

О ВЛИЯНИИ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ АЛМАЗНОЙ ОДНОСЛОЙНОЙ КОРОНКИ НА ПОКАЗАТЕЛИ РАЗРУШЕНИЯ ПОРОДЫ НА ЗАБОЕ

¹А.А. Каракозов, ¹М.С. Попова, ²Р.К. Богданов, ²А.П. Загора

¹ Донецкий национальный технический университет, Украина 83001, Донецьк, Артема 58,
тел.: (062) 3010709, e-mail: info@dgту.donetsk.ua

² Институт сверхтвёрдых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины,
04074, Киев, ул. Автозаводская, 2; тел.: (044) 4688640, факс: (044) 4688625,
e-mail: alcon@ism.kiev.ua

Наведено залежності для розрахунку максимального заглиблення алмазів сектора одношарової коронки протягом циклу руйнування з метою визначення кількості цих циклів і заглиблення коронки за один оберт. Представлено схему розміщення алмазів в секторі коронки. Наведено розрахункові характеристики руйнування породи на вибої. Представлено графіки зміни величини заглиблення алмазів по траєкторії, яку проходять алмазні різці вздовж лінії різання за цикл руйнування. Надані рекомендації щодо вибору схеми розкладання алмазів для одношарових коронок.

Ключові слова: алмаз, одношарова коронка, поглиблення, цикл руйнування, схема розкладки

Приведены зависимости для расчета максимальной углубки алмазов сектора однослойной коронки на протяжении цикла разрушения, для определения количества этих циклов и углубки коронки за один оборот. Представлена схема размещения алмазов в секторе коронки. Приведены расчетные характеристики разрушения породы на забое. Представлены графики изменения величины углубки алмазов по траектории, проходимой алмазными резцами по линии резания за цикл разрушения. Предоставлены рекомендации по выбору схемы раскладки алмазов для однослойных коронок.

Ключевые слова: алмаз, однослойная коронка, углубка, цикл разрушения, схема раскладки

The article describes the method of calculation deepening diamond crowns for single-layer circulation, depending on the design parameters of single-layered crown. The estimation of the maximum deepening diamond sector during the cycle of destruction, determined the number of cycles per revolution and deepening. Illustrates the layout of diamonds in the crown of the sector. The calculated characteristics of the destruction of rocks on the bottom. Graphs of changes in the magnitude deepening diamonds along the path traversed by diamond cutters to cut through a cycle of destruction. Advice on selecting circuit layouts diamonds.

Keywords: diamond, single-layered crown, deepening, cycle of destruction, circuit layout.

Использование в однослойных алмазных коронках крупных синтетических алмазов нового поколения позволит повысить эффективность бурения скважин в породах VI–IX категорий. В то же время проектирование новых конструкций коронок должно базироваться на уточнённых расчётных моделях взаимодействия алмазов с забоем, что необходимо как для оценки их прочностных характеристик, так и для определения механической скорости бурения.

Для оценки прочностных характеристик алмазов необходимо знать степень и глубину их углубления в породу и характер её изменения в процессе работы. Этот же параметр, наряду с количеством циклов разрушения породы (съёма слоя породы с поверхности забоя) за один оборот коронки вокруг своей оси фактически определяет величину механической скорости бурения.

В настоящее время расчёт глубины углубления алмаза в породу h_a обычно производится из условия симметричного распределения осевой нагрузки на все алмазы коронки [1–4]:

$$h_a = \frac{P_a}{\pi R P_{\text{ум}}}, \quad (1)$$

где: P_a – усилие, действующее на алмаз; R – радиус алмаза; $P_{\text{ум}}$ – твердость породы по штампу.

Однако при этом не учитываются особенности работы алмазных резцов при движении коронки на забое как единой системы, что оказывает влияние на их взаимодействие с забоем и нарушает симметричное распределение углубления алмазов в породу в процессе бурения.

