

УДК 622.24.051.64

Б. В. Федоров, д-р техн. наук¹; **Г. А. Кудайкулова**, д-р техн. наук²;
Б. Т. Ратов, д-р техн. наук¹; **М. Отебаев**, канд. техн. наук³

¹Казахский Национальный Технический Университет им. К. И. Сатпаева, г. Алматы

²ТОО «Бурмаш», г. Алматы, Казахстан

³ТОО «КРУЗ», г. Жанаозен, Казахстан

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АЛМАЗНЫХ КОРОНОК ДЛЯ БУРЕНИЯ ТВЕРДЫХ АБРАЗИВНЫХ ПОРОД

С учетом особенностей технологии бурения снарядов со съёмными керноприемниками разработаны и запатентованы многочисленные импрегнированные алмазные коронки высокой износостойкости для разрушения твердых абразивных пород.

Ключевые слова: импрегнированные коронки, гребенчатый профиль, винтовая поверхность торца матрицы, равнонагруженный профиль, твердые абразивные породы.

Для бурения твердых абразивных пород используют импрегнированные алмазные коронки, основная проблема которых в подобных условиях заключается в недостаточной производительности и стойкости. Проблема еще более обостряется в связи с широким внедрением в производство снарядов со съёмными керноприемниками (ССК), когда стойкость инструмента играет основную роль при оценке этих средств.

Повысить стойкость и производительность алмазных инструментов можно несколькими путями:

- совершенствованием геометрии вооружения алмазных коронок;
- использованием особенностей механизма разрушения горных пород под действием алмазных зерен;
- совершенствованием физико-механических характеристик алмазного сырья для армирования матриц коронок и технологии их изготовления.

Рассмотрим проведенные исследования и разработки в первых двух направлениях.

В целях оценки влияния на производительность геометрии алмазнесущего слоя матрицы исследовали его различные формы. Из всех возможных вариантов формы профиля (прямоугольная, тороидальная, полукупольная, пилообразная, ступенчатая) наиболее эффективна гребешковая (пилообразная), представляющая кольцевые клиновидные выступы и впадины алмазнесущего слоя матрицы (рис. 1).

Сила P_0 , приходящаяся на единицу длины одного клинообразного алмазнесущего выступа матрицы среднего радиуса R_{cp} ($R_B < R_{cp} < R_H$) и действующая на забой скважин, вызывает нормальные реакции N_0 со стороны горной породы на боковые поверхности выступа (рис. 1, б). Взаимосвязь сил P_0 и N_0 определяется по формуле [1]:

$$P_0 = P / t\pi(R_H + R_B) = 2N_0 \sin \frac{\gamma}{2}; \quad (1)$$

где P – осевая нагрузка на коронку; t – количество клинообразных выступов; R_H , R_B – соответственно наружный и внутренний диаметр матрицы коронки (рис. 1, а); γ – угол приострения алмазнесущих слоев (рис. 1, б).

Механическая скорость бурения v_m -алмазными импрегнированными коронками определяется по формуле [2]

$$v_m = 0,4 nP f_0 / d_c \delta_c (1 - \beta), \quad (2)$$

где n – частота вращения коронки, об/мин; f_0 – коэффициент трения на границе «алмазное зерно – горная порода»; d_c – диаметр скважины, см; δ_c – предел прочности горной породы при сжатии, даН/см²; $\beta = \frac{d_k}{d_c}$ – соотношение диаметров керна d_k и скважины d_c .

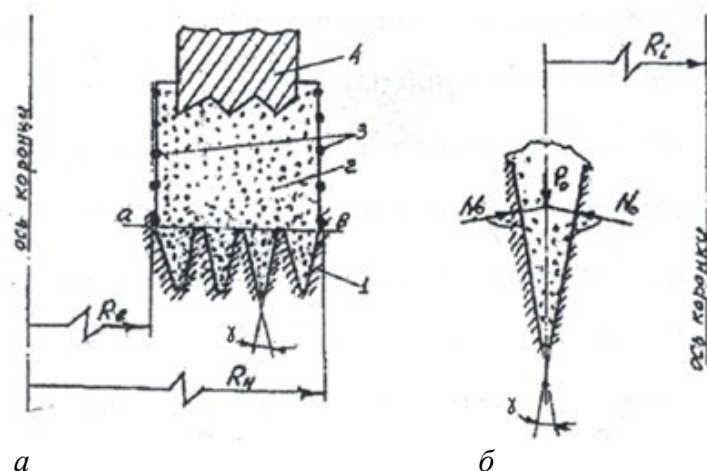


Рис. 1. Схемы продольного сечения матрицы алмазной коронки с «гребешковым» профилем: а – гребешковый профиль; б – силы, действующие на кольцевой клинообразный выступ профиля; 1 – алмазосодержащие кольцевые конические выступы матрицы; 2 – алмазосодержащая кольцевая матрица; 3 – подрезные алмазы; 4 – короночное кольцо

