

УДК 621.891

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АЛМАЗНОГО ИНСТРУМЕНТА С УПРОЧНЕННОЙ УДПА СВЯЗКОЙ НА ОСНОВЕ М2-01

© 2024 М.Н. Сафонова, А.А. Федотов

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия

Статья поступила в редакцию 14.19.2024

Непосредственному практическому использованию алмазных порошков предшествует процедура установления значений их эксплуатационных свойств и характеристик, результаты оценки стабильности режущих кромок композиционных материалов абразивного назначения в одинаковой мере важны как для производителей порошков, так и для их потребителей. Производительность работы шлифовальных инструментов во многом зависит от степени использования режущих свойств зерен. В работе показано, что КАМ на основе оловянистой бронзы, упрочненной УДПА, обладает хорошим алмазоудержанием, а работа абразивного материала происходит в режиме самозатачивания

*Ключевые слова:* Композиционные материалы, ультрадисперсные алмазы, металлическая связка, механизмы формирования, механизмы упрочнения, порошковая металлургия.

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-4(3)-452-456

EDN: PETIAF

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время большой интерес вызывает изучение наноструктурированных материалов, среди которых особое место занимают кластеры углерода. Разнообразие принципиально новых свойств этих материалов позволяет использовать их для качественно новых приложений в различных отраслях промышленности, в том числе и при разработке алмазных инструментов. Введение небольшого количества ультрадисперсных добавок позволяет улучшить механические и эксплуатационные свойства материалов.

Учитывая, что на гранильных предприятиях РС(Я) при обработке алмаза в бриллианты и предприятиях по производству алмазных порошков образуется значительное количество отходов алмазного сырья микронных размерностей, большой интерес представляет изучение влияния добавок частиц природного алмаза микро- и ультрадисперсного диапазона размерностей на свойства композиционного материала. Вопросы экономически выгодного использования такого невостребованного алмазного сырья микронных размерностей являются достаточно актуальными. Проведенная работа расширяет известные подходы к решению данной задачи.

*Сафонова Мария Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Прикладная механика и строительное материаловедение».*

*E-mail: marisafon\_2006@mail.ru*

*Федотов Андрей Андреевич, старший преподаватель кафедры «Прикладная механика и строительное материаловедение». E-mail: fedot\_andrey@mail.ru*

**Цель работы** – повышение физико-механических и эксплуатационных свойств металлической матрицы, применяемой в алмазных инструментах, при помощи добавления ультрадисперсных порошков природного алмаза.

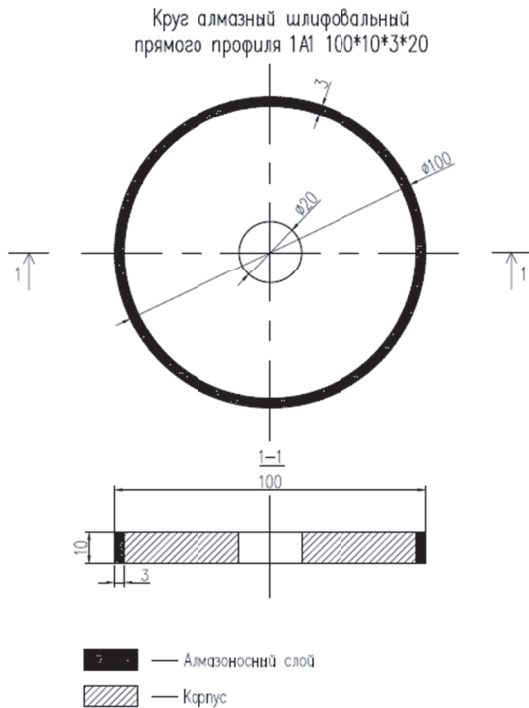
### ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе исследовались шлифовальные круги с алмазосодержащим слоем из спеченного сплава на основе разработанного КАМ, изготовленные методами порошковой металлургии.

### МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Проведены испытания шлифовальных кругов с алмазосодержащим слоем из спеченного сплава на основе разработанного КАМ типа 1А1 100\*10\*3\*20 [1,3,4] диаметром 100 мм с 50 и 100%-ой концентрацией шлифпорошков в рабочем слое (рис. 1), и шлифовальный круг типа 12А2-45° [1,3,5] 100x5x3x32 с 100%-ой концентрацией алмазосодержащего слоя (рис. 2). Апробация осуществлялась на обточных станках при одинаковых условиях испытания для всех кругов: эффективная мощность шлифования 0,4 кВт, скорость вращения круга от 20 до 40 м/с, продольную подачу от 0,1 до 3,0 м/мин., поперечную подачу от 0,05 до 1,0 мм/дв.х.

Шлифование производилось с охлаждением с целью повышения производительности в более жестких условиях обработки и уменьшения вероятностей термического повреждения контртела. В качестве охлаждающих жидкостей использован 3% содовый раствор и 2-3% эмульсия «Аквол 10».



**Рис. 1.** Схема шлифовального круга типа 1А1 100\*10\*3\*20 диаметром 100 мм с модифицированной связкой УДПА М2-01

Работоспособность алмазного инструмента зависит от износостойкости, эффективности работы, качества обработанной поверхности и характеризуется эксплуатационными показателями как удельный расход абразива, производительность и шероховатость обработанной поверхности.

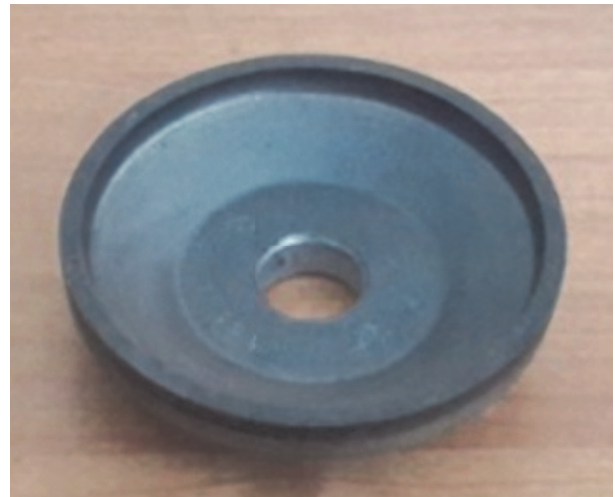
Известно, что, повышение работоспособности инструмента реализуется условиями эксплуатации и правильным выбором характеристик инструмента, т.е. параметрами разработки и изготовления КАМ из которого разрабатывается алмазный инструмент.

Для определения режущих свойств алмазного инструмента, на основе разработанного КАМ с упрочненной УДПА связкой на основе М2-01 были определены линейный износ  $\Delta h$  и относительный расход алмазов  $q_p$  в зависимости от содержания упрочняющего наполнителя и силы прижима круга  $F$  при обработке минерального контр-тела.

Относительный расход алмазного порошка в определяли как отношение массы израсходованных шлифпорошков СТМ к массе сошлифованного материала, в соответствии с ГОСТ 16181-82 [1]:

$$q_p = 200 \Delta h p / S m, \quad (1)$$

где  $\Delta h$  – линейный износ круга, мкм;  $p$  – масса абразивного порошка в круге в каратах; 200 – масса одного карата, мг;  $S$  – толщина рабочего



**Рис. 2.** Экспериментальный шлифовальный круг типа 12А2-45° 100х5х3х32 с 100 %-ой концентрацией алмазосодержащего слоя с модифицированной связкой УДПА на основе М2-01

слоя круга в исходном состоянии, мкм;  $m$  – масса инструментального материала, сошлифованного за время испытания, г.