В тоже время В.Ф. Казика [5] показал, что в импрегнированных коронках алмазы первого ряда, установленного в начале сектора, будут внедряться в породу на большую величину, чем все остальные алмазы последующих рядов сектора. При этом величина углубления алмазов определялась по заданной механической скорости бурения (что в явном виде не позволяет определить зависимость углубления от осевой нагрузки). Отношение глубин внедрения алмазов первого и последующего рядов в породу (λ) определялось отношением длины промывочного канала (l_n) к расстоянию между алмазами в линии резания (l_a), а количество циклов разрушения ξ – по формуле

$$\xi = \frac{\pi d_1}{l_a + l_n}, \quad (2)$$

где d_l – диаметр окружности внутренней линии резания.

Предварительный анализ данных В.Ф. Казики [5] показал, что предложенные им зависимости не могут быть использованы при рассмотрении работы однослойных коронок из-за их конструктивных отличий от импрегнированных коронок и требуют уточнения.

В связи с этим была проведена работа по определению зависимостей величины углубления алмазных резцов в забой в течение цикла разрушения и количества этих циклов от схемы размещения алмазов в секторе, позволяющих рассчитывать углубление коронки за оборот.

В процессе исследований рассматривались коронки с радиальной схемой расположения алмазов по торцу матрицы, определяемой по методике Н.В. Цыпина [6]. При этом принималось допущение, что области, описываемые зонами внедрения алмазов разных линий резания, не перекрывают друг друга, в крайнем случае, только лишь соприкасаются. Это достаточно типичная ситуация при работе алмазной коронки, что подтверждается экспериментальными данными [1]. При рассмотрении работы коронки использовалось понятие рабочего ряда – минимальной совокупности радиальных рядов, считая от переднего торца сектора, алмазы в которых перекрывают все линии резания.

Для коронки с несколькими рабочими рядами, в которых алмазы в первом и последнем радиальном ряду сектора находятся на разных линиях резания, максимальное углубление в течение цикла наблюдается у алмазов первого рабочего ряда [7], и она будет равна

$$h_{\max} = h_a \left(2 - \frac{n_1}{n_a} \right), \quad (3)$$

где: n_1 – количество алмазов в первом рабочем ряду, n_a – количество алмазов в секторе.

Из формулы (3) следует, что максимальное углубление алмазов в течение цикла не может быть больше двойного первоначального углубления h_a , а при $n_1 = n_a$, т.е. когда алмазы в секторе представлены одним рабочим рядом, алмазы на протяжении цикла разрушения будут работать равномерно и без перегрузок:

$$h_{\max} = h_a. \quad (4)$$

Это позволяет рассматривать конструкцию коронки с одним рабочим рядом алмазов в секторе как наиболее выгодную с точки зрения нагружения алмазов. Следует отметить, что похожий вывод об эффективности импрегнированных коронок с одним радиальным рядом алмазов был сделан В.Ф. Казикой [5] при определении коэффициента λ в случае равенства значений l_n и l_a .

Для коронки с несколькими рабочими рядами, в которых алмазы в первом и последнем радиальном ряду сектора находятся на одной линии резания, максимальное углубление в течение цикла наблюдается у алмазов второго радиального ряда [8], и она будет равна

$$h_{\max 2} = h_a \left(2 + \frac{n_{11} - n_{12}}{n_a} - \frac{n_1 n_{11}}{n_a^2} \right), \quad (5)$$

где: n_{11} – количество алмазов в первом радиальном ряду; n_{12} – количество алмазов во втором радиальном ряду; $n_1 = n_{11} + n_{12}$.

Если в первом и втором радиальном ряду имеется равное количество алмазов, то максимальное углубление в течение цикла определяется как

$$h_{\max 2} = h_a \left(2 - \frac{n_1^2}{2n_a^2} \right). \quad (6)$$

В этом случае максимальное углубление алмазов в течение цикла не может быть больше двойного первоначального углубления h_a , но и не меньше, чем $1,78h_a$ (в случае 3-х радиальных рядов):

$$\min(h_{\max}/h_a) = 1,78;$$

$$\max(h_{\max}/h_a) = 2.$$

Если количество алмазов в первом и втором радиальном ряду неравно ($n_{11} - n_{12} = 1$), то максимальное углубление в течение цикла определяется как

$$h_{\max 2} = h_a \left(2 + \frac{1}{n_a} - \frac{n_1^2 + n_1}{2n_a^2} \right). \quad (7)$$

