

А.И. Грабченко, д.т.н., профессор, И.Н. Пыжов, д.т.н., профессор

*Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»*

В.Г. Клименко, ассистент

*Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка*

## ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПРАВЯЩИХ АЛМАЗНЫХ КАРАНДАШЕЙ

*Рассмотрены некоторые вопросы, связанные с возможностью повышения эффективности производства и использования правящих алмазных карандашей за счет изменения технологии их изготовления и упрощения предварительного отбора исходных поликристаллов алмаза.*

**Ключевые слова:** алмазный правящий карандаш, металлическое покрытие, микротвердость, абразивная способность, косвенный критерий оценки.

**Постановка проблемы.** Правка абразивных кругов является одной из наиболее распространенных областей использования алмазов. Известно, что под правкой понимают процесс целенаправленного влияния на рабочую поверхность круга (РПК) с целью придания последней необходимой геометрической формы, а также создания требуемых параметров режущего рельефа РПК. В настоящее время для решения этой задачи широко применяются алмазные правящие карандаши и прежде всего применительно к особенно ответственным технологическим операциям шлифования. В то же время использование для изготовления карандашей синтетических поликристаллов алмаза (которые значительно дешевле природных) позволяет решать поставленные задачи даже на черновых этапах. Сегодня рынок уже имеет значительное число различных типов алмазных карандашей (ГОСТ 607-80). Разработки, связанные с созданием новых марок поликристаллов алмазов, усовершенствованием конструкций алмазных карандашей, а также технологий их изготовления и эксплуатации, продолжаются и в настоящее время. В связи с этим исследования в данной предметной области следует считать важными и актуальными для промышленности.

**Анализ последних исследований с выделением не решенных ранее частей общей проблемы.** Основным преимуществом алмазной правки принято считать возможность минимизации усилий воздействия на РПК, что в сочетании с высокой абразивной способностью алмаза способствует получению высоких значений точности профиля круга, требуемого состояния микрорельефа РПК и в конечном итоге повышению общего срока службы абразивного круга.

Согласно ГОСТ 607-80 абразивная способность алмазных карандашей оценивается с помощью удельной производительности  $Q$  (см<sup>3</sup>/мГ), значение которой определяется по выражению [1, 2]

$$Q = \frac{V_a}{P_a}, \quad (1)$$

где  $V_a$  – объем абразива, снятого при правке круга, см<sup>3</sup>;  $P_a$  – вес алмаза, израсходованного при правке алмаза, мГ.

Значения параметров  $V_a$  и  $P_a$ , входящих в формулу (1), определяются экспериментальным путем, для чего требуются достаточно продолжительные испытания.

Некоторые исследователи предлагают использовать для оценки абразивной способности алмаза критерий  $K_a$ , определяемый как отношение массы снятого абразива к

массе алмаза, израсходованного при правке (г/мг) [3]. Для случая правки кругов из эльбора авторы работы [4] в качестве критерия оценки абразивной способности используют такое понятие, как удельный расход алмаза ( $\text{мг/см}^3$ ), т.е. критерий, обратный удельной производительности  $Q$ .

В целом же, удельную производительность  $Q$  следует считать прямым и достаточно эффективным критерием оценки абразивной способности алмазного карандаша, особенно из природного алмаза. Главными недостатками этого критерия следует считать необходимость проведения длительных испытаний на уже готовом карандаше. При этом не исключается возможность отбраковки уже готового карандаша, что экономически нецелесообразно. Последнее обстоятельство связано с тем, что поликристаллы синтетического алмаза имеют значительный разброс физико-механических свойств [5] и весьма желательно иметь эффективный метод контроля их качества еще до изготовления карандаша.

