

10. Сологуб С. Я. Исследования вращательного бурения крепких горных пород породоразрушающим инструментом новой формы: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06 / ДГИ. – Днепропетровск, 1966. – 18 с.
11. Кожевников А. А. Исследования процессов разрушения горных пород при колонковом бурении твердосплавными коронками: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 04.00.19 / ДГИ. – Днепропетровск, 1975. – 32 с.
12. Williams C. E., Bruse C. U. Carrying capacity of drilling muds // Petroleum Trans. Amer. Inst. min (metall). – 1951. – V. 192. – N 111.
13. Давиденко А. Н., Игнатов А. А. Теоретические предпосылки взаимодействия газожидкостных смесей с продуктами разрушения при очистке скважин // Наук. вісн. НГУ. – 2009. – № 10. – С. 79 – 80.
14. Богданов О. С., Филановский М. Ш. К вопросу о прикреплении минеральных частичек к пузырькам воздуха // ЖФХ. – 1940. – Т. 14. – № 2. – С. 244 – 247.

Поступила 16.06.10

УДК 621.921.34-2

**Ю. И. Никитин**, канд. техн. наук, **Г. П. Богатырева**, д-р техн. наук,  
**В. Г. Гаргин**, **Л. Ф. Стасюк**, кандидаты технических наук, **В. Г. Полторацкий**,  
**С. В. Смекаленков**, **С. Д. Заболотный**

*Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев*

#### **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО РАЗРАБОТКЕ И ПРИМЕНЕНИЮ АЛМАЗНО-ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ПЛАСТИН ИЗ АЛМАЗОВ, ОБРАБОТАННЫХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ**

*Researches of polycrystal diamonds (PCD) from the diamonds processed by physico-chemical methods are carried out. The method of cleaning of diamonds in peroxysulphate of ammonium and calcium hypochloride is offered. The method of covering initial diamond micropowders by pyrolytic carbon is studied. The way for compacting diamond crystals for diamond layer PCD is developed. It is shown, that chemical processing methods of diamonds promote decrease of parametres of sintering PCD, and also raise their wear resistance. The drill bits and diamond tool equipped PCD, allows to expand essentially a range of application drilling technics at the factories of the coal industry.*

Алмазно-твердосплавные пластины (АТП) получают спеканием алмазных зерен на вольфрам-кобальтовой подложке в аппарате высокого давления (АВД) при температуре 1800–2000 °С и давлении 7,7 ГПа. Исходными составляющими являются алмазные микропорошки и мелкозернистые шлифпорошки. Особенность спекания алмазных порошков в АТП состоит в том, что при высоком давлении и температуре осуществляется массоперенос компонентов подложки в алмазоносный слой. Таким образом, термодинамические параметры спекания могут быть снижены путем предварительной подготовки исходного алмазного порошка [1]. Теоретические предпосылки повышения качества АТП, посредством предварительной очистки алмазных порошков и сращивания зерен алмазоносного слоя заключаются в следующем. Промышленные алмазные микропорошки марки АСМ, используемые при изготовлении АТП, обычно содержат зерна неправильной формы, далекой от сферической с многогранными острыми выступами. Энергетическая неоднородность поверхности обуславливается геометрической, в том числе кристаллографической неоднородностью, связанной с выходом различных кристаллографических граней и химической неоднородностью, завися-

щей от наличия на поверхности различных химических элементов и соединений. Это существенно усложняет изготовление качественных АТП [2].

Согласно закону Амонтона коэффициент трения между двумя трущимися поверхностями [3]

$$\mu = \frac{F}{W}, \quad (1)$$

где  $F$  – сила трения,  $W$  – нагрузка или сила, направленная по нормали к трущейся поверхности.

Коэффициент трения для алмаза низкий – 0,05–0,1, металлов и неорганических соединений – 0,6–1,5, графита (пироуглерода) – ~0,1. Таким образом, вследствие загрязнения поверхности алмаза металлами и неорганическими соединениями проскальзывание частиц алмаза ухудшается, что приводит к снижению качества алмазонасного слоя АТП. Для снижения коэффициента трения следует очищать поверхность алмазных частиц от металлов и примесей или покрывать частицы пироуглеродной пленкой.

