ISSN: 0368-0797. Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2017. Том 60. № 9. С. 745 – 751. © 2017. Куфтырев Р.Ю., Полушин Н.И., Котельникова О.С., Лаптев А.И., Сорокин М.Н.

УДК 539.538; 622.24.051.624

### ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ РСД РЕЖУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ КОМПЛЕКТАЦИИ РДС БУРОВЫХ ДОЛОТ<sup>\*</sup>

*Куфтырев Р.Ю.*<sup>1</sup>, начальник технологического отдела

Полушин Н.И.<sup>2</sup>, к.т.н., зав. научно-исследовательской лабораторией сверхтвердых материалов Котельникова О.С.<sup>2</sup>, инженер научно-исследовательской лаборатории сверхтвердых материалов Лаптев А.И.<sup>2</sup>, д.т.н., ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории

*сверхтвердых материалов* (laptev@misis.ru)

Сорокин М.Н.<sup>2</sup>, старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории

сверхтвердых материалов

<sup>1</sup>ООО «Завод технической керамики»

(143360, Россия, Московская обл., Апрелевка, ул. Августовская, 1) <sup>2</sup> Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (119049, Россия, Москва, Ленинский пр., 4)

Аннотация. В настоящей работе проведено исследование износостойкости режущих элементов PCD марки GES 1313 фирмы Е6 в виде цилиндров диаметром 13,44 мм и высотой 13 мм при резании гранита и абразивных кругов методом токарной обработки при различных скоростях, определена оптимальная скорость резания, получены сравнительные данные по резанию Мансуровского гранита и абразивных кругов марки 64C (SiC) с целью разработки рекомендаций по условиям испытания PCD режущих элементов. За характеристики износостойкости принимали отношение убыли объема алмазного слоя к объему снятого обрабатываемого материала или количество снятого обрабатываемого материала при одинаковой степени износа режущего элемента. В первом случае износостойкость оценивалась в относительных единицах, во втором случае в см<sup>3</sup> по отношению износу задней поверхности в мм. При резании гранита скорость резания изменяли от 80 до 320 м/мин, при резании абразивных кругов скорость резания составляла 500 м/мин. Для расчета объема PCD режущих элементов в программе «Компас 3D» были построены 3D модели их изношенных частей, а также градуировочный график зависимости объема от площадки износа по задней режущей поверхности PCD. Угол резания составлял -22°. Показано, что изменение объемов изношенной части PCD при изменении углов резания от -20 до -25° меньше точности измерения площадки износа до значения износа 0,8 мм. Установлено, что увеличение скорости с 80 до 160 м/мин при резании гранита приводит к снижению износостойкости режущих элементов PCD в 12 раз. Относительный объемный износ PCD резцов при резании гранита составляет (0,01 – 0,02) 10<sup>-6</sup>, что в 20 раз меньше, чем при резании абразивных кругов марки 64С. Относительная износостойкость PCD резцов при резании абразивных кругов марки 64С не зависит от степени затупления по задней поверхности до значений 1,4 мм. Данная методика может быть рекомендована в качестве экспресс метода определения износостойкости PCD. Реализованный метод расчета объема с помощью программы «Компас 3D» или аналогичных инженерных программ изношенной части РСD может быть применен для оценки относительной износостойкости абразивных и режущих материалов.

*Ключевые слова*: PCD режущий элемент, PDC долото, алмазное буровое долото, резание гранита, износостойкость, угол резания, параметры износа, скорость резания.

DOI: 10.17073/0368-0797-2017-9-745-751

Развитие технологии поиска и добычи углеводородов методом бурения привело к появлению большой номенклатуры алмазного бурового инструмента [1-4]. Основным исполнительным механизмом при бурении является лопастное долото вращательного режущего типа. В качестве режущих элементов в настоящее время в основном используются двухслойные алмазно-твердо-