В работах [1] и [3] предложены некоторые варианты решения данного вопроса. Одним из них является использование плотности алмазного поликристалла в качестве косвенного критерия оценки абразивной способности. На это впервые указано в работе акад. Л.Ф. Верещагина [3]. Для определения плотности использовали смесь жидкости Клеричи с водой, а плотность таких растворов определяли с помощью реперов плотности. Установлено, что плотность изученных алмазных агрегатов с микроструктурой карбонадо колеблется в пределах  $\rho=3,69 - 3,93 \text{ г/см}^3$ . При этом абразивная способность, оцениваемая с помощью отмеченного выше критерия  $K_a$ , может меняться в широких пределах (см. рис. 1).

Как видно из рисунка 1, наибольшие значения критерия  $K_a$  имеют место при значениях  $\rho=3,72 - 3,76 \text{ г/см}^3$ . Сама же зависимость  $K_a=f(\rho)$  имеет достаточно сложный характер. Метод требует значительной трудоемкости предварительной подготовки синтетических поликристаллических алмазов (СПА) и последующего определения  $\rho$ . Это позволяет сделать вывод о том, что определение абразивной способности алмаза с помощью такого косвенного критерия, как его плотность представляет определенные трудности, особенно в производственных условиях.

В работе [1] для определения абразивной способности алмаза выбран другой косвенный критерий – микротвердость СПА, величина которой измерялась с помощью трехгранного индентора Берковича. Обработка этих данных позволила представить приведенные результаты исследований по влиянию микротвердости синтетического алмаза АСБ на его абразивную способность (удельную производительность  $Q$ ) в виде графика (рис. 2).

Эти данные свидетельствуют о том, что между микротвердостью  $H_a$  и удельной производительностью  $Q$  существует тесная связь.

Подводя итоги этих исследований, можно сделать вывод о том, что и данный метод определения абразивной способности алмаза не является идеальным. С одной стороны, он трудоемкий, что связано с наличием металлических включений, различной ориентации кристаллитов и др., а с другой – дорогой, т.к. используются индентора из природного алмаза, срок службы которых, при измерении микротвердости СПА равных по твердости материалу измерительного наконечника, весьма невелик. Таким образом, применение и этого метода в условиях производства также весьма затруднено.

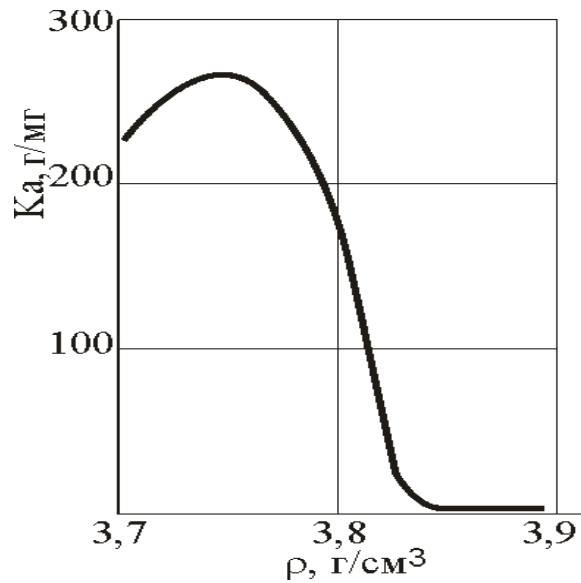


Рисунок 1 – Зависимость  $K_a = f(\rho)$  [3]

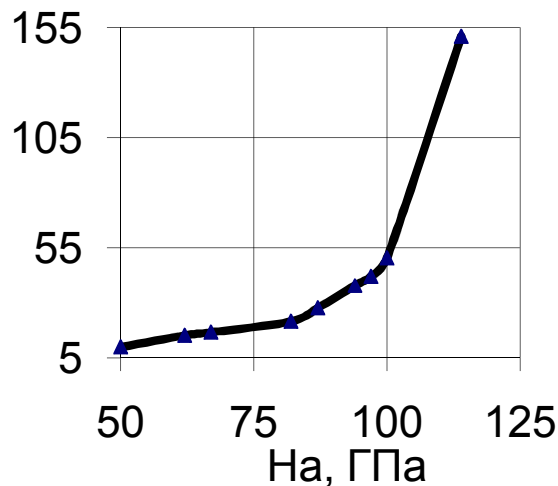


Рисунок 2 – Зависимость  $Q = f(H_a)$  [1]

Анализ литературных источников показал, что вопрос защищенности алмаза от температурного воздействия рассматривается в основном применительно к выбору припоев или состава смеси для закрепления алмазов методом прессования с определенной рабочей температурой. Однако возможности такого подхода весьма ограничены, поскольку низкотемпературные припои, как правило, недостаточно прочно удерживают алмаз, а сами подвержены повышенному абразивному износу.