При подготовке исходных порошков были разработаны методы химической очистки микропорошков в персульфате аммония  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$  и гипохлориде кальция  $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ . После очистки микропорошки покрывали пиролитическим углеродом  $[\text{C}_{\text{sp}^3, \text{sp}^2, \text{sp}}]_n$ , борным ангидридом  $\text{B}_2\text{O}_3$  и оксидом вольфрама  $\text{WO}_3$ . Очистка исходных порошков, а также нанесение на них специальных покрытий при спекании в АД способствует взаимосмещению частиц и проникновению компонентов подложки между алмазными зернами. Наиболее эффективен метод предварительного сращивания углеродной матрицей очищенных частиц в алмазонасном слое. При более низких параметрах спекания эта матрица переходит в связующее.

Насыпная плотность АСМ 60/40, покрытых  $\text{B}_2\text{O}_3$ , изменялась с 1,64 до 1,95 г/см<sup>3</sup>, АСМ 60/40, покрытых  $\text{WO}_3$  – с 1,64 до 2,02 г/см<sup>3</sup>, текучесть повысилась соответственно на 7 и 10% [4]. Приведенные характеристики свидетельствуют о повышении технологичности обработанных порошков при подготовке к снаряжению контейнеров для спекания.

Углеродная матрица представляет собой конденсаты, образующиеся при многократной работе плазмотермического реактора в режиме поликонденсации в разлагающемся  $\text{CH}_4 \Leftrightarrow$  частичного окисления конденсата.

Наибольшее количество информации о строении полученных конденсатов дает морфологический анализ. Если при температуре синтеза  $T > 950$  °С плазмотермический углерод имеет форму морских звезд и кораллов, то при  $T < 950$  °С образуются волокна и коконы. Под влиянием ориентирующего действия исходного алмазного порошка в нем образуется углеродная матрица, электронную структуру которой невозможно объяснить классическими  $\text{sp}^2$  и  $\text{sp}^3$  атомных гибридизаций:

$$\text{sp}^2 \Leftrightarrow \text{sp}^{2+\sqrt{3}\lambda_z^{-1}} \Leftrightarrow \text{sp}^3 \quad (2)$$

где  $\sqrt{3} < \lambda_z < \infty$ .

По сравнению с  $\lambda_z$  более удобным является параметр  $\Lambda = \frac{N_{2s, \lambda_z^{-1}}}{N_{2p}}$  (где  $N_{2s}$ ,  $N_{2p}$  – нормировочные константы волновых функций атома углерода для состояний 2s и 2p), который в слетеровском приближении позволяет описать все стадии возбуждения  $Pz\pi^*$ -орбиталей от зеркально симметричного  $\pi$ -состояния в графите ( $\Lambda = 0$ ) до базального монорадиального состояния С при  $\Lambda = 1$  [5].

Проанализировав формулу (2), приходим к выводу, что углеродная матрица переходит в связующие при более низких параметрах спекания, вследствие чего предполагается повышение выхода качественных АТП.

Оптимальные параметры проведения процесса сращивания компактов для алмазонасного слоя АТП определяли исходя из прочности, изменения массы образцов в ходе процесса, пористости, выхода годных пластин и их износа.

Время, необходимое для получения образца заданной пористости рассчитывали по формуле

$$t = \frac{R_n}{V} \left( 1 - \sqrt{\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}} \right), \quad (3)$$

где  $R_n$  – исходный радиус пор;  $V$  – скорость образования углеродной связки;  $\varepsilon$  и  $\varepsilon_0$  – пористость соответственно текущая и начальная [4].

Установка для предварительного компактирования алмазов для спекания АТП (рис. 1) состоит из реактора, в который подается контролируемая углеродсодержащая атмосфера. Трубопроводом реактор связан с системой подачи газов и вакуумными насосами. Управление параметрами (давлением, расходом газа, температурой) производится с пульта управления. В реакторе расположена загрузочная камера, снаряженная предварительно сбрикетированными алмазами (АСМ 60/40). Активная зона реактора ограждена с обеих сторон экранами, ограничивающими лучистый теплоток к крышкам. Внутри реактора введены термомпары. Внешняя часть реактора и уплотнение охлаждаются водой. После выключения реактор охлаждается сжатым воздухом, а затем вынимаются подготовленные алмазные компакты.