сплавные пластины (PCD), состоящие из твердосплавной подложки и алмазного композиционного режущего слоя, достигающего толщины 3 мм [5-8]. Режущие элементы долота движутся по забою скважины и режут породу. Такие алмазные долота получили название PDC долота. Стоимость долот составляет несколько процентов от общей стоимости скважины, но от их качества и стойкости на износ зависит скорость бурения, количество рейсов и максимальная протяженность проходки скважин, которые и определяют экономические показатели разработки скважин [9]. В настоящее время большое количество зарубежных компаний производит режущие элементы PCD [10-12]. PCD фирмы E6 имеют название Syndrill и представляют собой слой поликристаллических алмазов, синтезированных на подложку из твердого сплава под воздействием давления и

<sup>\*</sup> Работа выполнена в рамках федерального целевого проекта программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы» по ПНИ «Разработка технологии получения наноструктурированных материалов для несущих подложек с высокой ударной вязкостью» в рамках соглашения о предоставлении субсидии № 14.579.21.0093 от 27.07.2015 г. (уникальный идентификатор соглашения RFMEFI57915X0093) по комплексному проекту «Разработка технологи изготовления высокоэффективных долот горизонтального и наклонного бурения для нефтегазовой отрасли».

высокой температуры. Размер алмазных зерен в Syndrill колеблется от 20 до 40 мкм, средний размер частиц твердого сплава 3 – 6 мкм, а среднее содержание кобальта 13 %. Основными методами испытаний композитов PCD являются испытания на износостойкость и ударную прочность, поскольку композиция этих двух параметров характеризует пригодность режущих элементов к работе в буровых долотах. Различными фирмами производителей и потребителей композитов PCD предлагаются разные методики их испытаний [10 – 14]. В работе [14] контроль качества режущих элементов PDC предложено проводить не менее, чем по трем критериям:

 стойкости к скалыванию алмазного слоя при статическом нагружении (прочности);

 стойкости к разрушению при динамической нагрузке (ударная прочность);

- стойкости к абразивному изнашиванию.

Критерием прочности является минимальное механическое напряжение, вызывающее скол рабочей кромки режущих элементов PCD. Это механическое напряжение должно превышать возможное давление на резец, вызванное самой твердой частью разрушаемой породы. От значения прочности зависят максимальный крутящий момент долота и твердость разбуриваемой породы. Чем выше прочность режущих элементов PCD, тем больший крутящий момент можно приложить к лопастям долота.

Фирма Еб [10] проводит испытания своих режущих элементов на износостойкость методом точения заготовки мелкозернистого или среднезернистого гранита прочностью не менее 220 МПа при следующих условиях: частота вращения 54 об/мин (40-160 м/мин); глубина резания 0,25 мм; скорость подачи 4,5 мм/об; охлаждение – вода. Данный вид испытания имитирует работу РСД резцов в буровых долотах, так как в зависимости расположения резцов от центра вращения долота они имеют разные скорости резания, а значит и различные температурные условия. Подобным образом проводят испытания и на предприятии Буринтех [15-16] при следующих режимах: частота вращения 63 об/мин; скорость подачи 1,6 мм/об; глубина резания 1 мм; минимальный радиус 25 мм; максимальный радиус заготовки гранита 400 мм.

Тестирование резцов фирмой LANDS Superabrasives [11] при определении износостойкости производится сверлением гранита под большой нагрузкой на вертикальном токарном станке с револьверной головкой. Износостойкость определяется по разнице в весе резца перед началом испытаний и после заданного количества проходок в граните.

Из-за большого количества металлической фазы в алмазном слое термостойкость композитов PCD не превышает 700 °C. Пониженная термостойкость PCD композитов связана с наличием большого количества металлической фазы (кобальта) в алмазном слое и характерна для других алмазных композитов с большим содержанием сплавов-катализаторов в их структуре [17 – 18]. Механизм снижения прочностных свойств PCD композитов связан с возникновением механических напряжений из-за большого различия линейных коэффициентов термического расширения алмазной и металлической фаз и возможного обратного превращения алмазной фазы в графит при нагреве PCD композитов [12]. Удаление металлической фазы методом химического или электрохимического вытравливания [19 – 21] из приповерхностной зоны алмазного режущего слоя глубиной до 100 мкм и более приводит к повышению износостойкости при незначительном снижении ударопрочности [10 – 12].

