

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АЛМАЗНОГО СЛОЯ И ИНТЕРФЕЙСА  
ДВУХСЛОЙНЫХ АЛМАЗНО-ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ПЛАСТИН****В.М. Прохоров, С.А. Перфилов, А.А. Поздняков, Е.В. Иллич-Свитыч, А.П. Федоткин**

Вячеслав Максимович Прохоров (ORCID 0000-0003-1357-5746)\*, Сергей Алексеевич Перфилов (ORCID 0009-0003-8630-0636), Андрей Алексеевич Поздняков (ORCID 0009-0006-1367-6335), Елизавета Владимировна Иллич-Свитыч (ORCID 0009-0009-1385-0710), Александр Павлович Федоткин (ORCID 0000-0003-3822-4811)

Технологический институт сверхтвердых и новых углеродных материалов Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», ул. Центральная, 7А, Москва, Троицк, Российская Федерация, 142190

E-mail: pvm@tisnum.ru\*

*В статье представлены результаты исследования ряда характеристик двухслойных алмазно-твердосплавных пластин (АТП), изготовленных в НИЦ «Курчатовский институт» - ТИСНУМ. АТП является режущим элементом бурового долота и состоит из слоя компакта поликристаллического алмаза (Polycrystalline Diamond Compact, PDC), нанесенного на подложку из сверхтвердого сплава карбида вольфрама с кобальтовой связкой. АТП были изготовлены по технологии высоких давлений (5-5,7 ГПа) и высоких температур (~1500 °С) с использованием установки на базе многопуансонного пресса GY850 с камерой высокого давления рабочим объемом 135 см<sup>3</sup>. Путем механической обработки спеченные АТП подгонялись под требуемые размеры реза бурового инструмента (АТП реза). Из двух партий АТП реза, изготовленных при различных технологических условиях, было взято по одному образцу. Комплексные исследования проводились на вертикальных разрезах АТП реза и срезанном алмазном слое. Для алмазного слоя оптическим методом определялся размер алмазных зерен и наличие выщелачивания алмазного слоя. Методом инструментального индентирования на нанотвердомтере «НаноСкан-4D» с пирамидой Берковича измеряли твердость и модуль упругости в различных областях алмазного слоя. Упругие постоянные алмазного слоя определялись ультразвуковым методом с использованием лазерного возбуждения упругих волн в образце. Методом конфокальной оптической профилометрии получены трехмерные изображения интерфейса между алмазным слоем и подложкой из твердого сплава. Изображения позволили определить толщину интерфейса и обнаружить дефекты в границе раздела. Установлена связь между структурой и рядом свойств образцов АТП.*

**Ключевые слова:** поликристаллический алмаз, алмазно-твердосплавная пластина, интерфейс, твердость, упругость, профилометрия

**INVESTIGATION OF THE CHARACTERISTICS OF THE DIAMOND LAYER  
AND THE INTERFACE OF TWO-LAYER DIAMOND-CARBIDE PLATES****V.M. Prokhorov, S.A. Perfilov, A.A. Pozdnyakov, E.V. Illich-Svitych, A.P. Fedotkin**

Vyacheslav M. Prokhorov (ORCID 0000-0003-1357-5746)\*, Sergey A. Perfilov (ORCID 0009-0003-8630-0636), Andrey A. Pozdnyakov (ORCID 0009-0006-1367-6335), Elizaveta V. Illich-Svitych (ORCID 0009-0009-1385-0710), Alexander P. Fedotkin (ORCID 0000-0003-3822-4811)

Technological Institute for Superhard and Novel Carbon Materials, National Research Centre «Kurchatov Institute», Tsentralnaya st., 7A, Troitsk, Moscow, 108840, Russia

E-mail: pvm@tisnum.ru\*

*The article presents the results of a study of a number of characteristics of double-layer diamond-carbide plates (ATP) manufactured at the NRC «Kurchatov Institute» - TISNCM. ATP is the cutting element of a drill bit and consists of a layer of Polycrystalline Diamond Compact (PDC) deposited on a substrate of a superhard tungsten carbide alloy with a cobalt bond. The ATPs were manufactured using high-pressure technology (5-5.7 GPa) and high temperatures (~ 1500 °C) using an installation based on a GY850 multi-punch press with a high-pressure chamber with a working volume of 135 cm<sup>3</sup>. By mechanical processing, the sintered ATP was adjusted to the required dimensions of the drilling tool cutter (ATP cutter). One sample was taken from two batches of ATP cutters manufactured under different technological conditions. Comprehensive studies were carried out on vertical sections of the ATP cutter and the cut diamond layer. For the diamond layer, the size of diamond grains and the presence of diamond layer leaching were determined by optical method. The hardness and modulus of elasticity in various areas of the diamond layer were measured using instrumental indentation on a “NanoScan-4D” nanohardness tester with a Berkovich pyramidal indenter. The elastic constants of the diamond layer were determined by ultrasound using laser excitation of elastic waves in the sample. Three-dimensional images of the interface between a diamond layer and a hard alloy substrate have been obtained by confocal optical profilometry. The images allowed us to determine the thickness of the interface and detect defects in the interface. A relationship has been established between the structure and a number of properties of ATP samples.*

