

УДК 622.24.051

DOI dx.doi.org/10.17073/1997-308X-2016-1-60-66

## Влияние состава, структуры и свойств матриц на стойкость алмазного бурового инструмента

© 2016 г. Н.И. Полушин, А.В. Богатырев, А.И. Лаптев, М.Н. Сорокин

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва

Статья поступила в редакцию 03.11.15 г., доработана 08.12.15 г., подписана в печать 10.12.15 г.

Изучены микроструктура и механические свойства 4 матриц сложного химического состава: VK15–Cu, VK15–Cu–Sn, VK20–Cu, VK20–Cu–Sn, применяемых при изготовлении алмазного бурового инструмента. Процесс получения образцов матриц проводили методом инфильтрации формовок твердосплавной шихты при  $t = 1100$  °С медью и при  $t = 1000$  °С бронзой. Были изготовлены шлифы безалмазных матриц, проведены их металлографический и микроанализы, определены их твердость, микротвердость, плотность и пористость. Твердость матриц устанавливали по шкале HRC, микротвердость – на приборе ПМТ-3 при использовании нагрузки 2 Н. В результате выявлено, что 1) методом инфильтрации формовок твердосплавной шихты марок VK15 и VK20 расплавами на основе меди и бронзы получают твердые и прочные матрицы алмазного инструмента с открытой пористостью не более 3 %, при этом процесс инфильтрации более полно протекает при использовании бронзы; 2) наиболее твердыми являются матрицы, созданные инфильтрацией бронзой формовок твердосплавной шихты марки VK15. Применение матриц на основе твердосплавной шихты марки VK20 при изготовлении бурового алмазного инструмента нецелесообразно из-за резкого снижения его абразивной способности при бурении твердых материалов.

**Ключевые слова:** матрица алмазного инструмента, буровая коронка, микроструктура, плотность, твердость, пористость, пропитка.

**Полушин Н.И.** – канд. техн. наук, зав. науч.-исслед. лабораторией сверхтвердых материалов (НИЛ СТМ) МИСиС (119049, г. Москва, Ленинский пр-т, 4). E-mail: polushin@misic.ru.

**Богатырев А.В.** – аспирант кафедры энергоэффективных энергосберегающих ресурсов промышленных технологий МИСиС. E-mail: azik16@mail.ru.

**Лаптев А.И.** – докт. техн. наук, вед. науч. сотр. НИЛ СТМ МИСиС. E-mail: laptev@misic.ru.

**Сорокин М.Н.** – ст. науч. сотр. НИЛ СТМ МИСиС. E-mail: sorokin@misic.ru.

**Для цитирования:** Полушин Н.И., Богатырев А.В., Лаптев А.И., Сорокин М.Н. Влияние состава, структуры и свойств матриц на стойкость алмазного бурового инструмента // Изв. вузов. Порошк. металлургия и функц. покрытия. 2016. No. 1. С. 60–66. DOI: dx.doi.org/10.17073/1997-308X-2016-1-60-66.

*Polushin N.I., Bogatyrev A.V., Laptev A.I., Sorokin M.N.*

### ***Influence of the matrix composition, structure and properties on the service life of diamond drills***

The study covers microstructure and mechanical properties of 4 matrices with complex chemical composition: VK15–Cu, VK15–Cu–Sn, VK20–Cu, and VK20–Cu–Sn used in the production of diamond drilling tools. The sample matrices were produced by infiltration of hard-metal mouldings with copper at  $t = 1100$  °C and with bronze at  $t = 1000$  °C. Thin sections of diamond-free matrices were prepared, their metallographic and microprobe analyzes were made, their hardness, micro-hardness, density and porosity were found. The hardness of matrices was measured according to the HRC scale, their microhardness was measured using the PMT-3 device under the 2N load. As a result it was revealed that 1) infiltration of the VK15 and VK20 hard-metal mouldings with copper and brass based melts produces hard and strong matrices for diamond tools with maximum 3 % apparent porosity, and the infiltration process is more complete when using bronze; 2) the most hard are the matrices obtained by infiltration of the VK15 hard-metal mouldings with bronze. The use of the VK20 hard-metal based mouldings matrices when manufacturing diamond drilling tools is inadvisable because of the sharp decrease in its abrasive capacity when drilling hard materials.

**Keywords:** diamond tool matrix, drilling bit, microstructure, density, hardness, porosity, infiltration.

**Polushin N.I.** – Cand. Sci. (Eng.), head of Scientific-research laboratory of superhard materials (SRL SHM) MISIS (119991, Russia, Moscow, Leninsky pr., 4). E-mail: polushin@misic.ru.

**Bogatyrev A.V.** – postgraduate student, Department of power effective energy saving resources of industrial technologies, MISIS. E-mail: azik16@mail.ru.