Цель настоящей работы – определение износостойкости режущих элементов PCD при резании гранита и абразивных кругов методом токарной обработки при различных скоростях, определение оптимальной скорости резания, получение сравнительных данных по резанию гранита и абразивных кругов и разработка рекомендаций по условиям испытания PCD режущих материалов. За характеристики износостойкости принимали отношение убыли объема алмазного слоя к объему снятого обрабатываемого материала или количество снятого обрабатываемого материала при одинаковой степени износа режущего элемента. В первом случае износостойкость оценивается в относительных единицах, во втором случае в см<sup>3</sup> по отношению износу задней поверхности в мм.

В качестве режущих элементов использовали РСD марки GES 1313 производства фирмы Е6 в виде цилиндров диаметром 13,44 мм и высотой 13 мм, состоящие из твердосплавной подложки и композиционного алмазного слоя толщиной 2 мм. По образующей алмазного слоя была выполнена упрочняющая фаска размером 0,4×45°. В работе применялся метод механического закрепления РСD в державку резца с углом резания -22°. Обработку резанием цилиндрических образцов Мансуровского гранита диаметром 200 мм и абразивных кругов марки 64C 300×40×76 25 CM2 35 м/с ГОСТ 2424-83 ЧАЗ диаметром 300 мм проводили на токарно-револьверном станке 16К20. Режимы резания гранита: скорость 320, 160 и 80 м/мин; скорость подачи 0,2 мм/об; глубина резания 0,25 мм; СОТС – эмульсол ЭГТ. Режимы резания абразивных кругов: скорость 500 м/мин; скорость подачи 0,1 мм/об; глубина резания 0,1 мм; СОТС – эмульсол ЭГТ. Режимы определения износостойкости алмазных композиционных материалов при резании абразивных кругов являются общепринятыми [22]. Свойства Мансуровского гранита показаны ниже.

Минералогический состав, %	плагиоклаз – 39;
	калиевый полевой
	шпат – 27;
	кварц – 24;
	мусковит – 8;
	эпидот – 2

Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	2710
Истинная плотность, кг/м <sup>3</sup>	2730
Предел прочности при сжатии породы в сухом состоянии, МПа	169
Снижение прочности при сжатии породы при водонасыщении, %	13
Водопоглощение, %	0,48
Истираемость, г/см <sup>2</sup>	0,4
Потеря прочности горной породы после 100 циклов замораживания–оттаивания, %	17
Морозостойкость: количество циклов попеременного замораживания и оттаивания (марка по морозостойкости)	100 (F100)

После проведения цикла резания геометрическим методом определяли объем снятого обрабатываемого материал и убыль алмазного слоя. Для определения объема снятого материала определяли диаметры заготовок до и после обработки. Для определения убыли алмазного слоя проводили измерение затупления его по задней поверхности на измерительном микроскопе марки УИМ-21. По градуировочному графику, построенному с помощью конструкторской программы «Компас» (рис. 1), рассчитывали его объем. Данные, представленные на рис. 1, аппроксимированы формулой

 $v = 0.0981h^3 + 0.0873h^2 - 0.0082h; R^2 = 1,$ 

где v – объем изношенной части PCD; h – размер износа по задней поверхности, мм; R – коэффициент корреляции.

При установке резца возможна некоторая вариативность угла резания в зависимости от диаметра обраба-



Рис. 1. Зависимость объема снятого алмазного слоя образца PCD резца от размера износа по его задней поверхности для различных углов резания:

 $-20^{\circ}\,(1);\,-22^{\circ}\,(2);\,-25^{\circ}\,(3);$ диаметр образца PCD 13,44 мм; фаска $0,\!4{\times}45^{\circ}$ 

Fig. 1. Dependence of the volume of removed diamond layer of PCD cutter sample on the wear size along its back surface for different cutting angles:

 $-20^{\circ}$  (1);  $-22^{\circ}$  (2);  $-25^{\circ}$  (3); the diameter of the PCD sample is 13.44 mm; chamfer 0.4 mm×45°

тываемой детали, смещения от центра обрабатываемой детали и т. д. Поэтому проведена оценка влияния угла резания на рассчитанные значения объема изношенной части алмазного слоя. Установлено, что при изменении угла резания от 20° до 25° при износе до 0,8 мм отличия в объемах изношенных частей PCD составляют значения, отличающиеся меньше, чем точность измерения размеров износа. Зная объемы и плотности алмазного слоя и обрабатываемого материала, а также длину пути резания, можно получить любые требуемые параметры износостойкости.