Общая сила трения $F_{тр.сум}$, возникающая на контакте гребенчатого торца матрицы и забоя, определяется по формуле [1; 2; 9]

$$F_{тр.сум} = P f_0 / \sin \frac{\gamma}{2}. \quad (3)$$

Сравнивая формулы (2) и (3), приходим к выводу, что скорость бурения пропорциональна силе трения. Это объясняется тем, что при использовании алмазных импрегнированных коронок порода разрушается микрорезанием и в большой степени истиранием, а интенсивность этих процессов зависит от силы трения между трущимися поверхностями.

Таким образом, с уменьшением угла приострения γ клинообразных алмазосущих выступов производительность разрушения забоя скважины значительно повышается. Этот вывод подтверждается экспериментальными исследованиями [3]. Кроме того, упомянутый профиль алмазосущего торца матрицы расклинивает формируемые кольцевые выступы забоя. Однако при уменьшении угла приострения алмазосущих слоев следует учитывать необходимую прочность закрепления алмазных зерен в клинообразных выступах.

Вместе с тем известные алмазные коронки с гребенчатым профилем торца имеют существенный недостаток: по мере износа алмазосущих выступов до плоскости «а в» (рис. 1, а) высотой 3–4 мм инструмент работает как обычная импрегнированная коронка с плоским прямоугольным профилем торца. В результате производительность бурения снижается, что, в свою очередь, приводит к снижению стойкости инструмента.

В целях устранения указанного недостатка специалисты буровой компании ТОО «Бурмаш» и ученые кафедры технологии и техники бурения скважин КазНТУ им. К. И. Сатпаева совместно разработали алмазную многослойную коронку с гребенчатым профилем торца (рис. 2) [4].

Отличительной особенностью указанной коронки является конструкция матрицы, содержащей по высоте несколько алмазосущих слоев с объемными алмазами, причем слои повторяют «гребенчатую» форму торца инструмента. Пространство между «гребешками» (коническими кольцевыми выступами) каждого слоя заполнено связующим материалом более низкой износостойкости, чем связующий материал алмазосодержащих слоев (рис. 2, в, г). При

разрушении забоя по мере износа алмазнесущего слоя 5 (рис. 2, в) в контакт с породой вступает следующий алмазосодержащий слой 6 (рис. 2, г). При этом связующий материал 9 вследствие более низкой абразивности и твердости изнашивается быстрее, обнажая выступы алмазосодержащего слоя, которые производят дальнейшее разрушение забоя.

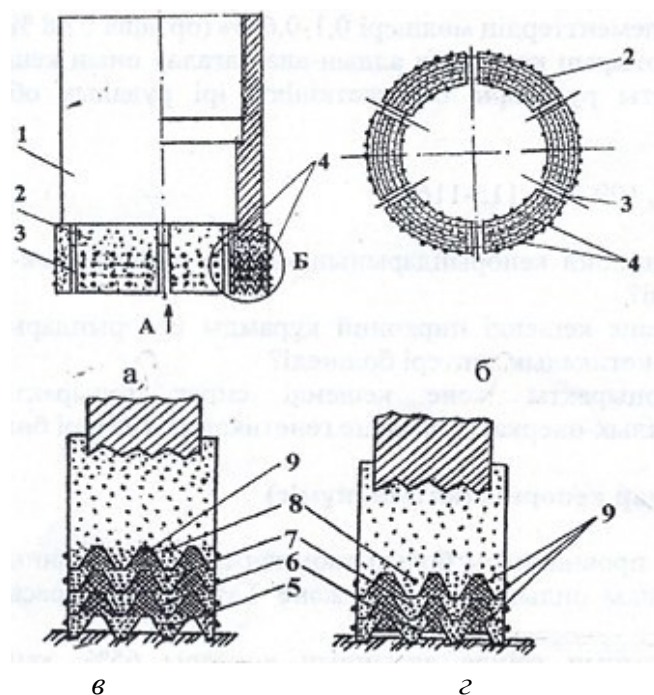


Рис. 2. Схемы многослойной алмазной коронки с гребенчатым профилем алмазосодержащих слоев: а – вид со стороны корпуса; б – вид по А; в – продольный разрез алмазнесущей матрицы в увеличенном масштабе (узел Б на рис а); г – продольный разрез матрицы после износа первого алмазного слоя; 1 – корпус; 2 – матрица; 3 – промывочные каналы; 4 – подрезные алмазы; 5 – 8 – алмазосодержащие слои; 9 – безалмазные слои

Таким образом, использование указанной коронки позволяет реализовать преимущества «гребенчатого» профиля торца до полного износа алмазнесущей матрицы, что повышает стойкость инструмента и рейсовую скорость бурения.