**Laptev A.I.** – Dr. Sci. (Eng.), leading researcher of SRL SHM MISIS. E-mail: laptev@misic.ru.

**Sorokin M.N.** – senior researcher of SRL SHM MISIS. E-mail: sorokin@misic.ru.

**Citation:** Polushin N.I., Bogatyrev A.V., Laptev A.I., Sorokin M.N. Vliyaniye sostava, struktury i svoystv matrits na stoikost' almaznogo burovogo instrumenta. *Izv. vuzov. Poroshk. metallurgiya i funkts. pokrytiya*. 2016. No. 1. С. 60–66. DOI: dx.doi.org/10.17073/1997-308X-2016-1-60-66.

## Введение

В настоящее время применение синтетических алмазов при изготовлении бурового инструмента позволяет значительно увеличить производительность труда, достичь принципиально новых результатов в объемах бурения. Алмазный буровой инструмент и технология его изготовления прошли несколько стадий развития, каждая из которых характеризуется размером и качеством используемых алмазов, свойствами матриц и общим уровнем развития промышленности. Появление новых синтетических алмазных материалов требует совершенствования конфигурации буровых коронок, подбора матриц и разработки технологических мероприятий при их изготовлении. Особенностью синтетических алмазов является их пониженная термостойкость в сочетании с повышенной прочностью. При изготовлении бурового инструмента нужно учитывать это и при снижении температур спекания добиваться увеличения прочности и твердости матрицы. Вопросам совершенствования буровых коронок посвящены работы [1–8], конструкций и режимов бурения — работы [9–13]. Перед изготовлением реального бурового инструмента необходимо проведение испытаний на модельных образцах.

Целью настоящей работы являлось изучение возможностей применения в буровом инструменте новых типов синтетических алмазных порошков при использовании традиционной технологии его изготовления.

## Методика и образцы

Для проведения модельных экспериментов по стандартной технологии методом инфильтрации [14] были изготовлены алмазные коронки ПИА ( $\varnothing 20$  мм) и модельные безалмазные сегменты (размером  $24 \times 8 \times 7$  мм) на основе твердых сплавов ВК15, ВК20. В качестве пропиточного материала применяли медь и бронзу состава  $\text{Cu} + 10\% \text{Sn}$ . Характеристики алмазных буровых коронок представлены в табл. 1.

При использовании матричной шихты марок ВК6 и ВК10 для изготовления сегментов результаты при инфильтрации были нестабильны, поэтому при получении коронок были выбраны матричные шихты марок ВК15 и ВК20. Для инфильтрации применяли чистую медь и бронзу с 10 %-ным содержанием олова. Олово добавляли по двум причи-

нам — с целью снижения температуры инфильтрации и для повышения твердости матрицы. Инфильтрацию проводили при температурах  $1100 \pm 10$  °С или  $1000 \pm 10$  °С при использовании соответственно меди ( $\text{Cu}$ ) или бронзы ( $\text{Cu} + 10\% \text{Sn}$ ).

Диаграмма состояния и концентрационная зависимость механических свойств сплавов  $\text{Cu}—\text{Sn}$  приведены на рис. 1 [15]. После изготовления сегментов их шлифовали и определяли твердость методом Роквелла по шкале HRC, микротвердость на приборе ПМТ-3 при нагрузке 2 Н, плотность, прочность на изгиб, абразивную стойкость. Испытания на прочность осуществляли на разрывной машине «Instron 150LX», абразивную стойкость изучали по методике [4]. Металлографические