На рис. 2 приведены фотографии PCD резцов с площадками износа: на рис. 2, a после испытаний при резании гранита, а на рис. 2,  $\delta$  при резании абразивного круга. Характер износа PCD резцов зависит от материала обработки. При обработке изношенная часть PCD резцов является более рельефной, а при обработке абразивного круга более ровной. На рис. 3 представлены 3D модели изношенных частей PCD резцов с фаской в зависимости от степени износа.



Рис. 2. Площадки износа образца PCD после абразивных испытаний:

a – при резании гранита; <br/>б- при резании абразивного круга марки 64C

Fig. 2. Areas of wear of the PCD sample after abrasive testing: a – when cutting granite,  $\delta$  – when cutting abrasive wheels of 64C grade



*а* – начальный износ; *б* – износ в пределах фаски; *в* – износ в пределах алмазного слоя

Fig. 3. Forms of worn parts of PDC chamfered bits for various degrees of wear: a – initial wear;  $\delta$  – wear within the chamfer; s – wear within the diamond layer

На рис. 4 представлены зависимости размера износа резца по задней поверхности в мм от объема снятого гранита в см<sup>3</sup> при трех скростях резания. Износ 0,7 мм на задней поверхности РСD резца образуется при обработке гранита при скорости резания в 80 м/мин в 12 раз больше по объему, чем при скорости резания 160 м/мин, и в 20 раз больше, чем при скорости резания 320 м/мин.

На рис. 5 представлены зависимости относительной износостойкости PCD резцов от скорости резания при обработке гранита в зависимости от степени затупления режущих элементов. Износостойкость оценивали по отношению расхода объема алмазного слоя PCD резца к объему снятого гранита. Графики рис. 5 получены расчетным методом по аппроксимирующим формулам при математической обработке экспериментальных значений. При резании гранита затупление PCD резцов более 0,8 мм не достигали из-за возникающей вибрции, связанной с увеличением силы резания.

При резании гранита со скоростью 160 м/мин и, особенно, со скоростью 320 м/мин, наблюдается ли-

нейное увеличение относительного износа PCD резцов от степени их затупления. Следовательно, скорость резания гранита режущими элементами PCD не должна превышать 80 – 100 м/мин. На рис. 6 представлены экспериментальные данные зависимости износа PCD от объема снятого гранита при скорости резания 80 м/мин.

Кривые износа PCD резцов, представленные на рис. 6, имеют классический вид [23 – 24], быстрый износ до значения 0,3 мм, затем низкий износ до затупления 0,5 мм и далее снова быстрый катастрофический износ. При скоростях резания в 160 и 320 м/мин износ PCD резцов носит линейный характер в зависимости от объема снятого гранита.

На рис. 7, 8 представлены экспериментальные зависимости по износу PCD резцов при обработке абразивных кругов. Как следует из представленных на рис. 8 данных, относительный расход PCD резцов не зависит от степени затупления до износа 1,4 мм и составляет  $(1,5-2,0)\cdot10^{-6}$ , что примерно в 20 раз больше, чем при резании гранита со скоростью 80 м/мин



Рис. 4. Зависимость износа PCD резца от объема снятого гранита при различных скоростях резания, м/мин: I-80; 2-160; 3-320





Рис. 5. Зависимость съема гранита в относительных единицах от износа PCD резцов при различных скоростях резания, м/мин: I - 80; 2 - 160; 3 - 320





Рис. 6. Зависимость износа PCD от объема снятого гранита при скорости резания 80 м/мин

Fig. 6. Dependence of PCD wear on the volume of removed granite at a cutting speed of 80 m/min



Рис. 7. Зависимость съема абразива от износа PCD по задней поверхности

Fig. 7. Dependence of abrasive removal on PCD wear on the back surface

 $((0,01-0,02)\cdot 10^{-6})$  при степени затупления до 0,8 мм. При этом минимальный относительный расход PCD резцов наблюдается при степени затупления от 0,3 до 0,6 мм (рис. 9).