Результатом дальнейшего развития работ в этом направлении явилось создание многослойной коронки, при использовании которой обеспечивалось бы равномерное нормальное давление со стороны поверхностей всех кольцевых клинообразных выступов на забой скважины.

Попытки создать оптимальный (равнопрочный) профиль торца алмазной коронки неоднократно предпринимались ранее. При одинаковых размерах и форме выступов и впадин применяемого в настоящее время гребешкового профиля (показан пунктирными линиями на рис. 3) внешняя нагрузка, действующая на коронку при бурении, распределяется равномерно на все клинообразные выступы алмазосодержащего слоя. Однако нормальное удельное давление на боковые поверхности выступов зависит от их радиального расположения. Это связано с тем, что площади боковых поверхностей выступов различаются: минимальная площадь будет у кольцевого выступа, примыкающего к внутреннему радиусу коронки, максимальная – у периферийного кольцевого выступа, формирующего диаметр скважины. Упомянутая площадь S_m в направлении от внутреннего радиуса коронки $R_{вн}$ к наружному R_n определяется по общей формуле

$$S_m = \pi h \left(2R_{вн} + \frac{2m-1}{2} \right) \div \cos \frac{\gamma}{2}, \quad (4)$$

где h – высота клинообразных выступов (рис. 3); m – количество боковых поверхностей клинообразных кольцевых выступов, начиная с поверхности, примыкающей к внутреннему радиусу $R_{вн}$; t – основание клинообразных выступов.

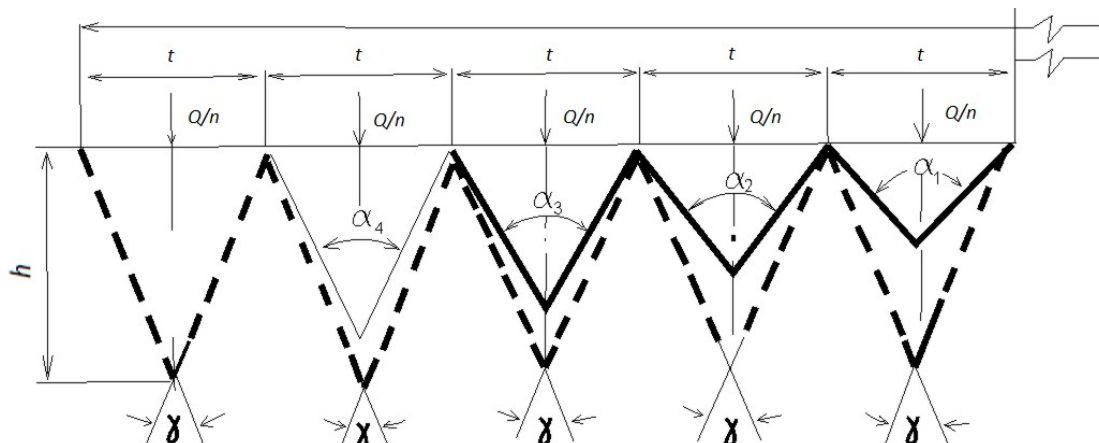


Рис. 3 Схема гребешкового и равнонагруженного профиля торца коронки:
 R_a – внутренний радиус матрицы; R_n – наружный радиус матрицы; γ – угол приострения клинообразных выступов

Нормальное давление q_{mn} со стороны любого клинообразного выступа на горную породу будет различным:

$$q_{mn} = Q/2n_0 \sin \frac{\gamma}{2} S_m, \quad (5)$$

где Q – действующая на коронку осевая нагрузка; n_0 – количество клинообразных выступов.

Из формулы (5) следует, что максимальное нормальное давление породы будет испытывать со стороны внутреннего кольцевого выступа, минимальное – со стороны периферийного. Неравномерность распределения давления приводит к чрезмерности давления со стороны, примыкающих к внутреннему диаметру коронки кольцевых выступов и ее недостаточности для разрушения породы выступом, сопрягающимся с наружным диаметром инструмента. В результате повышаются общая нагрузка на коронку и расход алмазного сырья для ее изготовления.

В целях равномерного распределения нормального давления на все кольцевые выступы разработана и запатентована коронка с равнонагруженным в процессе бурения гребенчатым профилем матрицы (рис. 4).