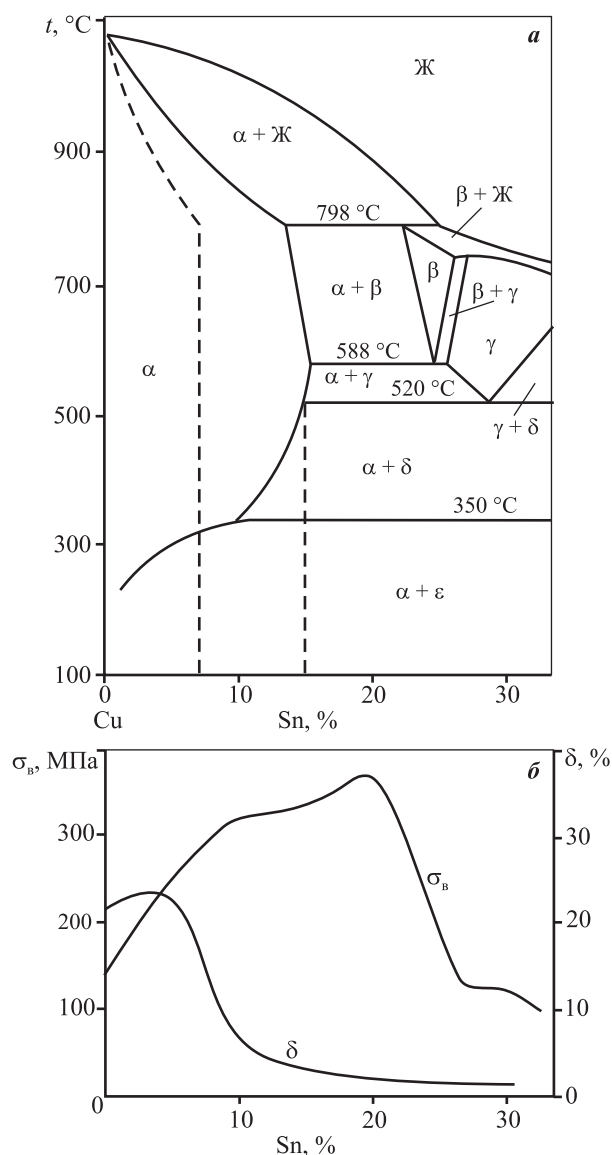


Рис. 1. Диаграмма состояния (а) и концентрационная зависимость прочности (б) сплавов системы  $\text{Cu}—\text{Sn}$  [10]

Таблица 1. Характеристики алмазных буровых коронок ПИА

Тип	Алмазы при 50 %-ной концентрации		Масса шихты, г		Марка шихты	Пропиточный материал
	Марка (зернистость)	Количество, карат	Объемный слой	Приварочный слой		
ПИА-1	SDB 1125 (30/40)	1,23	3,8	2,2	BK15	Cu
ПИА-2	SDB 1125 (30/40)	1,23	3,7	2,1	BK15	Cu–10%Sn
ПИА-3	SDB 1125 (30/40)	1,23	3,7	3,1	BK20	Cu
ПИА-4	SDB 1125 (30/40)	1,23	3,8	3,1	BK20	Cu–10%Sn

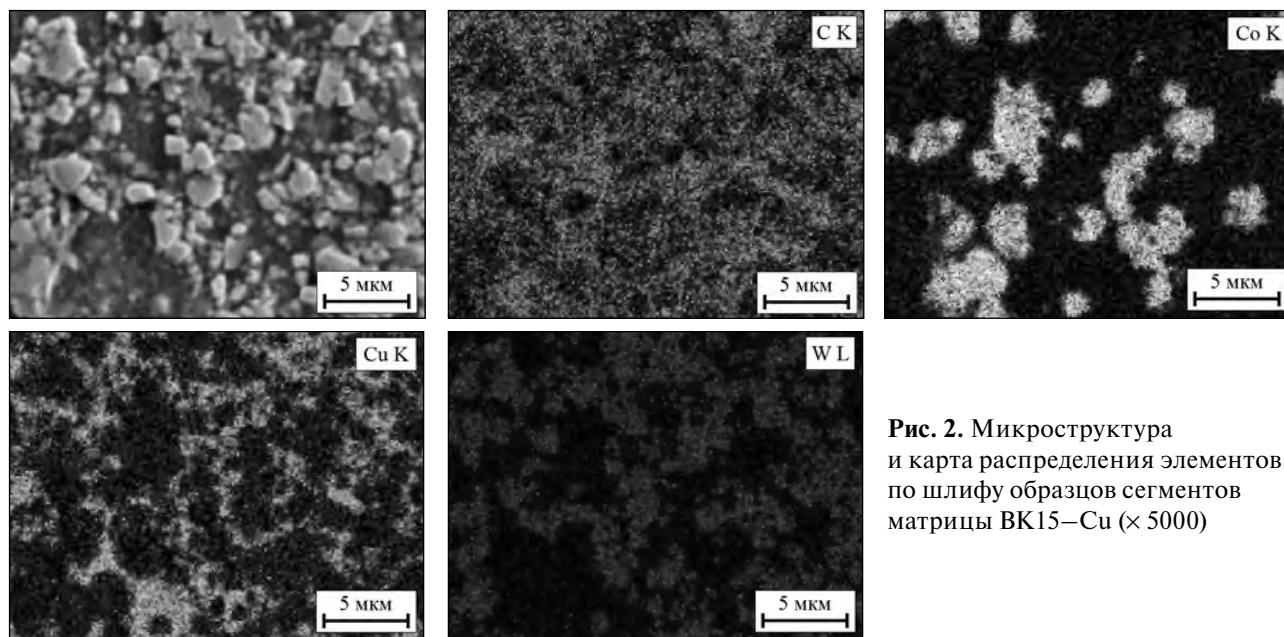


Рис. 2. Микроструктура и карта распределения элементов по шлифу образцов сегментов матрицы BK15–Cu (× 5000)

исследования и оценку химического состава проводили с помощью микрорентгеноспектрального анализа на растровом электронном микроскопе «Hitachi S-3400N».