Таким образом, на основании анализа литературных данных можно сделать вывод о том, что к настоящему времени ряд вопросов, относящихся к повышению эффективности использования алмазных правящих карандашей, остается открытым. Сюда можно отнести сравнительно невысокий коэффициент использования алмазов (что связано с их недостаточно надежным удержанием в державке), неудовлетворительный уровень защищенности алмазов при высокотемпературных режимах запрессовки или запайки, отсутствие экспресс-методов оценки абразивной способности поликристаллов еще на этапе их отбора и др. Особенно это относится к карандашам на основе синтетических поликристаллических алмазов. Это связано, с одной стороны, с тем, что их удельный вес постоянно растет в связи с дефицитностью природного сырья, а с другой

– еще не совсем удовлетворительным уровнем стабильности их физико-механических свойств и наличием значительного количества металлической фазы в их составе. Последнее обстоятельство в условиях высоких температур может привести даже к разрушению алмазных поликристаллов ввиду существенной разницы в значениях коэффициентов линейного расширения алмаза и металлической фазы. В связи с этим необходимо провести теоретико-экспериментальные исследования, которые позволили бы найти технические решения, обеспечивающие повышенные эксплуатационные характеристики алмазных карандашей еще на этапе их изготовления.

**Цель исследования.** Целью настоящей работы является проведение исследований и выработка на их основе технических решений, обеспечивающих повышение эффективности использования алмазных правящих карандашей еще на этапе их изготовления.

**Изложение основного материала исследования.** Выполненные исследования и опыт применения алмазных правящих карандашей позволили предложить экспресс-способ оценки абразивной способности СПА и усовершенствовать технологию изготовления карандашей на их основе. Суть данных предложений иллюстрируется рисунками 3 и 4.

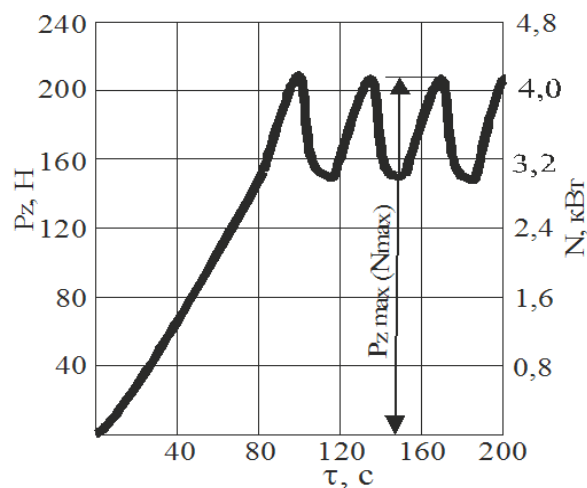


Рисунок 3 – График зависимостей  $P_z=f(\tau)$  и  $N=f(\tau)$

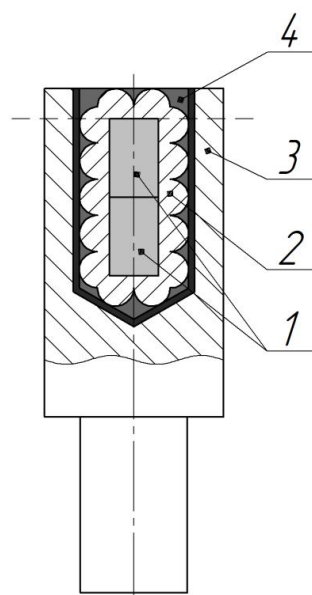


Рисунок 4 – Алмазный карандаш:

1 – СПА; 2 – покрытие; 3 – державка; 4 – припой (связка)

Особенность экспресс-метода заключается в том, что абразивную способность СПА определяют не путем правки им абразивного круга, а, наоборот, путем шлифования его самого алмазным чашечным кругом на органической связке. В качестве косвенного критерия оценки при этом используют удельные значения одного из выходных показателей процесса шлифования: мощности шлифования, тангенциальной или нормальной составляющих силы резания. В последнем случае удобно оперировать понятием давления в контакте. Из перечисленных выше показателей обработки в качестве косвенного критерия оценки абразивной способности нами выбрана удельная мощность  $N_{уд.}$ , величина которой рассчитывается по формуле

$$N_{уд.} = \frac{N_{max}}{S_{СПА}}, \quad (2)$$

где  $N_{уд.}$  – удельное значение мощности шлифования, кВт/см<sup>2</sup>;  $N_{max}$  – максимальное значение эффективной мощности шлифования, кВт;  $S_{СПА}$  – площадь рабочей поверхности алмазного поликристалла, см<sup>2</sup>.

Естественно, что для упрощения испытаний следует использовать образцы СПА, форма которых позволяет выдерживать в процессе шлифования условие  $S_{СПА} = const$ .

Теоретической основой для разработки способа послужила установленная ранее [6] закономерность процесса шлифования СПА, которая заключается в периодичности самозатачивания алмазного круга, а следовательно, и изменения значений выходных показателей обработки во времени  $\tau$ , что достаточно наглядно иллюстрируется осциллограммой, приведенной на рис. 3. В данном случае это характерная картина изменения во времени тангенциальной силы  $P_z$ , а следовательно, и мощности  $N$  шлифования СПА марки АСБ алмазным кругом на органической связке (масштабы этих величин выбраны таковыми, что их графики совпадают). Оптимальной характеристикой круга для реализации способа является 12А2 45°150х20х3х32 АС4 125/100 100% на наиболее распространенной связке В2-01. Испытания могут проводиться на заточном станке, оснащенном механизмом автоматической поперечной подачи и динамометром или ваттметром. Максимальное значение тангенциальной силы  $P_{z\ max}$ , а следовательно, и мощности  $N_{max}$  отвечают моменту самозатачивания круга, процесс которого во времени протекает периодически, причем в пределах реальных значений поперечной подачи ( $S_{non.} = 0,005–0,03$  мм/дв. ход) максимальные значения сил и мощности остаются неизменными [6], т.е. не зависят от величины  $S_{non.}$ .

Установлено, что при неизменных условиях обработки абсолютные значения тангенциальной силы  $P_z$  и мощности  $N$  шлифования СПА главным образом зависят от микротвердости последних и площади их контакта с РПК. Следовательно, для оценки абразивной способности СПА нужно использовать не абсолютное значение параметра (в данном случае мощности), а отнесенное к площади контакта поликристалла с РПК. При этом принципиально важно оперировать максимальной величиной мощности, значение которой, как было отмечено выше, в определенном диапазоне  $S_{non.}$  не зависит от величины этой подачи.

Следует особо подчеркнуть еще одну очень важную особенность такого подхода к оценке абразивной способности СПА. Она заключается в том, что в данном случае используется как бы интегральное значение микротвердости СПА, что дает стабильные значения выходного показателя обработки, а следовательно, и косвенного критерия (например,  $N_{уд.}$ ).

Выбор удельной мощности шлифования в качестве косвенного критерия оценки абразивной способности СПА объясняется тем, что абсолютное значение мощности  $N$  может быть установлено непосредственно (с помощью ваттметров, что легко реализо-

вать в условиях производства). Кроме этого, оно может быть рассчитано на основе измеренного значения тангенциальной составляющей силы резания по известной зависимости

$$N_{\max} = \frac{P_{z \max} \cdot V_k}{1020}, \quad (3)$$

где  $V_k$  – скорость круга, м/с.