В этом случае

$$\min(h_{\max}/h_a) = 1,89;$$

$$\max(h_{\max}/h_a) = 2,04.$$

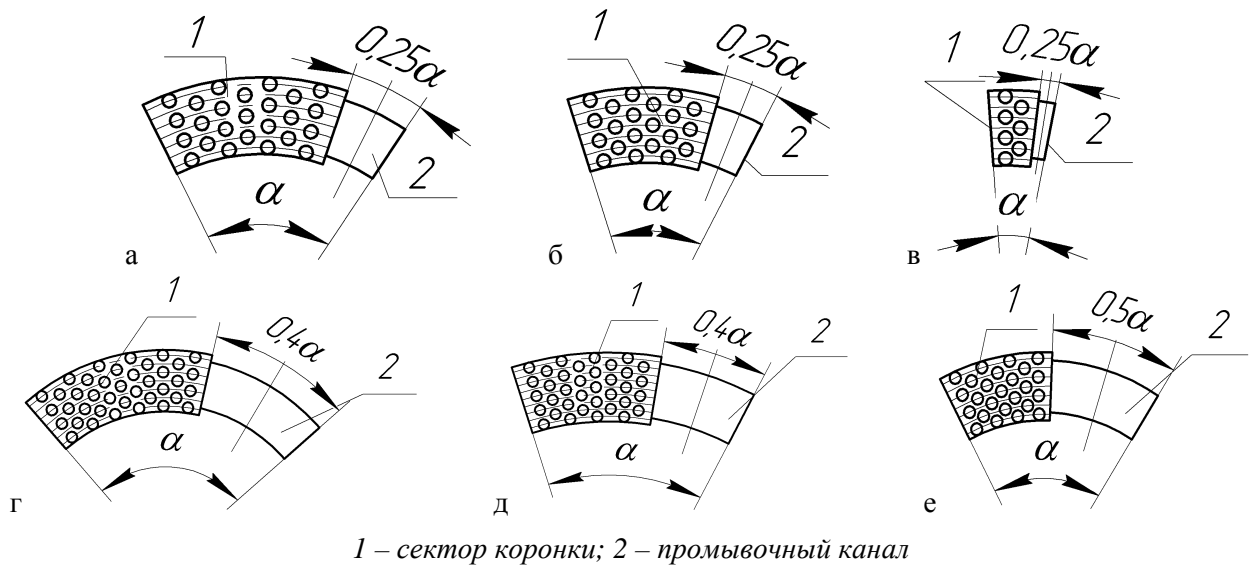
Из формул (3)–(7) видно, что максимальное углубление алмазов в течение цикла разрушения не зависит от геометрических параметров коронки (длины промывочного канала и расстояния между алмазами в линии резания), а определяется только количеством алмазов в секторе и рабочем ряду, что кардинально отличается от зависимостей, полученных для импрегнированных коронок [5].

Зная величину внедрения алмазных резцов в горную породу за один цикл разрушения и количество таких циклов, можно определить значение углубления за один оборот, а, следовательно, и механическую скорость бурения.

Для этого были рассмотрены конструкции однослойных алмазных коронок диаметром 59, 76 и 93 мм, армированных алмазами диаметром 1,5 мм (крупность 32 шт/карат). Схемы раскладки алмазов в секторах коронок приведены на рис. 1. При этом рассматривались коронки с различным отношением длин сектора (l_c) и промывочного канала (l_n), измеряемых по одной линии резания.

Продолжительность цикла разрушения определяется перемещением алмазов первого рабочего ряда сектора на место двух последних радиальных рядов предыдущего сектора, причём она зависит от схемы раскладки алмазов в секторе.

Графики изменения величины углубления алмазов по траектории, проходимой алмазными



Алмазы в первом и последнем радиальном ряду находятся на:
 а) одних линиях резания ($l_c/l_n=3$); б) разных линиях резания ($l_c/l_n=3$); в) разных линиях резания (сектор содержит один рабочий ряд, $l_c/l_n=3$); г) одной линии резания ($l_c/l_n=1,5$); д) разных линиях резания ($l_c/l_n=1,5$); е) одних линиях резания ($l_c/l_n=1$)