## Результаты и их обсуждение

На рис. 2–5 приведены микроструктуры шлифов безалмазных матриц BK15 (см. рис. 2, 3) и BK20 (см. рис. 4, 5) с пропиткой соответственно медью и бронзой.

При сравнении рис. 2, 3 и 4, 5 отчетливо видно, что увеличение содержания кобальта с 15 до 20 % приводит к принципиальному изменению распределения элементов по шлифу. В первом случае (см. рис. 2, 3) медь представлена мелкими включениями, во втором (см. рис. 4, 5) — включения меди агрегированы до появления сплошных цепочек по поверхности шлифов.

В табл. 2 представлены результаты измерения твердости и микротвердости матриц безалмазных сегментов, а также данные по испытанию их прочности при изгибе и абразивной стойкости.

Из табл. 2 следует, что твердость и микротвердость образцов сегментов матриц BK15 и BK20 увеличиваются при введении олова в медь, прочность и прогиб при этом уменьшаются. Следовательно, с добавкой Sn матрица становится более твердой и менее прочной. При этом твердость, а следовательно, и абразивная стойкость образцов матриц BK15 выше, чем BK20, а прочность, наоборот, больше у образцов матриц BK20, что объясняется повышенным содержанием кобальта.

Определение плотности образцов сегментов проводили методом геометрического измерения и расчета, а также с помощью гелиевого пикнометра «AccuPyc 1340» (табл. 3). По результатам измерения плотности была рассчитана открытая пористость

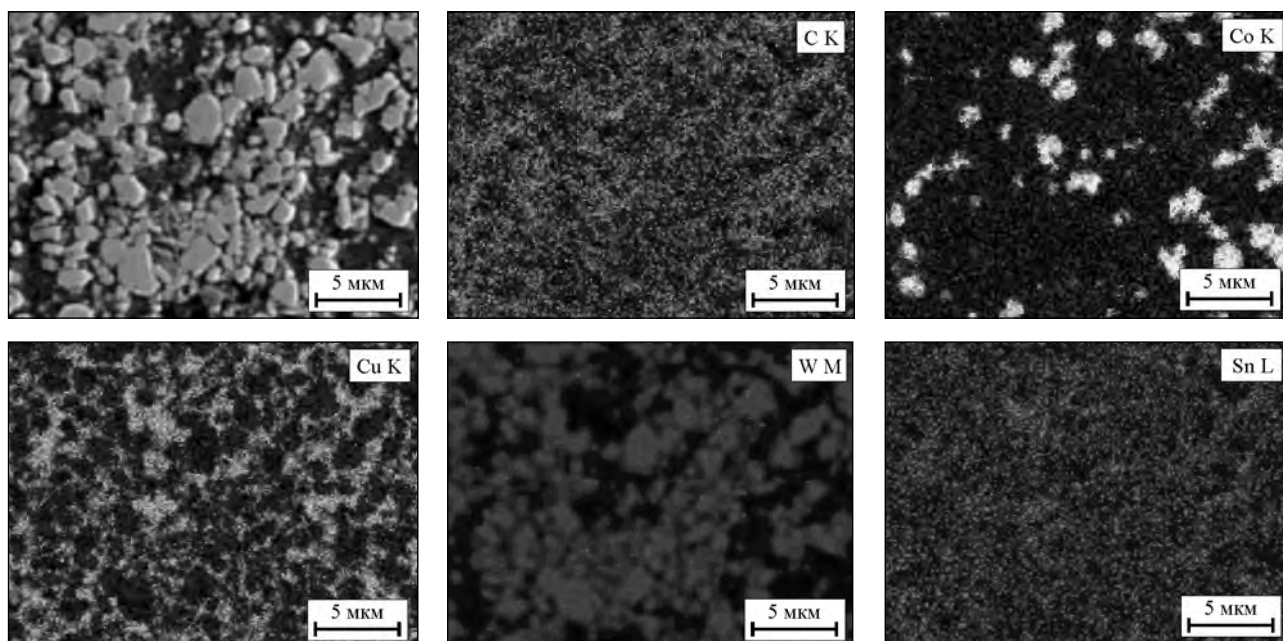


Рис. 3. Микроструктура и карта распределения элементов по шлифу образцов сегментов матрицы BK15–Cu–10%Sn (× 5000)