Производительность шлифования  $Q$  определяли, как произведение подачи на врезание  $a_e$  [мм], скорости перемещения детали  $V_w$  [мм] и ширины шлифования  $B$  [мм]:

$$Q = a_e * V_w * B \text{ [мм}^3\text{/мин}^2\text{]} = \text{мм}^3\text{/мин} \quad (2)$$

Шероховатость обработанной поверхности инструментальных материалов оценивали по следующим параметрам:

- среднего арифметического отклонения профиля микронеровностей,  $R_a$ , мкм;
- максимальной высоты микронеровностей,  $R_{max}$ , мкм;
- среднего шага микронеровностей по базовой линии,  $S_m$ , мкм [6,7].

Шероховатость обрабатываемых поверхностей контролировалась с помощью профилометра-профилографа модели SurfTest SJ-201 фирмы Mitutoyo (Япония), подключенного к компьютеру. Результаты показателей шероховатости обработанных поверхностей и определения эксплуатационных характеристик приведены в таблицах 1 и 2.

Наблюдалось, что исследованные круги с упрочненной связкой работали в режиме самозатачивания и не требовали дополнительного вскрытия.

По результатам испытаний кругов с алмазосодержащим слоем на износостойкость можно утверждать, что при одинаковых режимах эксплуатации круги с добавлением УДПА в алмазосодержащий слой имеют меньшую интенсивность износа. Следовательно, инструмент с алмазосодержащим слоем с добавлением УДПА имеет больший ресурс.

**Таблица 1.** Результаты испытания кругов 1A1 100\*10\*3\*20 диаметром 100 мм

Состав алмазоносного слоя	Толщина алмазоносного слоя до испытаний, мм	Толщина алмазоносного слоя после испытаний, мм	Линейный износ, мм	Путь трения, км	Производительность, мм <sup>3</sup> /мин	Удельный расход алмаза, мг/г	Шероховатость обработанной поверхности (минерал) мкм	
	$h_1$	$h_2$	$\Delta h$				Исходная	Конечная
M2-01+6%ППА 315/250	3,03	2,96	0,07	11,99	150	2,43	1,65	0,63
M2-01+6%ППА 315/250+2%УДПА	3,02	2,99	0,03		210	0,87	1,59	0,44
M2-01+6%ППА 315/250+3%УДПА	3,02	2,98	0,04		185	0,93	1,63	0,49

**Таблица 2.** Испытания круга 12A2-45° 100\*32\*5\*3\*20 диаметром 100 мм

Состав алмазоносного слоя	Высота алмазоносного слоя до испытаний, мм	Высота алмазоносного слоя после испытаний, мм	Линейный износ, мм	Путь трения, км	Производительность, мм <sup>3</sup> /мин	Удельный расход алмаза мг/г	Шероховатость обработанной поверхности (минерал) мкм	
	$h_1$	$h_2$	$\Delta h$				Исходная	Конечная
M2-01+6%ППА 315/250	3,01	2,95	0,06	11,994	200	1,195	1,61	0,62
M2-01+6%ППА 315/250+2%УДПА	3,01	2,98	0,03		310	0,430	1,61	0,39
M2-01+6%ППА 315/250+3%УДПА	3,01	2,97	0,04		292	0,459	1,61	0,41