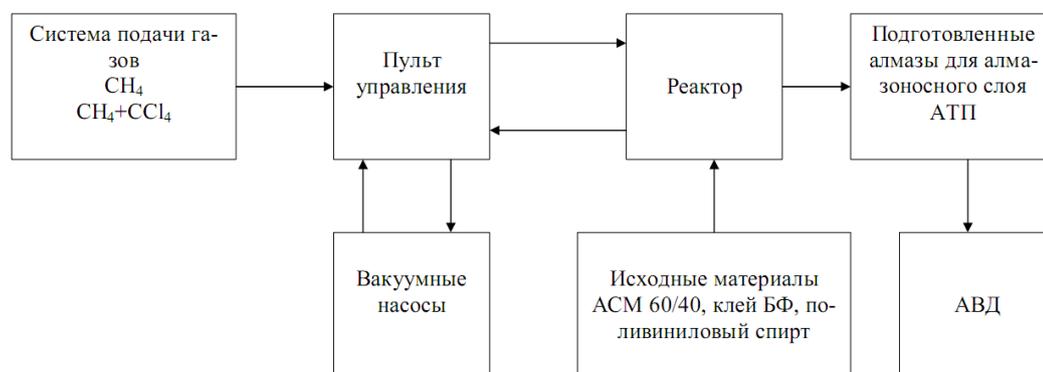


Рис. 1. Схема макета установки для предварительного компактирования алмазов для спекания АТП

### Основные технические данные макета установки

Объем загрузочной камеры, см <sup>3</sup>	4000
Площадь нагреваемой подложки, см <sup>2</sup>	250
Состав контролируемой атмосферы	метан, природный газ, тетрахлорметан, азот
Абсолютное рабочее давление, Па	1,5–3,5·10 <sup>4</sup>
Температура подложки, °С	800–1200
Мощность нагревателя реактора, кВт	24
Расход воды, л/мин	1,0
Расход сжатого воздуха, м <sup>3</sup> /ч	40

Предварительное брикетирование алмазов проводили на прессах для холодного прессования в специальных пресс-формах при давлении 5–7 т/см<sup>2</sup> и перемешивании алмазного порошка с растворами органических веществ, в частности с поливиниловым спиртом в воде или клеем БФ-2 в этиловом спирте.

По соответствующим зависимостям определили оптимальное давление, расход газа и температуру, а затем оптимальные параметры предварительного компактирования алмазов для АТП: давление  $P = 2,3 \cdot 10^4$  Па; расход газа  $Q = 5,1 \cdot 10^{-5}$  м<sup>3</sup>/с; температуру  $T = 930$  °С; газ – метан CH<sub>4</sub>; время  $t = 60$  мин.

Результаты сравнительных испытаний АТП, полученных с применением химической очистки, сращивания углеродом, обкатки микропорошками в вихревом аппарате приведены в таблице.

**Сравнительные результаты испытаний АТП Ø13,5 мм**

Марка и зернистость исходного порошка	Метод подготовки	Количество АТП		Средний износ АТП, мм
		исходных	качественных	
АСМ 60/40	Исходный	10	5	0,42
АСМ 60/40	Химическая очистка (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	10	6	0,29
АСМ 60/40	Химическая очистка Ca(OCl) <sub>2</sub> и K <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>8</sub> + V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10	6	0,35
АСМ 60/40	Срощенный углеродом [C <sub>sp<sup>3</sup>,sp<sup>2</sup>,sp</sub> ] <sub>n</sub>	10	8	0,30
АСМ 60/40	Химическая очистка (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>8</sub> и срощенный углеродом [C <sub>sp<sup>3</sup>,sp<sup>2</sup>,sp</sub> ] <sub>n</sub>	10	9	0,27
АС2 50/40	Исходный	10	5	0,45
АС2 63/50	Исходный	10	4	0,47
АС2 80/63	Исходный	10	3	0,50
АС2 50/40	Обкатан в микропорошке 7/5 + WO <sub>3</sub>	10	6	0,37
АС2 50/40	Срощенный углеродом [C <sub>sp<sup>3</sup>,sp<sup>2</sup>,sp</sub> ] <sub>n</sub>	10	7	0,33

Испытания АТП проводили на стенде на базе поперечно-строгального станка модели 7В36 при резании блока кварцевого песчаника в виде прямоугольника с размерами 500x300x200 мм, добытого из Чистяковского карьера Горезского карьероуправления Донецкой области, с пределом прочности на одноосное сжатие 140 МПа и абразивностью 35 мг. Испытывали АТП с целью определить высоту площадки износа пластин в зависимости от длины пути резания блока горной породы. Для определения износа пластин в соответствии с экспресс-методикой согласно СТД 28.5-05417377-100-2003 [6] все образцы АТП проходили испытания при длине пути резания блока горной породы 50±1 м.