**Keywords:** polycrystalline diamond, diamond-carbide plate, interface, hardness, elasticity, profilometry

**Для цитирования:**

Прохоров В.М., Перфилов С.А., Поздняков А.А., Иллич-Свитыч Е.В., Федоткин А.П. Исследование характеристик алмазного слоя и интерфейса двухслойных алмазно-твердосплавных пластин. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2025. Т. 68. Вып. 9. С. 28–34. DOI: 10.6060/ivkkt.20256809.7y.

**For citation:**

Prokhorov V.M., Perfilov S.A., Pozdnyakov A.A., Illich-Svitych E.V., Fedotkin A.P. Investigation of the characteristics of the diamond layer and the interface of two-layer diamond-carbide plates. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2025. V. 68. N 9. P. 28–34. DOI: 10.6060/ivkkt.20256809.7y.

## ВВЕДЕНИЕ

Алмазно-твердосплавные пластины (АТП, Polycrystalline Diamond Cutter – PDC) широко используются для производства современного бурового инструмента. Разработка и совершенствование технологии их изготовления в РФ является важной задачей [1-3].

АТП разрабатываются и производятся с использованием новейших технологий, одна из которых использует метод химического осаждения из газовой фазы алмазного слоя на подложку твердого сплава [3-5], а другая, широко применяемая для массового производства АТП – технология спекания при высоких давлениях и высоких температурах [5-8]. В этом случае АТП представляют собой многокомпонентную систему, которая включает в себя: а) алмазный слой из спеченного алмазного порошка, б) основание - подложку из твердого сплава карбид вольфрама – кобальт, соединенное со слоем поликристаллического алмаза, в) связующие фазы, используемые в процессе спекания режущих АТП-элементов.

Поликристаллический алмазный слой образуется пропиткой нанесенного на подложку алмазного порошка расплавом эвтектики кобальт-карбид вольфрама при нагреве до температуры около 1500 °С. Для обеспечения сохранения зерен алмаза и формирования алмазного поликристалла при таких температурах необходимо приложение высоких давлений 5 ГПа и выше [9-10].

Алмазный слой и подложка разделены промежуточным слоем – интерфейсом. Интерфейс образуется в процессе спекания пластины, когда, с одной стороны, кобальт из твердого сплава выплавляется в алмазный слой, а с другой стороны, в алмазном слое образуется область с повышенной концентрацией пропитывающего металла. Он в значительной степени определяет необходимую прочность изделия при работе под воздействием статических и динамических нагрузок, а также его устойчивость к напряжениям, возникающим в процессе спекания. Для увеличения площади поверхности контакта алмаза с твердым сплавом разработан ряд специальных неплоских профилей [11].

Наиболее широко применяются АТП диаметром 13,44 мм и 15,88 мм (типоразмеры 1308, 1313 и 1613) с толщиной алмазного слоя 2-3 мм.

Испытания АТП в долотах показали, что их прочность, износостойкость и термостойкость в значительной степени определяются свойствами этой части изделия [12-16].

Нами проведен комплекс исследований характеристик алмазного слоя и размерных характеристик интерфейса АТП, изготовленных в НИЦ «Курчатовский институт» – ТИСНУМ, различными (разрушающими и неразрушающими) методами. Исследовали два образца (№№ 1 и 2) АТП типоразмера 1308, взятых из двух партий по 12 АТП, изготовленных в различных технологических режимах при температуре 1500 °С и давлениях 5,0 и 5,7 ГПа (в пределах, заданных ТУ [17]). Спекание исходных элементов АТП проводили с использованием установки на базе многопуансонного пресса GY850 с рабочим объемом 135 см<sup>3</sup> [10], позволяющей изготавливать сразу 12 АТП за один технологический цикл. Спеченные АТП механически обрабатывали до необходимых размеров. Представлены результаты профилометрии интерфейса и алмазного слоя, исследования их размерных и структурных характеристик, а также микротвердости. Полученные данные будут служить для оценки соответствия технологии изготовления АТП эксплуатационным требованиям на АТП для бурового инструмента.