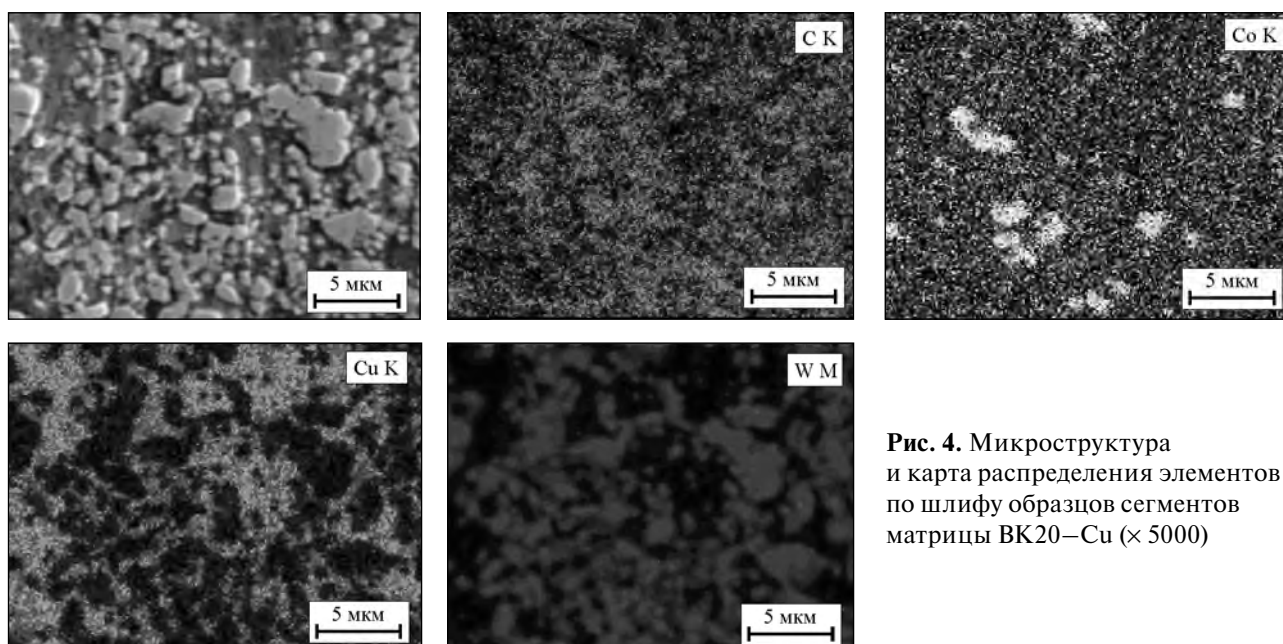


Рис. 4. Микроструктура и карта распределения элементов по шлифу образцов сегментов матрицы BK20–Cu (× 5000)

Таблица 2. Прочностные свойства образцов сегментов

Матрица	Твердость, HRC	Микротвердость, ГПа	Параметры прочности при изгибе		Абразивная стойкость, г
			Прогиб, мм	$\sigma_B$ , МПа	
BK15–Cu	22,2	2,8	0,66	12,92	0,2684
BK15–Cu–10%Sn	35,5	3,2	0,43	10,61	0,2695
BK20–Cu	20,5	2,2	0,65	13,34	0,2966
BK20–Cu–10%Sn	32,3	2,6	0,48	11,51	0,2853