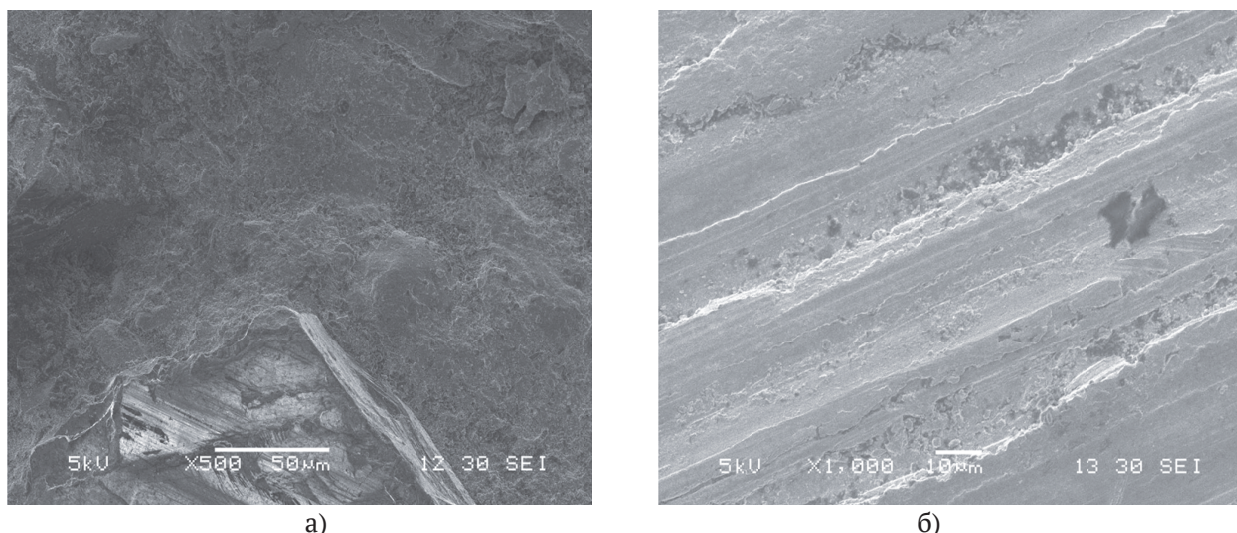
Испытания экспериментального инструмента показали целесообразность использования, разработанного КАМ, установлено, что шлифовальные круги из предложенного материала удовлетворяют требованиям, предъявляемым к данным изделиям. Испытуемые партии алмазных шлифовальных кругов с дисперсно-упрочненной УДПА связкой имеющих повышенный до двух раз ресурс без значительного увеличения стоимости и изменения технологической цепочки производства показали экономический эффект, состоящий в том, что снижается интенсивность изнашивания и, следовательно, увеличивается срок службы инструмента.

Исследованные алмазные круги с модифицированной УДПА связкой работали в режиме самозатачивания, качество обработанной поверхности, оцененное визуально и с помощью фрактографических исследований, хорошее (рис.3а) по сравнению с прототипом (рис.3б). На основе триботехнических и фрактографических исследований выявлено, что инструмент без модификации УДПА связки наиболее склонен к процессу засаливания.

Инструменты из КАМ на основе оловянистой бронзы с модифицированной дисперсно-упрочненной УДПА связкой характеризуются более высокими показателями износостойкости (низким удельным расходом алмаза), эффективности и стабильности (высокой производительностью и качеством обработанной поверхности) по сравнению с инструментом на основе КАМ, без модификации связки.

### ВЫВОДЫ

1. Выявлено, что добавка мелкодисперсных алмазных частиц в количестве 1-3% в металлическую матрицу положительно влияет на качество получаемых композиционных материалов. Повышаются плотность, твердость, прочность и износостойкость, уменьшается пористость материалов, что позволяет прогнозировать улучшение эксплуатационных показателей работы изготовленного из них алмазного инструмента. При увеличении их концентрации при спекании происходит графитизация алмазных частиц, что способствует снижению проч-



**Рис. 3.** РЭМ-снимки поверхностей трения инструмента:

а) - на основе КАМ составом М2-01+6%ППА 315/250+2%УДПА; б) - М2-01+6%ППА 315/250

ности и износостойкости материала вследствие увеличения количества и размеров пор в материале. Наилучшие показатели результатов испытаний имели композиты с содержанием 2-3 % (вес.) ультрадисперсного порошка природного алмаза.

2. Разработан композиционный алмазо-содержащий материал на основе оловянистой бронзы М2-01 и порошка природного алмаза зернистостью 315/250, упрочненной ультрадисперсными порошками природного алмаза с улучшенными физико-механическими свойствами и эксплуатационными свойствами, износостойкость которого более, чем в три раза превышает износостойкость известных аналогов.