**Выводы.** В результате изучения процесса резания режущими элементами, изготовленными из алмазных композитов типа PCD, установлено:

увеличение скорости с 80 до 160 м/мин при резании гранита приводит к снижению износостойкости режущих элементов PCD в 12 раз;

– относительный объемный износ PCD резцов при резании гранита со скоростью 80 м/мин составляет  $(0,01-0,02)\cdot10^{-6}$ , что в 20 раз меньше, чем при резании абразивных кругов марки 64С;

– относительная износостойкость PCD резцов при резании абразивных кругов марки 64С не зависит от степени затупления по задней поверхности до значений 1,4 мм. Испытания износостойкости PCD методом



Рис. 8. Зависимость относительного объемного износа PCD при резании абразивного круга от степени износа PCD

Fig. 8. Dependence of the relative volumetric PCD wear on the PCD wear degree at cutting the abrasive wheel



Рис. 9. Зависимость относительного износа PCD при резании гранита от степени износа PCD по задней поверхности

Fig. 9. Dependence of the relative PCD wear on the PCD wear degree on the back surface at granite cutting

точения абразивных кругов марки 64С могут быть рекомендованы в качестве экспресс метода определения износостойкости PCD;

 – реализованный метод расчета убыли объема PCD с помощью программы «Компас 3D» или аналогичных инженерных программ может быть применен для оценки относительной износостойкости абразивных и режущих материалов.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Бессон А., Берр Б., Диллард С. и др. Новый взгляд на режущие элементы буровых долот // Нефтегазовое обозрение. 2002. Весна. С. 4 – 31.
- Scott D.E. The history and impact of synthetic diamond cutters and diamond enhanced inserts on the oil and gas industry // Industrial Diamond Review. 2006. No. 1. P. 48 – 58.

- Konyashin I., Zaitsev A.A., Sidorenko D. etc. On the mechanism of obtaining functionally graded hardmetals // Materials Letters. 2017. Vol. 186. P. 142 – 145.
- Bellin F., Dourfaye A., King W., Thigpen M. Development and application of polycrystalline diamond compact bits have overcome complex challenges from the difficulty of reliably mounting PDC cutters in bit bodies to accelerated thermal wear // World oil. 2010. No. 9. P. 41 – 46.
- Belnap D., Griffo A. Homogenous and structured PDC/WC-Co materials for drilling // Diamond and Related Materials. 2004. 13(10). P. 1914 – 1922.
- Zacny K. Fracture and fatigue of polycrystalline-diamond compacts // Society of Petroleum Engineers. 2012. Vol. 27(1). P. 145 – 157.
- Bellin F., Dourfaye A., King W., Thigren M. The current state of PDC bit technology. Part 1. Development and application of polycrystalline diamond compact bits have overcome complex challenges from the difficulty of reliably mounting PDC cutters in bit bodies to accelerated thermal wear // World Oil. 2010. No. 9. P. 41 – 46.
- García-Marro F., Mestra A., Kanyanta V. etc. Contact damage and residual strength in polycrystalline diamond (PCD)// Diamond and Related Materials. 2016. No. 65. P. 131 – 136.
- Yahiaoui M., Laurent Gerbaud, Jean-Yves Paris etc. A study on PDC drill bits quality // Wear. 2013. Vol. 298 – 299. P. 32 – 41.
- 10. Diamond tools for the oil and gas industry companies Element Six. Available at URL:http://www.intech-diamond.com/almaznyereztsy-dlya-neftyanoj-i-gazovoj-promyshlennosti-kompaniielement-six.html. Accessed 15.04.2016.
- Cutters and performs from polycrystalline diamond (PDC, PCD, TSP) LANDS Superabrasives. Available at URL: http://nbt08.ru/ common/upload/HbT%20pe3ttbi.pdf. Accessed 15.04.2016.
- Сергейчев К.Ф. Алмазные CVD-покрытия режущих инструментов (обзор) // Успехи прикладной физики. 2015. Т. 3. № 4. С. 342 – 376.
- Garcia-Marro F., Mestra A., Kanyanta V. etc. Contact damadge and residual strength inpolycristalline diamond (PCD) // Diamond and related materials. 2016. No. 65. P. 131 – 136.
- Ненашев М.В., Ибатуллин И.Д., Журавлев А.Н., Косулин С.И. Технические средства и методики входного контроля качества

РDС зубков алмазных буровых долот // Известия Самарского НЦ РАН. 2011. Т. 13. № 4(3). С. 835 – 838.