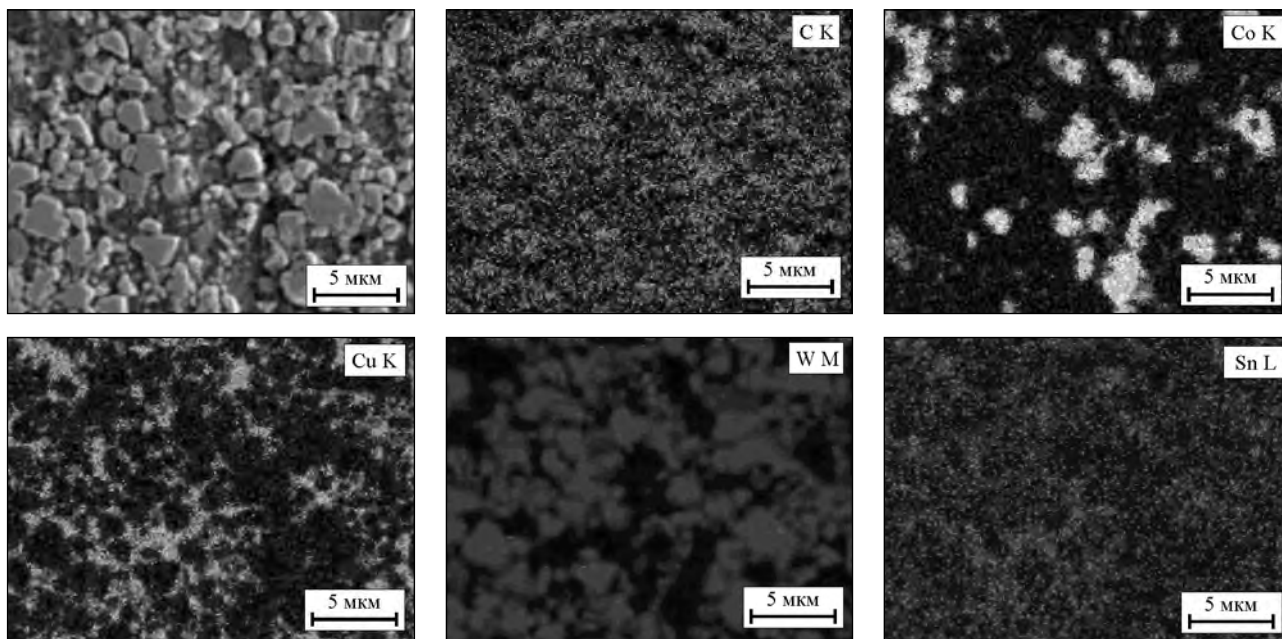


Рис. 5. Микроструктура и карта распределения элементов по шлифу образцов сегментов матрицы BK20–Cu–10%Sn (× 5000)

Таблица 3. Плотность и пористость образцов сегментов

Матрица	Плотность, г/см <sup>3</sup>		Пористость, %
	Геометрический метод	Газовый метод	
BK15–Cu	11,03	11,36	2,9
BK15–Cu–10%Sn	11,01	11,15	1,3
BK20–Cu	11,04	11,74	2,7
BK20–Cu–10%Sn	11,07	11,24	1,5

образцов сегментов, которая для всех матриц составила менее 3 %. Из анализа данных табл. 3 следует, что инфильтрация бронзой (сплавом меди с оловом) происходит более полно, с образованием меньшей пористости для матриц и BK15, и BK20.

Износостойкость изготовленных алмазных коронок оценивали [16] путем сверления ими абразивных материалов при одинаковых условиях с периодическим замером износа и визуальной оценкой степени износа алмазного слоя.

При проведении испытаний алмазных коронок применялись следующие материалы и аппаратура:

- буровой стенд на базе сверлильного станка «Profi ZS4032B»;
- абразивные круги из карбида кремния зеленого марки 64С F 60 K 7V.

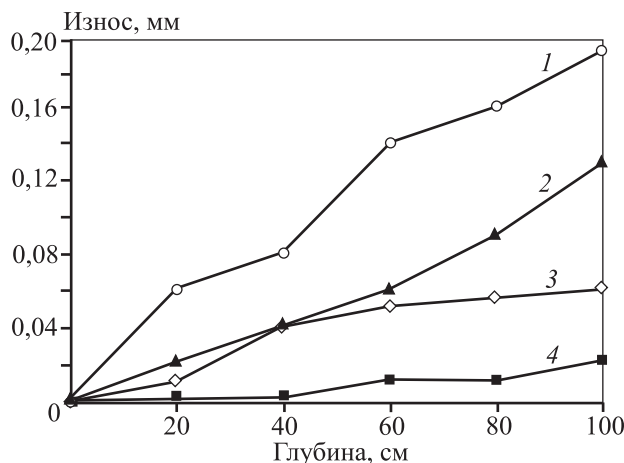


Рис. 6. Зависимость износа алмазных коронок от глубины бурения

1 – BK20–Cu; 2 – BK20–Cu–10%Sn; 3 – BK15–Cu; 4 – BK15–Cu–10%Sn

Коронку крепили на штанге стенда, подводили промывочную жидкость (воду) (1,2–1,5 л/мин) и при 360 об/мин производили бурение с периодическим замером износа. Результаты измерения износостойкости коронок представлены на рис. 6.

Из анализа рис. 6 следует, что износостойкость коронок с матрицей BK20 значительно меньше, чем в случае использования BK15, что не может быть объяснено только снижением твердости и абразивной стойкости этих матриц. При изучении микро-

структуры и распределения элементов по шлифу матриц было отмечено их существенное отличие. На шлифах матриц ВК20 присутствуют большие области кобальтовых и медных включений. По-видимому, при взаимодействии с абразивным шламом, образующимся при бурении абразивных кругов, происходят глубокий износ матрицы в местах кобальтовых (медных) включений и преждевременное выкрашивание алмазных зерен. Следовательно, применение твердосплавных матриц с содержанием кобальта более 15 % нерационально при изготовлении бурового алмазного инструмента для бурения твердых материалов.

## Заключение

В результате проведенных исследований установлено:

— методом инфильтрации расплавами на основе меди и олова прессовок твердосплавной шихты марок ВК15 и ВК20 получают твердые и прочные матрицы алмазного инструмента с открытой пористостью не более 3 %, при этом процесс инфильтрации более полно протекает при использовании бронзы;

— наиболее твердыми являются матрицы на основе ВК15 с пропиткой сплавом меди с оловом. Применение матриц на основе ВК20 при изготовлении бурового алмазного инструмента нецелесообразно из-за резкого снижения его абразивной способности при бурении твердых материалов.