Рисунок 1 – Схема раскладки алмазов в секторе коронки

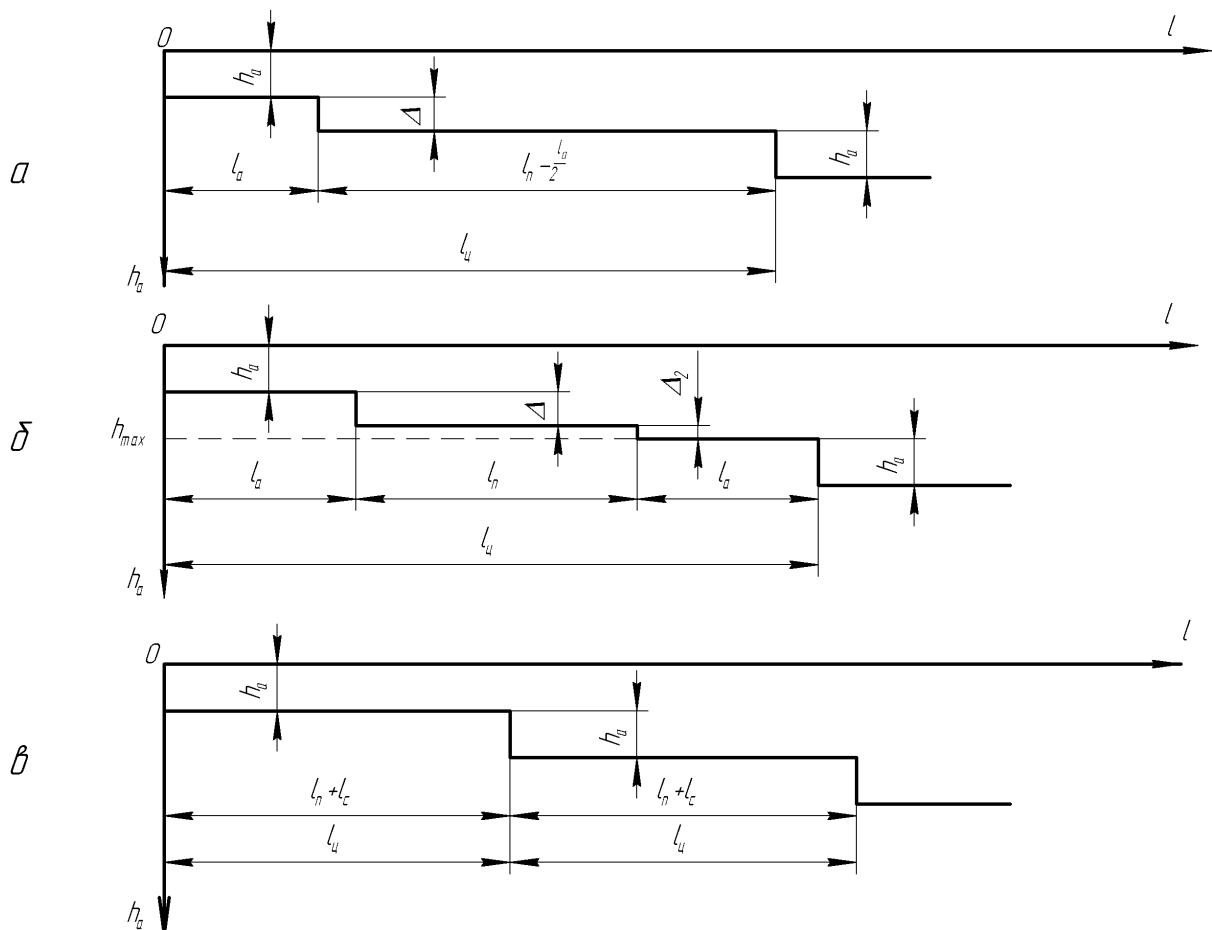


Рисунок 2 – Цикл работы коронки с несколькими рабочими рядами в секторе с расположением алмазов первого и последнего радиальных рядов на разных линиях резания (а); с несколькими рабочими рядами в секторе с расположением алмазов первого и последнего радиальных рядов на одних и тех же линиях резания (б); с одним рабочим рядом в секторе (в) (l_c – длина сектора)