- 15. Шарипов А.Н., Мингазов Р.Р. Долота для бурения по твердым породам // Бурение и нефть. 2012. № 12. С. 21 – 25.
- 16. Трушкин О.Б., Попов А.Н. Выбор долот РDС в соответствии с твердостью и абразивностью горных пород // Территория нефтегаз. 2015. № 6. С. 34 – 38.
- Elyutin A.V., Laptev A.I., Manukhin A.V. etc. Synthesis of polycrystalline carbonado diamonds from pyrographite // Doklady Chemistry. 2001. T. 378. № 4 – 6. C. 160 – 164.
- Лаптев А.И., Атабиев Р.Х., Полушин Н.И. и др. Прочность алмазов при изготовлении алмазного бурового инструмента // Материаловедение. 2013. № 7. С. 40 – 43.
- Durrand C.J., Skeem M.R., Crockett R.B., Hall D.R. Super-yard, thick, shaped PDC cutters for hard rock drilling: Development and test results // Proceedings Thirty-Fifth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University. Stanford, California, 2010. February 1-3. P. 1 – 8. (SGP-TR-188).
- 20. Полушин Н.И., Овчинникова М.С., Сорокин М.Н. Снижение содержания металлов в алмазном слое поликристаллов РСD методом химического и электрохимического травления // Изв. вуз. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2017. № 2. С. 30 34.
- Pat. 20140352228 US. Humphrey Samkelo Lungisani Sithebe, Andrew Ndlovu. Method of processing polycrystalline diamond material. 2014.
- 22. 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 a diamond drilling tool // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. 2017. Vol. 58. No. 2. P. 174 – 179.
- Винников Н.П., Грабченко А.И., Гриценко Э.И. Лезвийный инструмент из сверхтвердых материалов: Справочник. – Киев: Тэхника, 1988. –118 с.
- 24. Обработка резанием деталей с покрытиями / С.А. Клименко, В.В. Коломиец, М.Л. Хейвец и др. – Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2011. – 353 с.

Поступила 16 июня 2017 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY. 2017. VOL. 60. No. 9, pp. 745–751.

### WEAR RESISTANCE OF PCD COMPOSITES USED TO COMPLETE PDC DRILL BITS

## *R.Yu. Kuftyrev*<sup>1</sup>, *N.I. Polushin*<sup>2</sup>, *O.S. Kotel'nikova*<sup>2</sup>, *A.I. Laptev*<sup>2</sup>, *M.N. Sorokin*<sup>2</sup>

# $^1\mathrm{LLC}$ "Factory of Technical Ceramics", Aprelevka, Moscow Region, Russia

### <sup>2</sup> National University of Science and Technology "MISIS" (MISIS), Moscow, Russia

Abstract. The wear resistance of PCD cutting elements of GES 1313 model of E6 in the form of cylinders with a diameter of 13.44 mm and a height of 13 mm was studied when cutting granite and abrasive wheels by turning at various speeds, with determining the optimum cutting speed and obtaining comparative cutting data for Mansurovsky Granite and abrasive wheels of 64C (SiC) grade in order to develop recommendations on the test conditions for PCD cutting elements. For the characteristics of wear resistance, the ratio of the decrease in the volume of diamond layer to the volume of the processed material (or the amount of the processed material) was taken into account for the same degree of wear of the cutting element. In the first case, the wear resistance was estimated in relative units, in the second case in cm3 according to the wear of the back surface in mm. When cutting granite, the cutting speed was changed from 80 to 320 m/min, when cutting abrasive wheels, the cutting speed was 500 m/min. To calculate the volume of PCD cutting elements