Как следует из данных таблицы, увеличение выхода качественных АТП и уменьшение их износа наблюдается при использовании метода подготовки алмазосносного слоя АТП химической очисткой и сращиванием углеродной матрицей.

Очищенные и обработанные микропорошки, а также компактированные заготовки алмазосносного слоя АТП передавали для изготовления АТП и их последующего испытания в инструменте. Созданный в ИСМ высокоэффективный буровой инструмент, оснащенный АТП, из алмазов, обработанных физико-химическими методами, применяется при проходке и креплении подготовительных горных выработок и дегазации угольных пластов, опасных выбросом угля и газа. Резец типа РШ-140 (рис. 2а) предназначен для вращательного бурения шпуров диаметром 43 мм при проходке горных выработок буровзрывным способом в породах с пределом прочности на одноосное сжатие 84–196 МПа (коэффициент крепости – 6–9 ед. по шкале проф. М. М. Протоdjeяконова) и абразивностью до 45 мг. Для бурения шпуров используются установки типа БУЭ или УБШ при частоте вращения штанги 300–900 мин<sup>-1</sup> и усилие подачи инструмента на забой до 18 кН с интенсивным промыванием шпуров водой

(расход воды не менее 20 л/мин). Стойкость нового инструмента при бурении крепких и абразивных пород в 70–100 раз превышает стойкость твердосплавного инструмента (резцов типов РП-42, БИ-741) при одновременном повышении механической скорости бурения в 1,5–2,0 раза, что позволяет существенно повысить темпы проходки подготовительных горных выработок, снизить затраты на 1 м проходки и повысить безопасность условий труда [7].

Резец типа РШ-180 (рис. 2, б) предназначен для вращательного бурения шпуров диаметром 26–34 мм под анкерное крепление горных выработок в породах с пределом прочности на одноосное сжатие до 168 МПа (коэффициент крепости до 12 ед. по шкале проф. М. М. Протодяконова) и абразивностью до 30 мг. Для бурения шпуров используется гидравлическая телескопическая установка типа ХА 16/500 (Германия) при частоте вращения штанги 100–600 мин<sup>-1</sup> и усилия подачи инструмента на забой до 9 кН с интенсивным промыванием шпуров водой (расход воды не менее 20 л/мин) и давлением 0,5 МПа. Применение резцов обеспечивает повышение скорости бурения шпуров в 2–3 раза; при этом стойкость резцов в 30–40 раз превышает стойкость серийных твердосплавных резцов.

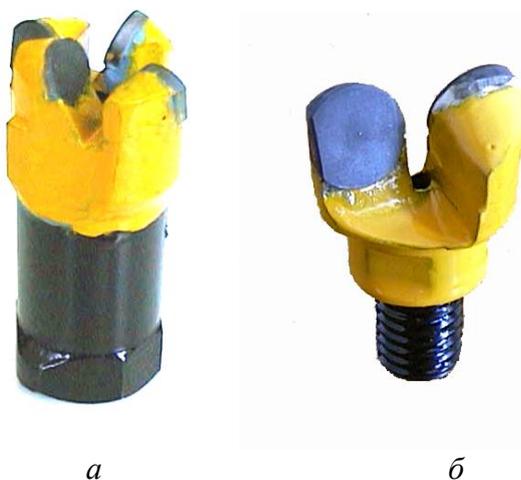


Рис. 2. Общий вид резца бурового: а – типа РШ-140; б – типа РШ-180

Оснащенные АТП долота (рис. 3) предназначены для вращательного бурения дегазационных и технологических скважин диаметром 46, 59, 76, 93 и 132 мм в породах с пределом прочности на одноосное сжатие 112–196 МПа (коэффициент крепости 8–14 ед. по шкале проф. М. М. Протодяконова) и абразивностью до 45 мг. Для бурения скважин используются установки типов СБГ-1м и GBH 1/89/2 фирмы “Дайльманн-Ханиэль” (Германия).