Таблица 1 – Расчётные характеристики разрушения породы на забое

Диаметр коронки, мм	Схема раскладки алмазов в секторе (из показанных на рис. 1)	Количество			h_{max}/h_a	Количество циклов разрушения за оборот	Углубление за оборот (кратно h_a)
		секторов	алмазов в секторе	алмазов в коронке			
59	рис. 1а	6	25	150	1,995	12,10	$24,13h_a$
	рис. 1б	8	21	168	1,666	25,54	$42,56h_a$
	рис. 1в	24	7	168	1	24	$24h_a$
	рис. 1г	4	39	156	2,007	7,81	$15,67h_a$
	рис. 1е	6	25	150	1,995	9,72	$19,39h_a$
76	рис. 1а	8	28	224	1,959	16,11	$31,55h_a$
	рис. 1б	14	16	224	1,5	40,50	$60,75h_a$
	рис. 1в	32	8	256	1	32	$32h_a$
	рис. 1г	6	36	216	1,975	11,03	$24,72h_a$
	рис. 1е	8	21	168	1,927	12,87	$24,80h_a$
93	рис. 1а	10	32	320	1,987	20,09	$39,92h_a$
	рис. 1б	12	27	324	1,666	37,64	$72,95h_a$
	рис. 1в	38	9	342	1	38	$38h_a$
	рис. 1д	8	36	288	1,75	18,14	$31,74h_a$
	рис. 1е	10	32	320	1,987	18,85	$37,45h_a$

резцами по линии резания за цикл разрушения, для коронки с различными схемами раскладки приведены на рис. 2.

Перемещение алмазного резца за цикл разрушения (l_u) для коронки с размещением алмазов первого и последнего радиального ряда в секторе на разных линиях резания определяется по формуле:

$$l_u = l_n + l_a / 2. \quad (8)$$

Тогда количество циклов разрушения за оборот для данной схемы раскладки можно определить по формуле:

$$\xi = \frac{\pi d_1}{l_n + l_a / 2}. \quad (9)$$

В случае, когда алмазы первого и последнего радиальных рядов находятся на одной линии резания, каждый из алмазов за цикл разрушения проходит путь

$$l_u = l_n + 2l_a. \quad (10)$$

Следовательно, количество циклов за один оборот коронки в данном случае можно определить по формуле:

$$\xi = \frac{\pi d_1}{l_n + 2l_a}. \quad (11)$$

Для коронки с сектором, содержащим один рабочий ряд, эти соотношения будут иметь вид:

$$l_u = l_n + l_c, \quad (12)$$

$$\xi = \frac{\pi d_1}{l_n + l_c}, \quad (13)$$

где l_c – длина сектора алмазной коронки.

Формулы (9), (11) и (13) не совпадают с аналогичной формулой (2), предложенной ранее для импрегнированных коронки [5].

С учётом формул (3)–(13) были проведены расчеты максимального углубления в цикле разрушения, количества этих циклов и углубления за оборот для приведенных выше конструкций однослойных алмазных коронки. Результаты расчётов приведены в табл. 1.

Анализ данных таблицы показывает, что наибольшее количество циклов разрушения горной породы за оборот соответствует коронке с несколькими рабочими рядами в секторе с расположением алмазов первого и последнего радиальных рядов на разных линиях резания (т.е. с целым количеством рабочих рядов) при соотношении $l_c/l_n=3$. При этом коронка с одним рабочим рядом в секторе обеспечивает несколько меньшее количество циклов разрушения. Если же учесть максимальное углубление алмазов первого рабочего ряда в цикле разрушения, то при одинаковой осевой нагрузке, приходящейся на единичный алмаз, коронка с одним рабочим рядом в секторе уже значительно проигрывает с точки зрения углубления за оборот. Однако она, по-видимому, имеет дополнительный резерв по возможности увеличения осевой нагрузки, поскольку все её алмазы на контакте с породой будут испытывать такое же сопротивление, как и алмазы первого рабочего ряда коронки с целым количеством рабочих рядов, при повышенных (в 1,5-2 раза) осевых нагрузках. В этом случае, углубление за оборот коронки с одним рабочим рядом в секторе будет сравнима с этим показателем для коронки с целым количеством рабочих рядов в секторе, но при этом её алмазы будут нагружаться и изнашиваться более равномерно.