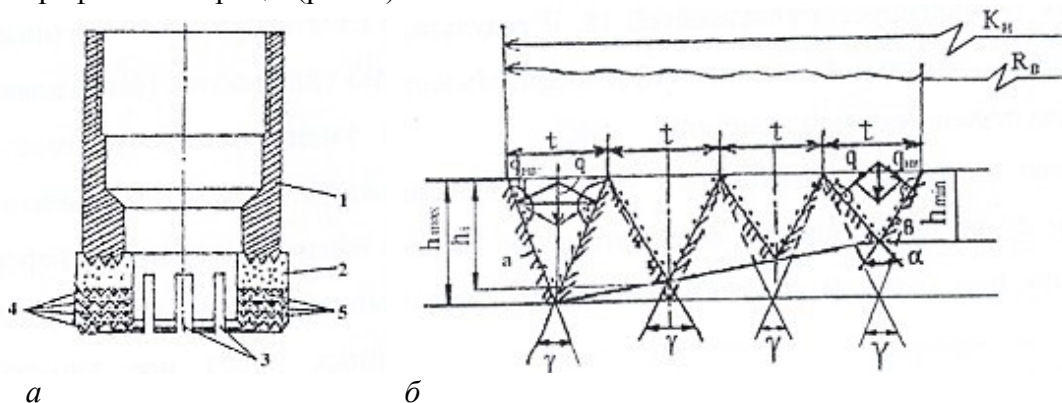


Рис. 4. Схема многослойной буровой коронки с равнонагруженными алмазосодержащими слоями: а – общий вид; б – профиль алмазосодержащего слоя в продольном сечении; 1 – корпус; 2 – матрица; 3 – промывочные окна; 4 – алмазосодержащие слои; 5 – безалмазные слои

В продольном сечении последние примыкающие друг к другу треугольники с равными основаниями t , но с различной высотой h_i (показан на рис. 3 и рис. 4, б сплошными линиями) [5]. Можно показать, что высота h_i уменьшается в направлении от периферийного выступа алмазосодержащего слоя к оси коронки в соответствии с зависимостью

$$h_i = (2R_{\text{ВН}} + 0,5t)h_{\text{max}} \div [2R_{\text{ВН}} + (2m + 1) \cdot 0,5t]. \quad (6)$$

Угол приострения выступов α_i , напротив, увеличивается в этом направлении.

Изготовленная опытная партия многослойных алмазных коронок с равнонагруженным профилем каждого алмазосодержащего слоя (всего пять слоев по высоте матрицы) под маркой КСБ-2 прошла опытно-промышленные испытания на золоторудном месторождении «Мизек». Результаты сравнительных испытаний с коронок Q “Boart Longyear” приведены в таблице.

Результаты сравнительных испытаний алмазных буровых коронок Q “Boart Longyear” и КСБ-2 (диаметр бурения – 76 мм)

Тип коронки	Буримая порода	Пробурено метров погонной длины	Средняя механическая скорость бурения, V м/ч	Среднеквадратичное отклонение скорости σ , м/ч	Коэффициент вариации $V_0 = \delta/V$	Проходка на коронку	
						м	%
Q “Boart Longyear”	Андезитовый порфирит (Х категория)	520	2,7	0,25	0,09	148	100
	Туф андезитовый сильно окварцованный (ХI категория)	540	1,31	0,14	0,107	39	100
КСБ-2	Андезитовый порфирит (Х категория)	620	2,72	0,27	0,103	186	126
	Туф андезитовый сильно окварцованный (ХI категория)	615	1,36	0,15	0,12	52	133

Из приведенных в таблице данных следует, что при примерно равной механической скорости бурения испытываемых коронок проходка на коронку КСБ-2 возросла на 26–33%, что значительно повысило рейсовую скорость и производительность бурения за смену.

Вторым направлением совершенствования алмазных буровых коронок явилось использование в их конструкции особенностей механизма разрушения твердых горных пород под действием алмазных зерен. Одна из особенностей заключается в том, что в результате внедрения алмазного зерна в породу и его перемещения в ней формируются две зоны: глубина внедрения зерна и глубина разрушения (т. е. область разрушенной, но не удаленной породы), превышающая в твердых породах первую зону в 8–12 раз. Эта особенность реализована в новых запатентованных технических решениях, направленных на совершенствование конструкции алмазных коронок [6; 7]. Конструкция первой коронки [6] содержит алмазосодержащую матрицу, торец которой выполнен в виде трехзаходной винтовой поверхности. На каждом ее заходе расположено одинаковое количество секторов. Концы задних граней наиболее высоких секторов находятся в плоскости, перпендикулярной к оси коронки; разность высоты задних граней наивысших секторов и передних граней