*Работа выполнена в рамках федерального целевого проекта программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» по теме «Разработка технологии изготовления высокоэффективных долот горизонтального и наклонного бурения для нефтегазовой отрасли» соглашения № 14.581.21.0012 (уникальный идентификатор соглашения RFMEFI58115X0012) при финансовой поддержке прикладных научных исследований Министерством образования и науки Российской Федерации.*

## Литература

1. *Цытин Н.В.* Износостойкость композиционных алмазосодержащих материалов для бурового инструмента. Киев: Наук. думка, 1983.
2. *Бугаков В.И., Коняев Ю.С.* Высокоэффективный алмазный инструмент, изготовленный по оригинальной технологии с применением высоких давлений и температур, новых связок и алмазных материалов // Сверхтвердые материалы. 2001. No. 6. С. 23–27.
3. *Бугаков В.И., Елютин А.В., Лантев А.И., Поздняков А.А., Полушин Н.И.* Разработка припоя для пайки алмазосодержащего слоя к стальному корпусу при изготовлении алмазного породоразрушающего инструмента // Материаловедение. 2003. No. 12. С. 48–52.
4. *Бугаков В.И., Лантев А.И., Полушин Н.И., Бочаров М.В., Сорокин М.Н.* Методика оценки износостойкости связок алмазного инструмента // Материаловедение. 2004. No. 2. С. 24–28.
5. *Tan S., Fang X., Yang K., Duan L.* A new composite impregnated diamond bit for extra-hard, compact, and nonabrasive rock formation // Int. J. Refract. Met. Hard Mater. 2014. Vol. 43. P. 186–192.
6. *Уманский В.П., Евдокимов В.А., Бугаев А.А., Бродниковский Н.П., Бащенко О.А., Найдич Ю.В., Тартасюк А.Д.* Физико-механические характеристики алмазотвердосплавных образцов, моделирующих импрегнированный алмазный слой буровой коронки // Разведка и охрана недр. 2014. No. 3. С. 44–48.
7. *Rosinski M., Wachowicz J., Plocinski T., Truszkowski T., Michalski A.* Properties of WCCO/diamond composites produced by PPS method intended for drill bits for machining of building stones // Ceram. Trans. 2014. Vol. 243. P. 181–191.
8. *Бондаренко Н.А., Жуковский А.Н., Мечник В.А.* Основы создания алмазосодержащих композиционных материалов для породоразрушающих инструментов. Киев: ИСМ НАН Украины, 2008.
9. *Будюков Ю.Е., Власюк В.И., Спиринов В.И.* Алмазный инструмент для бурения направленных и многоствольных скважин. Тула: Гриф и К, 2007.
10. *Yarali O., Soyer E.* Assessment of relationships between drilling rate index and mechanical properties of rocks // Tunnel. Underground Space Technol. 2013. Vol. 33. P. 46–53.
11. *Atici U., Ersoy A.* Correlation of specific energy of cutting saws and drilling bits with rock brittleness and destruction energy // J. Mater. Process. Technol. 2009. Vol. 209. No. 5. P. 2602–2612.
12. *Rao K.U.M., Bhatnagar A., Misra B.* Laboratory investigation on rotary diamond drilling // Geotech. Geol. Eng. 2002. Vol. 20. No. 1. P. 1–16.
13. *Богданов Р.К., Исонкин А.М., Загора А.П.* Технологические методы повышения эффективности использования синтетических алмазов в импрегнированных коронках // Разведка и охрана недр. 2012. No. 3. С. 58–61.
14. Основы проектирования и технология изготовления абразивного и алмазного инструмента / Под ред. В.Н. Бакуля. М.: Машиностроение, 1975.
15. Металловедение: Учеб. В 2 т. Т. II / Под общ. ред. В.С. Золоторевского. М.: Изд. дом МИСиС, 2009.

16. *Полушин Н.И., Лантеев А.И., Баратунов Э.М.* Влияние состава матриц алмазных буровых коронок на их абразивную стойкость. Ч. 2. Изучение износостойкости алмазных буровых коронок // Цвет. металлы. 2013. No. 2. С. 72—75.