3. На основе фрактографических исследований и измерения шероховатости поверхности трения показано, что КАМ на основе оловянистой бронзы, упрочненной УДПА, обладает хорошим алмазоудержанием, а работа абразивного материала происходит в режиме самозатачивания.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 16181-82 (СТ СЭВ 2898-81) Круги алмазные шлифовальные: введен с 01.17.83. взамен ГОСТ 16181-70.
2. Попов С.А. Шлифовальные работы: учеб. для проф. учеб. заведений / С.А. Попов. – М.: Изд-во Высшая школа, 1999. – 384 с.
3. ГОСТ 24747-90 (СТ СЭВ 675-89) Инструмент алмазный и эльборовый: обозначения форм и размеров: введен с 01.01.91.
4. ГОСТ 16167-90 (ИСО 6168-80) Круги алмазные шлифовальные плоские прямого профиля формы 1А1. Основные размеры: введен 01.01.92.
5. ГОСТ 16172-90 (ИСО 6168-80, СТ СЭВ 404-77) Круги алмазные шлифовальные чашечные конические формы 12А2 с углом 45 град. Основные размеры: введен 01.01.92.
6. Шиц, Е.Ю. Технологические аспекты создания абразивного инструмента на алмазосодержащей полимерной основе / Е.Ю. Шиц, Е.С. Семенова, В.В. Корякина // Химическая технология. – 2010. – №11. – С. 677-683.

## STUDY OF TRIBOTECHNICAL CHARACTERISTICS OF DIAMOND TOOLS WITH A STRENGTHENED UDPA BOND BASED ON M2-01

© 2024 M.N. Safonova, A.A. Fedotov

M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

The direct practical use of diamond powders is preceded by the procedure for establishing the values of their operational properties and characteristics, the results of assessing the stability of the cutting edges of composite abrasive materials are equally important for both powder manufacturers and their consumers. The performance of grinding tools largely depends on the degree of use of the cutting properties of the grains. The paper shows that KAM based on tin bronze reinforced with UDPA has good diamond retention, and the abrasive material operates in self-sharpening mode.

**Keywords:** Composite materials, ultra-dispersed diamonds, metal bond, formation mechanisms, strengthening mechanisms, powder metallurgy.

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-4(3)-452-456

EDN: PETIAF

#### REFERENCES

1. GOST 16181-82 (СТ SEV 2898-81) Krugi almaznye shlifoval'nye: vveden s 01.17.83. vzamen GOST 16181-70.
2. Popov S.A. Shlifoval'nye raboty: ucheb. dlya prof. ucheb. zavedenij / S.A. Popov. – M.: Izd-vo Vysshaya shkola, 1999. – 384 s.
3. GOST 24747-90 (ST SEV 675-89) Instrument almaznyj i el'borovyj: oboznacheniya form i razmerov: vveden s 01.01.91.
4. GOST 16167-90 (ISO 6168-80) Krugi almaznye shlifoval'nye ploskie pryamogo profilya formy 1A1. Osnovnye razмеры: vveden 01.01.92.
5. GOST 16172-90 (ISO 6168-80, ST SEV 404-77) Krugi almaznye shlifoval'nye chashechnye konicheskie formy 12A2 s uglom 45 grad. Osnovnye razмеры: vveden 01.01.92.
6. Shic, E.YU. Tekhnologicheskie aspekty sozdaniya abrazivnogo instrumenta na almazosoderzhashchej polimernoj osnove / E.Yu. Shic, E.S. Semenova, V.V. Koryakina // Himicheskaya tekhnologiya. – 2010. – №11. – S. 677-683.

---

*Maria Safonova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Mechanics and Construction Materials Science.*

*E-mail: marisafon\_2006@mail.ru*

*Andrey Fedotov, Senior Lecturer of the Department of Applied Mechanics and Construction Materials Science.*

*E-mail: fedot\_andrey@mail.ru*