in the "Compass 3D" program, 3D models of their worn parts were designed, a calibration plot of the volume versus the wear size on the back cutting surface of the PCD was constructed. The cutting angle was -22°. It was shown that the change in the volume of the worn out part of the PCD is less than accuracy of the wear pad measurement to a wear value of 0.8 mm when the cutting angles varies from -20 to -25. It was found that an increase in the cutting speed from 80 m/min to 160 m/min while cutting granite in 12 times decreases the wear resistance of PCD cutting elements; the relative volume wear of PCD cutters when cutting granite is  $(0.01 - 0.02) \cdot 10^{-6}$ , which is 20 times less than at cutting abrasive wheels of 64C grade. The relative wear resistance of PCD cutters when cutting abrasive wheels of 64C grade does not depend on the degree of blunting on the back surface to 1.4 mm, this technique can be recommended as an express method for determining the wear resistance of PCD. The implemented method with the use of "Compass 3D" program or similar engineering programs to calculate the volume of worn out part of the PCD can be used to estimate the relative abrasion resistance of abrasive and cutting materials.

*Keywords*: PCD cutting element, PDC bit, diamond drill bit, granite cutting, wear resistance, cutting angle, wear parameters, cutting speed.

DOI: 10.17073/0368-0797-2017-9-745-751

### REFERENCES

- 1. Besson A., Berr B., Dillard S., Dreik E., Aivi B., Aivi K., Smit R., Uotson G. A new look at cutting elements of drill bits. *Neftegazovoe obozrenie*. 2002, Vesna, pp. 4–31. (In Russ.).
- Scott D.E. The history and impact of synthetic diamond cutters and diamond enhanced inserts on the oil and gas industry. *Industrial Diamond Review*. 2006, no. 1, pp. 48–58.
- Konyashin I., Zaitsev A.A., Sidorenko D., Levashov E.A., Konischev S.N., Sorokin M., Hlawatschek S., Ries B., Mazilkin A.A., Lauterbach S., Kleebe H.-J. On the mechanism of obtaining functionally graded hardmetals. *Materials Letters*. 2017, vol. 186, pp. 142–145.
- Bellin F., Dourfaye A., King W., Thigpen M. Development and application of polycrystalline diamond compact bits have overcome complex challenges from the difficulty of reliably mounting PDC cutters in bit bodies to accelerated thermal wear. *World oil.* 2010, no. 9, pp. 41–46.
- Belnap D., Griffo A. Homogenous and structured PDC/WC-Co materials for drilling. *Diamond and Related Materials*. 2004, vol. 13, Issue 10, pp. 1914–1922.
- Zacny K. Fracture and fatigue of polycrystalline-diamond compacts. Society of Petroleum Engineers. 2012, vol. 27, no. 1, pp. 145–157.
- Bellin F., Dourfaye A., King W., Thigren M. The current state of PDC bit technology. Part 1. Development and application of polycrystalline diamond compact bits have overcome complex challenges from the difficulty of reliably mounting PDC cutters in bit bodies to accelerated thermal wear. *World Oil*. 2010, no. 9, pp. 41–46.
- García-Marro F., Mestra A., Kanyanta V., Maweja K., Ozbayraktar S., Llanes L. Contact damage and residual strength in polycrystalline diamond (PCD). *Diamond and Related Materials*. 2016, no. 65, pp. 131–136.
- Yahiaoui M., Laurent Gerbaud, Jean-Yves Paris, Jean Denape, Alfazazi Dourfaye. A study on PDC drill bits quality. *Wear*. 2013, vol. 298-299, pp. 32–41.
- Diamond tools for the oil and gas industry companies Element Six. Available at URL: http://www.intech-diamond.com/almaznye-reztsy-dlya-neftyanoj-i-gazovoj-promyshlennosti-kompanii-elementsix.html. Accessed 15.04.2016;
- Cutters and performs from polycrystalline diamond (PDC, PCD, TSP) LANDS Superabrasives. Available at URL: http://nbt08.ru/ common/upload/HБТ%20резцы.pdf. Accessed 15.04.2016.
- Sergeichev K.F. Diamond CVD coatings for cutting tools (overview). Uspekhi prikladnoi fiziki. 2015, vol. 3, no. 4, pp. 342–376. (In Russ.).
- Garcia-Marro F., Mestra A., Kanyanta V., Maweja K., Ozbayraktar S., Llanes L. Contact damage and residual strength in polycristalline diamond (PCD). *Diamond and related materials*. 2016, no. 65, pp. 131–136.
- Nenashev M.V., Ibatullin I.D., Zhuravlev A.N., Kosulin S.I. Technical means and techniques for incoming quality control of PDC teeth of diamond drill bits. *Izvestiya Samarskogo NTs RAN*. 2011, vol. 13, no. 4(3), pp. 835–838. (In Russ.).
- 15. Sharipov A.N., Mingazov R.R. Drill bits for hard rock. *Burenie i neft*'. 2012, no. 12, pp. 21–25. (In Russ.).