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Образцы для исследований приготавливали путем разрезания готовых пластин на части на электроискровой установке Арта 423 ПРО. Для проведения оптических измерений и профилометрии вырезали в вертикальном направлении пластины толщиной 4 мм (рис. 1). На рис. 1 показаны изображения исходной пластины (а) и вырезанной из нее центральной части (б).

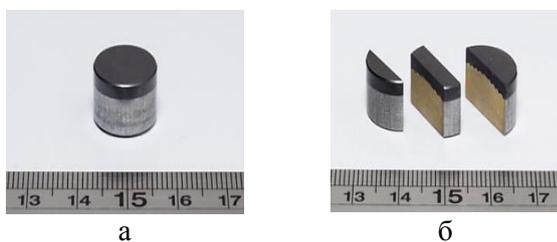


Рис. 1. Исходная пластина (а) и вертикальный срез (б)  
Fig. 1. The initial plate (a) and the vertical section (б)

Как видно из рис. 1б, форма подложки представляет собой профилированный сегмент сфериче-

ской поверхности большого радиуса в виде концентрических углублений и выступов.

Поверхности среза шлифовали и полировали для дальнейших исследований на установке Struers TegraPol-11. Для проведения измерений размеров интерфейса и зерна алмазного слоя, твердости, плотности и модулей упругости из пластин вырезали алмазный слой с последующим удалением остатков твердого сплава шлифованием. Фотографии полученных образцов для исследований представлены на рис. 2.



Рис. 2. Образцы № 1 (а) и № 2 (б) после пробоподготовки  
Fig. 2. Samples N 1 (a) and N 2 (б) after sample preparation

Оптические исследования сечений образцов АТП с определением толщины интерфейса и размера алмазных зерен получали на оптическом микроскопе Olympus BX-51M. Оптические фотографии с различным увеличением показаны на рис. 3 и 4.

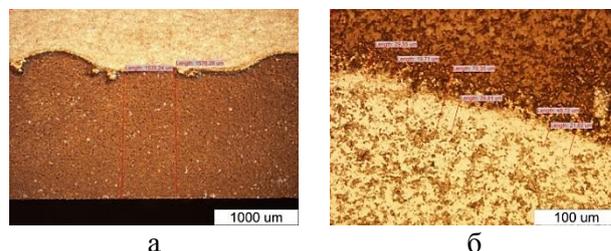


Рис. 3. Оптическое изображение интерфейса образца № 1. Общий вид алмазного слоя (а). Толщина интерфейса 44-75 мкм (б)  
Fig. 3. Optical image of the interface of sample N 1. General view of the diamond layer (a). Interface thickness 44-75 μm (б)

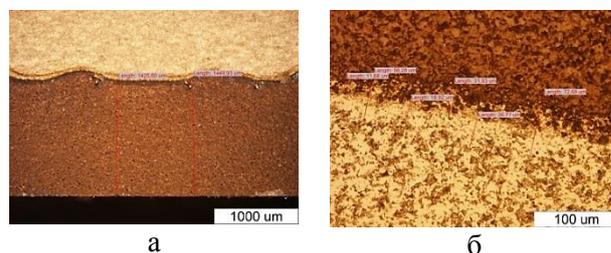


Рис. 4. Оптическое изображение интерфейса образца № 2. Общий вид алмазного слоя (а). Толщина интерфейса 50-70 мкм (б)  
Fig. 4. Optical image of the interface of sample N 2. General view of the diamond layer (a). The thickness of the interface is 50-70 μm (б)

На рис. 5 представлены оптические изображения шлифа алмазного слоя с указанием размеров алмазных частиц. Характерный размер алмазных частиц составляет 10-15 мкм. Более крупные частицы размером ~20 мкм состоят из мелких исходных зерен, сросшихся при образовании поликристаллического слоя.

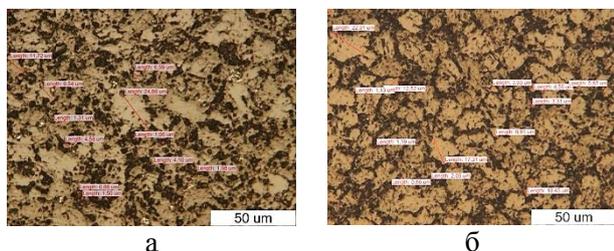


Рис. 5. Изображения шлифов алмазного слоя образцов № 1 (а) и № 2 (б) с указанием размеров алмазных частиц  
Fig. 5. Images of diamond layer cuts of samples N 1 (a) and N 2 (b) with indication of the sizes of diamond particles

Микроструктура образцов заметно различается. Визуально границы алмазных зерен (светлые области) образца № 1 имеют более развитую поверхность, с большим по сравнению с образцом № 2 содержанием металла (темные области).

