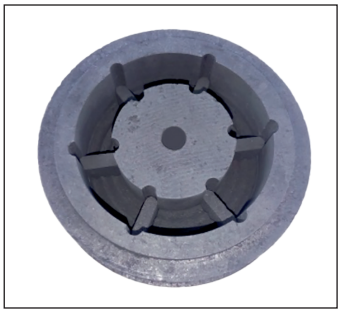

Рисунок 9 – **Прессформа в собранном виде**

Рисунок 10 – **Прессформа с короночной заготовкой после прессования и перед установкой в печь**

Установка вакуумной инфильтрации состоит из вакуумируемой камеры, нагревательного муфеля, системы вакуумного отсоса атмосферного воздуха, системы охлаждения, системы нагрева с контролем рабочей температуры.

Детали буровой коронки совместно с прессформой и кусочками пропитывающего сплава устанавливались в нагревательный муфель, расположенный внутри вакуумной камеры. Вакуумная камера герметизировалась, и производилась откачка воздуха до вакуума 0,1 мм.рт.ст. Далее осуществлялся нагрев изделия до температуры 1100 °С, выдержка при этой температуре в течении 20 мин. и охлаждение до комнатной температуры).

В завершении пропитанные изделия подвергались токарной обработке на станке 1А616 до размеров, определенных стандартом ISO 10097–1.

Окончательный вид алмазных многослойных буровых коронок разных диаметров приведен на *рисунке 11*.

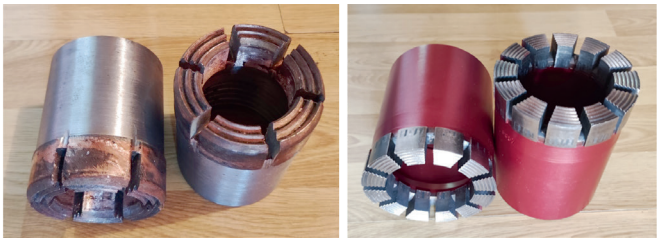

Рисунок 11 – **Окончательный вид алмазных буровых коронок, выполненных по [9]: а – коронка NQ (75,6 мм); б – коронка HQ (93,6 мм)**

Опытная серия упомянутых коронок подготовлена к производственным испытаниям.

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 съемными керноприемниками.

2. Для повышения ресурса работы 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. Необходимо 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 внедрения область ослабленной трещинами породы, которую необходимо вовлечь в процесс углубления забоя скважины с меньшими затратами энергии.

7. При изготовлении алмазных многослойных коронок с криволинейной формой торца матрицы весьма эффективно использование программного обеспечения, включающего системы САД и САЕ и станки с числовым программным управлением. С их помощью гораздо проще изготовить многослойные алмазные коронки с равнонагруженным гребенчатым профилем и размещением импрегнированных слоев на трехзаходной винтовой поверхности.

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

ЛИТЕРАТУРА

1 Федоров Б.В. Разрушение горных пород и теоретические основы процесса бурения скважин. – Алматы, 2021. – с.272 [Fedorov B.V. Razrusheniye gornykh porod i teoreticheskiye osnovy protsessa bureniya skvazhin. – Almaty, 2021. – s.272]

2 Кудайкулов С.К. Бурение скважин в сложных условиях снарядами со съемными керноприемниками (ССК). – Алматы: КазНТУ, 2010. – с. 248 [Kudaykulov S.K. Bureniye skvazhin v slozhnykh usloviyakh snaryadami so s"yemnymi kernopriyemnikami (SSK). – Almaty: KazNTU, 2010. – s. 248]

3 Предварительный патент №13169 РК. Алмазная буровая коронка / Федоров Б.В. Кудайкулов С.К .Опубл. 2003. [Predvaritel'nyy patent №13169 RK. Almaznaya burovaya koronka / Fedorov B.V. Kudaykulov S.K . Opubl. 2003.]

4 Ратов Б.Т., Федоров Б.В., Кудайкулова Г.А., Отебаев М. Совершенствование алмазных коронок для бурения твердых абразивных пород. Сб. Породоразрушающей и металлообрабатывающей инструмент. Техника и технология его изготовления и применения. Киев, 2013 – С. 26-32. [Ratov B.T., Fedorov B.V., Kudaykulova G.A., Otebayev M. Sovershenstvovaniye almaznykh koronok dlya bureniya tverdykh abrazivnykh porod. Sb. Porodorazrushayushchey i metalloobrabatyvayushchey instrument. Tekhnika i tekhnologiyay ego izgotovleniya i primeneniya. Kiyev, 2013 – S. 26-32.]

5 Предварительный патент №13379 РК. Алмазная буровая коронка / Федоров Б.В., Кудайкулов С.К. Опубл. 2006. [Predvaritel'nyy patent №13379 RK. Almaznaya burovaya koronka / Fedorov B.V., Kudaykulov S.K. Opubl. 2006.]

6 Кудайкулова Г.А., Федоров Б.В. и др. Результаты сравнительных испытаний алмазных буровых коронок ведущих фирм // Вестник КазНТУ. – 2014. – №2 (102). – С. 75-79.[Kudaykulova G.A., Fedorov B.V. i dr. Rezul'taty sravnitel'nykh ispytaniy almaznykh burovykh koronok vedushchikh firm // VestnikKazNTU. – 2014. – №2 (102). – S. 75-79.]