Режим бурения: номинальная частота вращения шпинделя установки – 100–300 мин<sup>-1</sup>, усилие подачи бура – до 120 кН. Расход воды при промывании скважин – до 50 л/мин. Стойкость долот, оснащенных АТП, при бурении скважин в крепких и абразивных породах в 10 и более раз превышает стойкость серийных твердосплавных долот.



Рис. 3. Общий вид долот, оснащенных АТП, для вращательного бурения дегазационных и технологических скважин

## Выводы

1. Разработаны методы химической очистки микропорошков алмаза различными окислителями, позволяющие получать чистые от примесей поверхности.

2. Разработаны способы, позволяющие уменьшить коэффициент трения алмазных частиц при их компактировании за счет очистки и нанесения углеродного покрытия. Исследована структура углеродной связи.
3. Разработаны способ и технологические режимы компактирования алмазов для АТП с помощью углеродной матрицы, а также принципиальная схема и макет установки для компактирования.
4. Исследования показали, что износ АТП, полученных с применением новых способов и технологий, на 20–35 % меньше по сравнению с износом стандартных АТП. Выход качественных пластин увеличивается на 10–30 %.
5. При использовании породоразрушающего инструмента, оснащенного АТП, существенно повышается производительность буровой техники, расширяется область ее применения, снижается трудоемкость и повышается безопасность проведения горных выработок.

### Литература

1. Спосіб виготовлення алмазно-твердосплавних пластин / М. В. Новіков, Ю. І. Нікітін, В. Г. Полторацький та ін. Пат. на винахід, Україна. 20172. 25.12.97.
2. Способ изготовления алмазных вставок для обрабатываемого инструмента / В. Н. Баккуль, Ю. И. Никитин, В. Г. Полторацкий и др. А. с. № 671121 СССР, 07.03.79 г.
3. Адамсон А. Физическая химия поверхностей. – М.: Издательство Мир, 1979. – 568 с.
4. Целенаправленное получение композиционных алмазных материалов с углеродной связкой и дифференцированными свойствами / Н. В. Новиков, Ю. И. Никитин, В. Г. Полторацкий и др. // Сверхтвердые матер. – 1995. – № 3. – С. 13–19
5. Сер. А. Физико-математические и технические науки / Модель ненасыщенного алмазоподобного углерода / А. Е. Лысенко, Ю. И. Никитин, В. Г. Полторацкий и др. // Докл. АН УССР. – 1989. – С. 60–64
6. СТП 28.5–05417377-100-2003. Метод оценки износостойкости алмазно-твердосплавных пластин. – К.: Изд-во ИСМ НАН Украины, 2003. – 10 с.
7. Смекаленков С. В., Красник В. Г. Область применения резцов вращательного бурения, оснащенных алмазно-твердосплавными пластинами // Уголь Украины. – 1996. – № 1. – С. 21–22

Поступила 21.05.10

УДК 622.024

**В. И. Бугаков**, д-р техн. наук; **А. А. Поздняков**, канд. техн. наук

*Институт физики высоких давлений им. Л. Ф. Верещагина РАН, г. Троицк, Россия*

### РАЗРАБОТКА БУРОВЫХ КОРОНОК АРМИРОВАННЫХ АЛМАЗАМИ АРК-4

*Rational designs of prospecting drilling bits KCK were developed and experimental batches of bits were made at high pressures (1,5 GPa and temperature 1050 °C). Bench tests of the developed bits KCK reinforced by diamonds APK-4, have shown high operational characteristics at drilling of rocks VIII-IX categories of drillability. The design procedure of an optimum design of drilling bits KCK depending on parameters of drilling and the size of grain APK-4 for rocks VIII-IX categories of drillability is offered.*

Алмазный инструмент изготавливают из синтетических поликристаллических алмазов типа карбонадо (АСПК) с применением высокого давления [1,2]. Эти алмазы отличаются высокой твердостью, прочностью, абразивной стойкостью. Продуктом дробления алмазов