#### ПРОФИЛОМЕТРИЯ

Трехмерные изображения интерфейса АТП на поверхности среза были получены методом конфокальной оптической профилометрии с помощью оптического профилометра S Neox [18]. Метод заключается в получении серии фотографий с сильным контрастом в фокальной плоскости измеряемого образца и их сшивании с привязкой к глубине. Изображения с высокой контрастностью и пространственным разрешением получаются за счет использования точечной апертуры, ограничивающей поток фонового рассеянного света, испускаемого из нефокусной плоскости объектива. Размер поля полученных изображений 877×660 мкм, разрешение 1360×1024.

Граница раздела образца № 1 представляет собой канавку глубиной около 20 мкм и шириной 140 мкм (рис. 6). Ее положение практически соответствует положению интерфейса на рис. 3.

Это связано с тем, что при электроискровой резке с постоянной скоростью выгорание материала поверхности интерфейса происходит более интенсивно. Это может указывать также, что его материал в этом месте обладает худшими физико-механическими свойствами по сравнению с алмазным слоем и подложкой.

Изучение профилометрических изображений после полировки образца позволило точнее

определить толщину и глубину интерфейса. На рис. 7 показан пример одного из 10 профилометрических рисунков, выполненных на двух образцах.

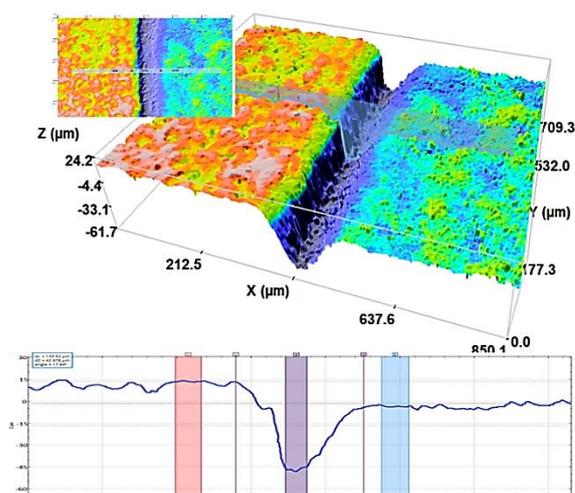


Рис. 6. Профилометрические изображения поверхности среза АТП непосредственно после разрезания  
Fig. 6. Profilometric images of the PDC cut surface immediately after cutting

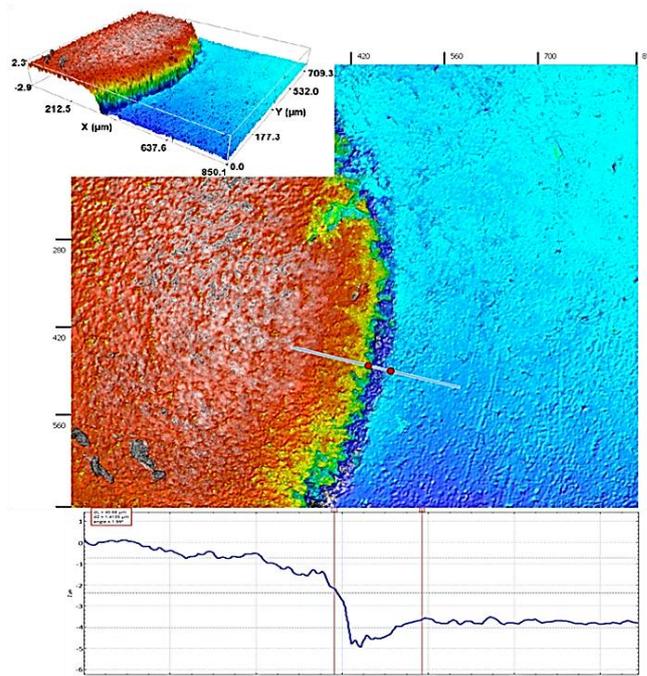


Рис. 7. Профилометрические изображения поверхности полированного шлифа вертикального среза АТП  
Fig. 7. Profilometric images of the surface of the polished section of the vertical section of the PDC

Исследование интерфейса методом профилометрии показало, что его размеры составляют 25-49 мкм, что соответствует результатам оптических исследований (рис. 3). С помощью профилометра также установлено наличие микродефектов алмазного слоя в виде пор.

## ТВЕРДОСТЬ И МОДУЛЬ УПРУГОСТИ

Твердость  $H_{IT}$ , модуль упругости  $E^*$  и степень упругого восстановления  $\gamma$  определяли при помощи сканирующего нанотвердомера "НаноСкан-3D" методом инструментального индентирования (ГОСТ Р 8.748-2011 (ИСО 14577-1:2002) с использованием алмазной пирамиды Берковича [19-20].