- Trushkin O.B., Popov A.N. Choice of PDC bits in accordance to hardness and abrasiveness of rocks. *Territoriya neftegaz.* 2015, no. 6, pp. 34–38. (In Russ.).
- Elyutin A.V., Laptev A.I., Manukhin A.V., Sannikov D.S., Kryukova L.M. Synthesis of polycrystalline carbonado diamonds from pyrographite. *Doklady Chemistry*. 2001, vol. 378, no. 4-6, pp. 160–164.
- Laptev A.I., Atabiev R.Kh., Polushin N.I., Elyutin A.V., Perfilov S.A., Tleuzhev A.B., Kushkhabiev A.S. Durability of diamonds at manufacture of diamond drilling tools. *Materialovedenie*. 2013, no. 7, pp. 40–43. (In Russ.).
- Durrand C.J., Skeem M.R., Crockett R.B., Hall D.R. Super-yard, thick, shaped PDC cutters for hard rock drilling: Development and test results. In: *Proceedings Thirty-Fifth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University. Stanford, California,* 2010. February 1-3, pp. 1–8. (SGP-TR-188).
- 20. Polushin N.I., Ovchinnikova M.S., Sorokin M.N. Reduction of metal content in diamond layer of PCD polycrystals by the chemical and electrochemical etching method. *Izv. Vuz. Poroshkovaya metallurgiya i funktsional'nye pokrytiya.* 2017, no. 2, pp. 30–34. (In Russ.).
- Humphrey Samkelo Lungisani Sithebe, Andrew Ndlovu. Method of processing polycrystalline diamond material. Patent 20140352228 (US). 2014.
- 22. 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 a diamond drilling tool. *Russian Journal of Non-Ferrous Metals*. 2017, vol. 58, no. 2, pp. 174–179.
- Vinnikov N.P., Grabchenko A.I., Gritsenko E.I. *Lezviinyi instrument* iz sverkhtverdykh materialov: Spravochnik [Blade tool of superhard materials: Handbook]. Kiev: Tekhnika, 1988, 118 p. (In Russ.).
- 24. Klimenko S.A., Kolomiets V.V., Kheivets M.L., Pilipenko A.M., Mel'niichuk Yu.A., Burykin V.V. Obrabotka rezaniem detalei s pokrytiyami [Cutting of parts with coatings]. Kiev: ISM im. V.N. Bakulya NAN Ukrainy, 2011, 353 p. (In Russ.).
- Acknowledgements. The work was carried out within the framework of the federal project "Research and development for priority areas of development of scientific and technological complex of Russia for 2014 – 2020 years "under" Development technologies for obtaining nanostructured materials for carrier substrates with high impact strength" agreement on granting subsidy No. 14.579.21.0093 from 27.07.2015 (the unique identifier of the agreement is RFMEFI57915X0093) for the complex project "Development technology for manufacturing high-performance bits for horizontal and inclined drilling for the oil and gas industry".

#### Information about the authors:

### R.Yu. Kuftyrev, Head of Technological Department

**N.I. Polushin**, Cand. Sci. (Eng.), Head of the Laboratory "Superhard Materials"

**O.S. Kotel'nikova**, Engineer of the Laboratory "Superhard Materials" **A.I. Laptev**, Dr. Sci. (Eng.), Leading Researcher of the Laboratory "Superhard Materials" (laptev@misis.ru)

**M.N. Sorokin,** Senior Researcher of the Laboratory "Superhard materials"

Received June 16, 2017