## References

1. *Tsypin N.V.* Iznosostoikost' kompozitsionnykh almazosoderzhashchikh materialov dlya burovogo instrumenta [Wear resistance of composite diamond-containing materials for drilling tools]. Kiev: Nauk. dumka, 1983.
2. *Bugakov V.I., Konyaev Yu.S.* Vysokoeffektivnyi almaznyi instrument, izgotovlenniy po original'noi tekhnologii s primeneniem vysokikh davlenii i temperatur, novykh svyazok i almaznykh materialov [High-efficient diamond tool made by the original technology with usage of high pressures and temperatures, new ligaments and diamond materials]. *Sverkhтвердые материалы*. 2001. No. 6. P. 23—27.
3. *Bugakov V.I., Elyutin A.V., Laptev A.I., Pozdnyakov A.A., Polushin N.I.* Razrabotka pripoya dlya paiki almazosoderzhashchego sloya k stal'nomu korpusu pri izgotovlenii almaznogo porodorazrushayushchego instrumenta [Development of solder for the soldering of diamond-bearing layer to the steel casing in the manufacture of diamond drilling tools]. *Materialovedenie*. 2003. No. 12. P. 48—52.
4. *Bugakov V.I., Laptev A.I., Polushin N.I., Bocharov M.V., Sorokin M.N.* Metodika otsenki iznosostoikosti svyazok almaznogo instrumenta [Methods of assessing the wear resistance of the diamond bundles instrumentala tool]. *Materialovedenie*. 2004. No. 2. P. 24—28.
5. *Tan S., Fang X., Yang K., Duan L.* A new composite impregnated diamond bit for extra-hard, compact, and non-abrasive rock formation. *Int. J. Refract. Met. Hard Mater.* 2014. Vol. 43. P. 186—192.
6. *Umanskii V.P., Evdokimov V.A., Bugaev A.A., Brodnikovskii N.P., Bashchenko O.A., Naidich Yu.V., Tartasyuk A.D.* Fiziko-mekhanicheskie kharakteristiki almazotverdospilnykh obraztsov, modeliruyushchikh impregnirovannyye almaznyi sloi burovoy koronki [Physico-mechanical properties of diamond-carbide samples simulating impregnated diamond layer of drill bits]. *Razvedka i okhrana neдр*. 2014. No. 3. P. 44—48.
7. *Rosinski M., Wachowicz J., Plocinski T., Truszkowski T., Michalski A.* Properties of WCCO/diamond composites produced by PPS metod intended for drill bits for machining of building stones. *Ceram. Trans.* 2014. Vol. 243. P. 181—191.
8. *Bondarenko N.A., Zhukovskii A.N., Mechnik V.A.* Osnovy sozdaniya almazosoderzhashchikh kompozitsionnykh materialov dlya porodorazrushayushchikh instrumentov [Bases of creation of diamond-containing composite materials for drilling tools]. Kiev: ISM NAN Ukrainy, 2008.
9. *Budyukov Yu.E., Vlasyuk V.I., Spirin V.I.* Almaznyi instrument dlya bureniya napravlennykh i mnogostvol'nykh skvazhin [Diamond tool for drilling directional and multilateral wells]. Tula: Grif i K, 2007.
10. *Yarali O., Soyer E.* Assessment of relationships between drilling rate index and mechanical properties of rocks. *Tunnell. Underground Space Technol.* 2013. Vol. 33. P. 46—53.
11. *Atici U., Ersoy A.* Correlation of specific energy of cutting saws and drilling bits with rock brittleness and destruction energy. *J. Mater. Process. Technol.* 2009. Vol. 209. No. 5. P. 2602—2612.
12. *Rao K.U.M., Bhatnagar A., Misra B.* Laboratory investigation on rotary diamond drilling. *Geotech. Geol. Eng.* 2002. Vol. 20. No. 1. P. 1—16.
13. *Bogdanov R.K., Isonkin A.M., Zakora A.P.* Tekhnologicheskie metody povysheniya effektivnosti ispol'zovaniya sinteticheskikh almazov v impregnirovannykh koronkakh [Technological methods of increase of efficiency of use of synthetic diamond impregnated crowns]. *Razvedka i okhrana neдр*. 2012. No. 3. P. 58—61.
14. *Osnovy proektirovaniya i tekhnologiya izgotovleniya abrazivnogo i almaznogo instrumenta [Fundamentals of design and manufacturing technology of abrasive and diamond tools].* Ed. V.N. Bakul'. Moscow: Mashinostroenie, 1975.
15. *Metallovedenie: Uchebnik. Vol. II [Metallography. Tutorial. Vol. 2].* Ed. V.S. Zolotarevskii. Moscow: Izdatel'skii dom MISIS, 2009.
16. *Polushin N.I., Laptev A.I., Baragunov E.M.* Vliyanie sostava matrits almaznykh burovyykh koronok na ikh abrazivnuyu stoikost'. Chast' 2. Izuchenie iznosostoikosti almaznykh burovyykh koronok [The influence of the matrix composition, the diamond drill bits on their abrasion resistance. Part 2. Study of wear resistance of diamond drill bits]. *Tsvetnye metally*. 2013. No. 2. P. 72—75.