На каждом образце проведено по 12 нагружений с максимальной нагрузкой 0,05Н. Измерения внутри серии проводились циклически – каждый из образцов «укалывали» однократно, затем индентор перемещался к другому образцу. Такой алгоритм использовали для обеспечения однородного износа индентора, неизбежно имеющего место при измерении твердости сверхтвердого материала [21].

Полученные данные по измерению твердости и модуля упругости методом наноиндентирования приведены в табл. 1. Для сравнения приведены данные измерений двух образцов спеченного карбида бора  $B_4C$  [22]. Образцы керамики  $B_4C$  были приготовлены методом горячего прессования из порошка со средним размером частиц 1,6 мкм с последующим спеканием под давлением при температуре до 1950 °С. Технологические детали изготовления образцов  $B_4C$  описаны в работе [23].

Таблица 1

**Значения твердости, модуля упругости и степени упругого восстановления исследованных образцов**  
**Table 1. Values of hardness, modulus of elasticity and degree of elastic recovery of the studied samples**

№	$H_{IT}$ , ГПа	$E^*$ , ГПа	$\gamma$ , %
1	44 ± 20	1430 ± 850	64 ± 20
2	74 ± 36	1560 ± 570	73 ± 14
3	26 ± 13	550 ± 200	57 ± 21
4	39 ± 13	590 ± 270	68 ± 12

Большой разброс данных, возможно, обусловлен повышенной шероховатостью поверхности.

## УПРУГИЕ ПОСТОЯННЫЕ

Упругие постоянные алмазных слоев были измерены с использованием ультразвукового лазерного дефектоскопа УДЛ-2М [24]. Продольные и сдвиговые ультразвуковые импульсы возбуждали лазерным лучом с поверхности пластины. Диаметр лазерного луча (оптоволокно) составлял ~1 мм. Измерения проводились в 10 точках образца, данные усредняли. Плотность алмазных пластин, необходимую для вычисления упругих постоянных, определяли на весах KERN-770-60 с приставкой измерения плотности «Sartorius YDK 01 LP». Резуль-

таты определения упругих постоянных представлены в табл. 2, где  $\rho$  – плотность,  $V_L$  – скорость продольной упругой волны,  $V_T$  – скорость сдвиговой упругой волны,  $C$  – продольный модуль,  $E$  – модуль Юнга,  $K$  – объемный модуль,  $G$  – модуль сдвига,  $\sigma$  – коэффициент Пуассона.

Таблица 2

**Значения плотности, скоростей звука и упругих постоянных исследованных образцов**

**Table 2. Values of density, sound velocities and elastic constants of the studied samples**

$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$V_L$ , км/с	$V_T$ , км/с	$C$ , ГПа	$E$ , ГПа	$K$ , ГПа	$G$ , ГПа	$\sigma$
№ 1							
3,769	16,0	9,6	960	840	500	350	0,22
№ 2							
3,542	18,0	10,5	1100	970	630	390	0,24

Погрешность в значениях упругих постоянных составляет ~20%, она обусловлена в основном непараллельностью поверхностей образца и его малой толщиной. Упругие характеристики и твердость образца № 2 заметно превышают соответствующие значения для образца № 1. Более высокая плотность образца № 1 связана с более высоким содержанием металла, установленным при металлографическом исследовании (рис. 5).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование шлифов вертикальных срезов АТП позволило определить параметры его интерфейса и физико-механические характеристики алмазного слоя. Показано, что слой интерфейса менее стоек к воздействию электроискровой обработки по сравнению с алмазным слоем и подложкой. Установлена связь между структурой и рядом свойств образцов АТП. Исследование показало, что для экспресс-анализа партий АТП и выявления их дефектности возможно использовать неразрушающие методы.

*Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП ФГБНУ ТИСЧУМ "Исследования наноструктурных, углеродных и сверхтвердых материалов".*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.*

*The work was done using the Shared Research Facilities "Research of Nanostructured, Carbon and Superhard Materials" FSBI TISNCM.*

*The authors declare the absence of a conflict of interest warranting disclosure in this article.*