Коронки с несколькими рабочими рядами в секторе с расположением алмазов первого и последнего радиальных рядов на одних линиях резания обеспечивают наибольшее углубление алмазов из первого рабочего ряда во время цикла разрушения по сравнению с остальными коронками. Однако по количеству циклов разрушения эти коронки значительно (в два раза и более) уступают коронкам с целым количеством рабочих рядов в секторе, в т.ч. и с одним рабочим рядом. Поэтому такие коронки, в лучшем случае, по величине углубления за оборот могут быть сравнимы с коронками с одним рабочим рядом в секторе, причём резерва по увеличению осевой нагрузки, в отличие от последних, у них нет.

Для коронок с одинаковой раскладкой алмазов в секторе, конструкции которых отличаются длиной промывочного канала, углубление за оборот снижается с увеличением отношения длины канала к длине сектора. При этом коронки с целым числом рабочих рядов могут значительно ухудшать свои показатели по углублению за оборот. Таким образом, увеличение относительной длины промывочного канала приводит к улучшению очистки забоя от шлама, однако снижает эффективность разрушения породы на забое, что свидетельствует о необходимости поиска его оптимальных размеров.

Выводы

Полученные результаты позволяют оценить максимальное углубление алмазов сектора в течение цикла разрушения, количество этих циклов и углубление за оборот в зависимости от конструктивных параметров однослойной коронки. Они отличаются от имеющихся соотношений для импрегнированных коронок.

Установлено, что при прочих равных условиях наибольшее углубление за оборот соответствует коронкам с несколькими рабочими рядами в секторе с расположением алмазов первого и последнего радиальных рядов на различных линиях резания (т.е. с целым количеством рабочих рядов). Наибольшее количество циклов разрушения за один оборот соответствует этим же коронкам и коронкам с одним рабочим рядом в секторе, при этом последние имеют резерв по увеличению осевой нагрузки и более равномерное нагружение алмазов при работе на забое.

Поскольку полученные соотношения позволяют учесть особенности конструкции однослойных алмазных коронок при оценке механической скорости бурения, то они должны учитываться в методике определения конструктивных параметров и при разработке технологических рекомендаций по применению этого вида породоразрушающего инструмента.

Литература

- 1 Корнилов Н.И. Буровой инструмент для геологоразведочных скважин: справочник / Н.И. Корнилов, Н.Н. Бухарев, А.Т. Киселев и др.; под ред. Н.И. Корнилова. – М.: Недра, 1990. – 395 с.
- 2 Чихоткин В.Ф. Исследование техники и технологии бурения геолого-разведочных скважин и разработка нового поколения алмазного породоразрушающего инструмента / В.Ф. Чихоткин. – М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 1997. – 241 с.
- 3 Соловьев Н.В. Ресурсосберегающая технология алмазного бурения в сложных геологических условиях / В.Ф. Чихоткин, Р.К. Богданов, А.П. Загора. – М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 1997. – 332 с.
- 4 Зыбинский П.В. Сверхтвердые материалы в геологоразведочном бурении: Монография / Р.К. Богданов, А.П. Загора, А.М. Исонкин. – Донецк: Норд-Пресс, 2007. – 244 с.
- 5 Казака В.Ф. Один из аспектов расчета буровых коронок при проектировании / В.Ф. Казака // Применение синтетических алмазов в бурении: сб. науч. тр. – Л.: ВИТР, 1991. – С.38-47.
- 6 Цыпин Н.В. Износостойкость композиционных алмазосодержащих материалов для бурового инструмента / Н.В. Цыпин. – К.: Наук. думка, 1983. – 191 с.
- 7 Каракозов А.А. О процессе взаимодействия алмазов с забоем скважины при работе однослойных коронок / А.А. Каракозов, М.С. Попова, Р.К. Богданов, А.П. Загора // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. тр. – 2011. – Вып. 14. – С. 78-85.
- 8 Каракозов А.А. О влиянии схем раскладки алмазов однослойных коронок на их нагружение при взаимодействии с забоем скважины / А.А. Каракозов, М.С. Попова, Р.К. Богданов, А.П. Загора // Материалы международной конференции «Форум горняков-2011», (г. Днепропетровск, 2004). – Днепропетровск: ГВУЗ «НГУ», 2011. – С. 35-38.

Стаття надійшла до редакційної колегії

09.06.11

Рекомендована до друку професором

Черновим Б.О.