наиболее низких секторов на каждом заходе винтовой поверхности соответствует глубине разрушения при внедрении алмазных зерен, которыми оснащен торец матрицы. Предполагается, что при внедрении алмазных зерен секторы с наиболее высокими гранями формируют значительную по толщине зону разрушенной, но не удаленной породы, которая удаляется при последующем вращении инструмента. Угол подъема трехзаходной винтовой поверхности матрицы определяется по формуле

$$\beta = \arctan(3h_p / \pi D_{cp}) \quad (7)$$

где h_p – глубина разрушения породы; D_{cp} – средний диаметр коронки.

В дальнейшем в соответствии с этим принципом была разработана многослойная коронка [7], матрица которой содержит по высоте чередующиеся алмазосодержащие и безалмазные слои, причем все они расположены по винтовым поверхностям соответственно торцевой поверхности матрицы.

И, наконец, последняя разработанная коронка [8] отличается от упомянутых коронок тем, что расположенные на винтовых поверхностях алмазосодержащие и безалмазные слои имеют обращенную к забою скважин «гребешковую» форму. Это позволяет реализовать преимущества, обусловленные рациональным профилем инструмента и особенностями механизма разрушения породы при алмазном бурении.

Выводы

1. Наиболее эффективен «гребешковый» равнонагруженный профиль, представляющий кольцевые выступы и впадины, причем высота алмазосодержащих выступов должна увеличиваться от внутреннего радиуса коронок к ее периферии, а угол их приострения, напротив, уменьшаться.

2. Для повышения стойкости в твердых абразивных породах алмазная коронка должна быть многослойной, причем каждый импрегнированный алмазосодержащий слой должен иметь равнонагруженный профиль и чередоваться с менее твердым безалмазным слоем.

3. Следует изготовить запатентованную многослойную коронку с винтовыми поверхностями, на которых расположены алмазосодержащие слои с равнонагруженным профилем и экспериментально исследовать в целях установления ее эффективности.

З урахуванням особливостей технології буріння снарядів зі змінними керноприймачами розроблені і запатентовані численні імпрегнації алмазні коронки високої зносостійкості для руйнування твердих абразивних порід.

Ключові слова: імпрегновані коронки, гребінчастий профіль, гвинтова поверхня торця матриці, рівнонапружений профіль, тверді абразивні породи.

Taking into account features of technology of drilling SSK a number numerous the diamond crowns possessing the big wear resistance and with success of firm abrasive breeds applied at destructions is developed and patented.

Key words: impregnated bits, an edge profile, a screw surface of an end face of a matrix, a profile, firm abrasive breeds.

Литература

1. Кудайкулов С. К. Бурение скважин в сложных условиях снарядами со съёмными керноприемниками. Алматы: КазНТУ, 2010.
2. Царицын В. В. Алмазное бурение. М.: Недра, 1975.
3. Ресурсосберегающая технология алмазного бурения в сложных геологических условиях / Н. В. Соловьев, В. Ф. Чихоткин, Р. К. Богданов, А. П. Загора. – М.: ВНИИОЭНГ, 1997.

4. Предварительный патент Республики Казахстан № 13169 кл. E2110148. Алмазная буровая коронка / С. К. Кудайкулов, Б. В. Федоров, А. К. Касенов. – Оpubл. 16.06.2003; Бюл. № 6.
5. Предварительный патент Республики Казахстан № 13581 кл. E2110148. Алмазная буровая коронка / С. К. Кудайкулов, Б. В. Федоров, А. К. Касенов. – Оpubл. 15.10.2003; Бюл. № 10.
6. Предварительный патент Республики Казахстан № 7200 кл. E21В 10/48. Алмазная буровая коронка / Б. В. Федоров, М. Т. Аубакиров. – Оpubл. 15.02.99; Бюл. № 2.
7. Предварительный патент Республики Казахстан № 17379 кл. E2110148. Алмазная буровая коронка / С. К. Кудайкулов, Б. В. Федоров, А. К. Касенов. – Оpubл. 15.05.2006; Бюл. № 5.
8. Инновационный патент Республики Казахстан № 74012 кл. E2110148. Алмазная буровая коронка / С. К. Кудайкулов, Б. В. Федоров, И. М. Бердыбаев. – Оpubл. 16.06.2012; Бюл. № 6.
9. Ракишев Б. Р., Онищин В. П., Ратов Б. Т. О возможностях повышения продуктивности нефтяных скважин // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2010. – Вып. 13. – С. 33–38.

Поступила 31.05.13