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Bellin F., Dourfaye A., Thigpen M.** The current state of PDC bit technology. *World Oil*. 2010. N 9. P. 231.
2. **Воробьева М.В., Перфилов С.А., Поздняков А.А., Ломакин Р.Л., Бланк В.Д.** Новые возможности породоразрушающих инструментов, оснащенных алмазно-твердосплавными режущими элементами. *Вопр. материаловедения*. 2020. Т. 74. № 1(101). С. 74-85. DOI: 10.22349/1994-6716-2020-101-1-74-84.
3. **Zhang B., Du Y., Liu H., Xin L., Yang Y., Li L.** Experimental Study on High-Speed Milling of SiCf/SiC Composites with PCD and CVD Diamond Tools. *Materials*. 2021. V. 14 N 13. P. 3470. DOI: 10.3390/ma14133470.
4. **Сергейчев К.Ф.** Алмазные CVD-покрытия режущих инструментов (обзор). *Усп. прикл. физики*. 2015. № 3. С. 342-376.
5. **Alexeev A.M., Ismailov R.R., Ashkinazi E.E., Orekhov A.S., Malykhin S.A., Obratsov A.N.** Diamond platelets produced by chemical vapor deposition. *Diam. Rel. Mater.* 2016. V. 65. P. 13-16. DOI: 10.1016/j.diamond.2015.12.019.
6. **Бугаков В.И., Лаптев А.И.** Технология изготовления буровых долот при высоких давлениях и температурах с применением новых алмазных материалов. *Изв. вузов. Черная металлургия*. 2017. Т. 36. Вып. 1 (60). С. 36-42. DOI: 10.17073/0368-0797-2017-1-36-42.
7. **Квашнин Г.М., Овсянников Д.А., Сорокин Б.П., Попов М.Ю.** Исследование упругих свойств и твердости наноструктурированных углеродных материалов. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2021. Т. 64. Вып. 12. С. 66-70. DOI: 10.6060/ivkkt.20216412.8y.
8. **Перфилов С.А., Воробьева М.В., Евдокимов И.А., Ломакин Р.Л., Пахомов И.В., Поздняков А.А.** Изучение влияния свойств исходного алмазного сырья на свойства поликристаллических алмазных материалов. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2021. Т. 64. Вып. 12. С. 48-54. DOI: 10.6060/ivkkt.20216412.4y.
9. **Евдокимов И.А., Хайруллин Р.Р., Перфилов С.А., Поздняков А.А., Кульницкий Б.А., Сухоруков Д.В., Пахомов И.В., Ломакин Р.Л.** Наноструктурный композиционный материал, модифицированный графеноподобными частицами. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2020. Т. 63. Вып. 12. С. 37-43. DOI: 10.6060/ivkkt.20206312.3y.
10. **Prokhorov V., Perfilov S, Pozdnyakov A.** Development of diamond-hard alloy plate (D-HAP) manufacturing technology on the GY850 multi-punch press and study of the characteristics of experimental batches of samples. *Mach. Technol. Mater.* 2023. N 5. P. 187-189.
11. **Wan Y., Song X., Zhao G., Xin L., Nian Zh.** Design of discrete-edge polycrystalline diamond tool and its cutting performance in milling Cf/SiC composites. *Diam. Rel. Mater.* 2023. V. 137. P. 110153. DOI: 10.1016/j.diamond.2023.110153.
12. **Garcia-Marro F., Mestra A., Kanyanta V., Maweja K., Ozbayraktar S., Llanes L.** Contact damage and residual strength in polycrystalline diamond (PCD). *Diam. Relat. Mater.* 2016. V. 65. N 131. P. 131-136. DOI: 10.1016/j.diamond.2016.03.004.
13. **Zacny K.** Fracture and Fatigue of Polycrystalline-Diamond Compacts. *SPE Drill. Complet.* 2012. V. 27. N 1. P. 145-157. DOI: 10.2118/150001-PA.
14. **Kanyanta V., Dormer A., Murphy N., Ivankovic A.** Impact fatigue fracture of polycrystalline diamond compact (PDC) cutters and the effect of microstructure. *Int. J. Refr. Metals Hard Mater.* 2014. V. 46. P. 145-151. DOI: 10.1016/j.ijrmhm.2014.06.003.