7 Ratov B.T., Bondarenko N.A., Mechnik V.A., Strelchuk V.V., Prikhna T.A., Kolodnitskyi V.M. Structure and Properties of WC–Co Composites with Different CrB2 Concentrations, Sintered by Vacuum Hot Pressing, for Drill Bits // Journal of Superhard Materials. – 2021. – Vol. 43.,n. 5. – P. 344–354.

8 Инновационный патент №25764 РК. Алмазная буровая коронка / Федоров Б.В., Кудайкулова Г.А., Бердыбаев И.М. Опубл. 2012. [Innovatsionnyy patent №25764 RK. Almaznaya burovaya koronka / Fedorov B.V., Kudaykulova G.A., Berdybayev I.M. Opubl. 2012.).]

9 Инновационный патент №35548 РК. Алмазная буровая коронка / Ратов Б.Т., Федоров Б.В., Кудайкулова Г.А. и др. Опубл. 2022. [Innovatsionnyy patent №35548 RK. Almaznaya burovaya koronka / Ratov B.T., Fedorov B.V., Kudaykulova G.A. i dr. Opubl. 2022.]

10 Ратов Б.Т., Федоров Б.В., Исонкин А.М., Закенов С.Т. Бораш Б.Р. Современные конструкции алмазных коронок для бурения скважин // Нефть и Газ. – 2022. – №2 (128). – С. 92-102. https://doi.org/10.37878/2708-0080/2022-2.08 [Ratov B.T., Fedorov B.V., Isonkin A.M., Zakenov S.T.Borash B.R. Sovremennyye konstruktsii almaznykh koronok dlya bureniya skvazhin // Neft' i Gaz. – 2022. – №2 (128). – S. 92-102. https://doi.org/10.37878/2708-0080/2022-2.08]

11 Ratov B.T., Fedorov B. V., Khomenko V.I., Baiboz A.R, Korgasbekov D. R. Some features of drilling technology with PDC bits // NaukovyVisnik National Hirnohoho University. – 2020. – Vol.3. – P. 13-18, DOI 10.33271/nvngu/20203/013

12 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. – 2018. – Vol. 2, no. 428. – P. 63 – 71.

13 Fedorov B., Ratov B., Sharauova A. Development of the model of petroleum well boreability with PDC bore bits for Uzen oil field (the Republic of Kazakhstan) // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. –Vol. 87, no. 3/1. – P. 16 –22. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.99032

14 Ратов Б. Т., Федоров Б.В., Исонкин А.М., Сыздыков А.Х. Ильницкая Г.Д. Основные направления совершенствования алмазных буровых коронок // Нефть и Газ. – 2021. – №5 (125). – С. 46-59. [Ratov B. T., Fedorov B.V., Isonkin A.M., Syzdykov A.KH. Il'nitskaya G.D. Osnovnyye napravleniya sovershenstvovaniya almaznykh burovykh koronok // Neft' i Gaz. – 2021. – №5 (125). – S. 46-59.]

15 Ратов Б.Т., Бондоренко Н.А., Мечник В.А., Стрелчук В.В., Колодницкий В.Н., Николенко А.С., Коростишевський Д.Л., Пошванюк Н.Ф. Особенности микроструктуры композитов WC-Соупрачненных добавкой CrB2. Инструментальное материа-

ловедение. Сборник научных трудов. Киев, 19–25.09.. – 2021. –С. 27–36. https://doi.org/10.33839/2708-731X-23-1-50-65 [Ratov B.T., Bondorenko N.A., Mechnik V.A., Strelchuk V.V., Kolodnitskiy V.N., Nikolenko A.S., Korostishevs'kiy D.L., Poshvanyuk N.F. Osobennosti mikroctruktury kompozitov WC-Couprachnennykh dobavkoy CrB2 / Instrumental'noye materialovedeniye. Sbornik nauchnykh trudov. – Kiyev, 19–25.09. – 2021. – S. 27–36. https://doi.org/10.33839/2708-731X-23-1-50-65]

16 Ratov B. T., Bondarenko M. O., Mechnik V. A., Strelchuk V. V., Prikhna T. A., Kolodnitskyi V. M., Nikolenko A. S., Lytvyn P. M., Danylenko I. M., Moshchil V. E., Gevorkyan E. S., Kosminov A. S., Borash A. R. Structure and Properties of WC–Co Composites with Different CrB2 Concentrations, Sintered by Vacuum Hot Pressing, for Drill Bits // Journal of Superhard Materials. – 2021. – Vol. 43, n. 5. – P. 344–354.

17 Mechnik V.A., Bondarenko N.A., Kolodnitsky 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.–P. 26-43.

18 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. – P. 1091. https://doi.org/10.3390/ma15031091

19 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. – 2020. – Vol. 2, n. 440. – P. 141 – 147 https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.41

20 Ratov B.T., Fedorov B.V. Hydroimpulsive development of fluid-containing recovery // Life Sci. – 2013. – N 10(11s). – P. 302-305.