## REFERENCES

1. **Bellin F., Dourfaye A., Thigpen M.** The current state of PDC bit technology. *World Oil*. 2010. N 9. P. 231.
2. **Vorobyeva M.V., Perfilov S.A., Pozdnyakov A.A., Lomakin R.L., Blank V.D.** New features of rock-crushing tools equipped with diamond-carbide cutting elements. *Vopr. Materialoved.* 2020. V. 74. N 1(101). P. 74-85 (in Russian). DOI: 10.22349/1994-6716-2020-101-1-74-84.
3. **Zhang B., Du Y., Liu H., Xin L., Yang Y., Li L.** Experimental Study on High-Speed Milling of SiCf/SiC Composites with PCD and CVD Diamond Tools. *Materials*. 2021. V. 14 N 13. P. 3470. DOI: 10.3390/ma14133470.
4. **Sergeichev K.F.** Diamond CVD coatings of cutting tools (review). *Usp. Prikl. Fiziki*. 2015. N 3. P. 342-376 (in Russian).
5. **Alexeev A.M., Ismailov R.R., Ashkinazi E.E., Orekhov A.S., Malykhin S.A., Obratsov A.N.** Diamond platelets produced by chemical vapor deposition. *Diam. Rel. Mater.* 2016. V. 65. P. 13-16. DOI: 10.1016/j.diamond.2015.12.019.
6. **Bugakov V.I., Laptev A.I.** The technology of manufacturing drill bits at high pressures and temperatures using new diamond materials. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Ferrous Metallurgy*. 2017. V. 36. N 1(60). P. 36-42 (in Russian). DOI: 10.17073/0368-0797-2017-1-36-42.
7. **Kvashnin G.M., Ovsyannikov D.A., Sorokin B.P., Popov M.Yu.** Investigation of elastic properties and hardness of nanostructured carbon materials. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2021. V. 64. N 12. P. 66-70 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20216412.8y.
8. **Perfilov S.A., Vorobyova M.V., Evdokimov I.A., R.L. Lomakin M.V., Pakhomov I.V., Pozdnyako A.A.** Studying the influence of the initial diamond raw materials properties on the polycrystalline diamond materials properties. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2021. V. 64. N 12, P. 48-54 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20216412.4y.
9. **Evdokimov I.A., Khairullin R.R., Perfilov S.A., Pozdnyakov A.A., Kulnitskiy B.A., Sukhorukov D.V., Pakhomov I.V., Lomakin, R.L.** Nanostructural Composite Material Modified With Graphene-Like Particles. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2020. V. 63. N 12. P. 37-43 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20206312.3y.
10. **Prokhorov V., Perfilov S, Pozdnyakov A.** Development of diamond-hard alloy plate (D-HAP) manufacturing technology on the GY850 multi-punch press and study of the characteristics of experimental batches of samples. *Mach. Technol. Mater.* 2023. N 5. P. 187-189.
11. **Wan Y., Song X., Zhao G., Xin L., Nian Zh.** Design of discrete-edge polycrystalline diamond tool and its cutting performance in milling Cf/SiC composites. *Diam. Rel. Mater.* 2023. V. 137. P. 110153. DOI: 10.1016/j.diamond.2023.110153.
12. **Garcia-Marro F., Mestra A., Kanyanta V., Maweja K., Ozbayraktar S., Llanes L.** Contact damage and residual strength in polycrystalline diamond (PCD). *Diam. Relat. Mater.* 2016. V. 65. N 131. P. 131-136. DOI: 10.1016/j.diamond.2016.03.004.
13. **Zacny K.** Fracture and Fatigue of Polycrystalline-Diamond Compacts. *SPE Drill. Complet.* 2012. V. 27. N 1. P. 145-157. DOI: 10.2118/150001-PA.
14. **Kanyanta V., Dormer A., Murphy N., Ivankovic A.** Impact fatigue fracture of polycrystalline diamond compact (PDC) cutters and the effect of microstructure. *Int. J. Refr. Metals Hard Mater.* 2014. V. 46. P. 145-151. DOI: 10.1016/j.ijrmhm.2014.06.003.
15. **McNamara D., Carolan D., Alveen P., Murphy N., Ivanković A.** Effect of loading rate on the fracture toughness

15. **McNamara D., Carolan D., Alveen P., Murphy N., Ivanković A.** Effect of loading rate on the fracture toughness and failure mechanisms of polycrystalline diamond (PCD). *Int. J. Refr. Metals Hard Mater.* 2016. V. 60. P. 1-10. DOI: 10.1016/j.ijrmhm.2016.06.011.
16. **Куфтырев Р.Ю., Полушин Н.И., Котельникова О.С., Лаптев А.И., Сорокин М.Н.** Износостойкость PCD режущих элементов, применяемых для комплектации PDC буровых долот. *Изв. вузов. Черная металлургия.* 2017. Т. 60. № 9. С. 745-751. DOI: 10.17073/0368-0797-2017-9-745-751.
17. Алмазно-твердосплавные пластины (АТП). «Технологический институт сверхтвердых и новых углеродных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт». ТУ 3970-001-48786949-2017. Рег. № 219.
18. **Prokhorov V., Perfilov S, Pozdnyakov A.** Investigation of the interface of two-layer diamond plates for drilling tools. *Mach. Technol. Mater.* 2022. N 5. P. 241-242.
19. **Решетов В.Н., Красногоров И.В., Соловьев В.В., Гладких Е.В., Усеинов А.С.** Оборудование для инструментального индентирования - принципы работы и особенности конструирования. *Наноиндустрия.* 2022. Т. 15. № 7-8 (117). С. 466-476. DOI: 10.22184/1993-8578.2022.15.7-8.466.476.
20. **Федоткин А.П., Гладких Е.В., Русаков А.А., Усеинов А.С.** Анализ деформационного поведения материалов при индентировании с использованием методов цифровой обработки изображений. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2023. Т. 66. Вып. 10. С. 102-108. DOI: 10.6060/ivkkt.20236610.11y.
21. **Усеинов А.С., Кравчук К.С., Гладких Е.В., Прокудин С.В.** Измерение механических свойств методом инструментального индентирования в широком диапазоне температур. *Наноиндустрия.* 2021. Т. 14. № 2. С. 108-116. DOI: 10.22184/1993-8578.2021.14.2.108.116.
22. **Бланк В.Д., Прохоров В.М., Сорокин Б.П., Квашнин Г.М., Теличко А.В., Гордеев Г.И.** Упругие постоянные второго и третьего порядков керамики B4C. *ФТТ.* 2014. Т. 56. № 8. С. 1523-1527. DOI: 10.1134/S1063783414080046.
23. **Prokhorov V., Perfilov S., Useinov A., Veprincev K, Gnidadash C., Kufyrev R.** Determination with integral ultrasonic method and local force microscopy method of elastic properties of B4C ceramics prepared by hot pressing. *Mach. Technol. Mater.* 2013. N 12. P. 21-23.
24. **Prokhorov V., Pozdnyakov A, Kravchuk K., Morokov E.** Development and research of characteristics of two-layer diamond plates for drilling tools. *Mach. Technol. Mater.* 2019. N 7. P. 294-297.
- and failure mechanisms of polycrystalline diamond (PCD). *Int. J. Refr. Metals Hard Mater.* 2016. V. 60. P. 1-10. DOI: 10.1016/j.ijrmhm.2016.06.011.
16. **Kufyrev R.Yu., Polushin N.I., Kotel'nikova O.S., Laptev A.I., Sorokin M.N.** Wear resistance of PCD composites used to complete PDC drill bits. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Ferrous Metallurgy.* 2017. V. 60. N 9. P. 745-751 (in Russian). DOI: 10.17073/0368-0797-2017-9-745-751.
17. Diamond-carbide plates (ATP). «Technological Institute for Superhard and Novel Carbon Materials» of National Research Centre «Kurchatov Institute». TU 3970-001-48786949-2017. 2017. Reg. N 219 (in Russian).
18. **Prokhorov V., Perfilov S, Pozdnyakov A.** Investigation of the interface of two-layer diamond plates for drilling tools. *Mach. Technol. Mater.* 2022. N 5. P. 241-242.
19. **Reshetov V.N., Krasnogorov I.V., Solov'ev V.V., Gladkikh Ye.V.** Equipment for instrumented nanoindentation – Principles of operation and design features. *Nano Ind.* 2022. V. 15. N 7-8. P. 466-476 (in Russian). DOI: 10.22184/1993-8578.2022.15.7-8.466.476.
20. **Fedotkin A.P., Gladkikh E.V., Rusakov A.A., Useinov A.S.** Digital processing of surface images after indentation to analyze the deformation behavior of the material. *Chem-ChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.].* 2023. V. 66. N 10. P. 102-108 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20236610.11y.
21. **Useinov A.S., Kravchuk K.S., Gladkikh Ye.V., Prokudin S.V.** Measurement of mechanical properties using instrumental indentation method in a large temperature range. *Nano Ind.* 2021. V. 14. N 2. P. 108-116 (in Russian). DOI: 10.22184/1993-8578.2021.14.2.108.116.
22. **Blank V.D., Prokhorov V.M., Sorokin B.P., Kvashnin G.M., Telichko A.V., Gordeev G.I.** Second-order and third-order elastic constants of B4C ceramics. *Phys. Solid State.* 2014. V. 56. N 8. P. 1574–1578. DOI: 10.1134/S1063783414080046.
23. **Prokhorov V., Perfilov S., Useinov A., Veprincev K, Gnidadash C., Kufyrev R.** Determination with integral ultrasonic method and local force microscopy method of elastic properties of B4C ceramics prepared by hot pressing. *Mach. Technol. Mater.* 2013. N 12. P. 21-23.
24. **Prokhorov V., Pozdnyakov A, Kravchuk K., Morokov E.** Development and research of characteristics of two-layer diamond plates for drilling tools. *Mach. Technol. Mater.* 2019. N 7. P. 294-297.

Поступила в редакцию 09.01.2025

Принята к опубликованию 27.01.2025

Received 09.01.2025

Accepted 27.01.2025