Для реализации способа в лабораторных условиях производили шлифование пяти образцов алмазного поликристалла АСБ цилиндрической формы ( $\sim \varnothing 4,5$ ), микротвердость которых была заранее известна, до появления регулярных во времени пульсаций тангенциальной силы (для ее измерения использовали динамометр УДМ-300) и устанавливали максимальное эффективное значение тангенциальной составляющей силы резания  $P_{z \max}$ . Условия шлифования: круг 12А2 45°150x20x3x32 АС4 125/100 100% В2-01,  $V_k = 20,4$  м/с,  $S_{np} = 1$  м/мин,  $S_{non} = 0,01$  мм/дв. ход, СОТС – 3-процентный содовый раствор в воде. Данные, приведенные на рисунке 3, отражают результаты эксперимента № 2 (см. таблицу 1).

**Таблица 1 – Зависимость  $N_{уд.}$  и  $Q$  от  $H_{СПА}$**

№ п/п	1	2	3	4	5
$H_{СПА}$ , ГПа	110	105	100	95	80
$N_{уд.}$ , кВт/см <sup>2</sup>	30,0	26,0	23,0	22,0	15
$Q$ , см <sup>3</sup> /мГ	140	60	50	40	20

При этом значения мощности шлифования являются расчетными (см. формулу (3)). Согласно этим данным имеем, что  $N_{max} = 4,2$  кВт. Тогда  $N_{уд.} = N_{max} / S_{СПА} = 4,2 / 0,16 \approx 26$  кВт/см<sup>2</sup>. Результаты экспериментов приведены в таблице 1. Они свидетельствуют о существенной зависимости удельной мощности от микротвердости поликристалла ( $H_{СПА}$ ), а следовательно, такой показатель, как  $N_{уд.}$  может быть использован в качестве косвенного критерия для оценки абразивной способности СПА. Применительно к алмазным правящим карандашам его значение, например, должно составлять  $N_{уд.} \geq 20$  кВт/см<sup>2</sup>. При этом удельная производительность карандашей будет отвечать требованиям ГОСТ 607-80.

Суть изменения технологии изготовления алмазных карандашей состоит в предварительном нанесении на СПА толстослойных рельефных металлических покрытий [7]. Роль покрытия при изготовлении алмазного карандаша многоцелевая. С одной стороны, оно способствует увеличению силы удержания СПА в державке карандаша как за счет лучшего сцепления алмаза с покрытием в сравнении со связкой (припоем), так и за счет увеличения общей площади поверхности покрытого СПА. Во-вторых, в условиях воздействия на СПА высоких значений сил и температур (при их закреплении в державке карандаша) оно предотвращает возможное растрескивание и разрушение поликристалла алмаза [8]. Для карандашей типа 01 (ГОСТ 607-80), в которых алмазные поликристаллы расположены цепочкой, их предложено предварительно соединять, например, склеиванием цепочкой в блок, после чего наносить на этот блок рельефное толстослойное металлическое покрытие. И уже после этого указанный блок поликристаллов закреплять в державке карандаша одним из известных способов, например запайкой. Конструкция карандаша схематически представлена на рис. 4. Такой подход позволяет еще на предварительном этапе обеспечить точное и плотное прилегание по-

ликристаллов друг к другу, что важно для осуществления процесса непрерывной правки, а также более полное использование ресурса алмаза. Предварительные исследования показали, что минимальная толщина покрытия должна быть не менее чем 0,1 мм.

Реализация описанных технических решений, предложенных на основе исследований, сводит к минимуму необходимость в выходном контроле готовых алмазных правящих карандашей, способствует повышению их качества, а следовательно, и их общего срока службы при последующей эксплуатации.

**Выводы и перспективы дальнейших исследований в этом направлении.** Таким образом, путем использования технических решений, предложенных на основании выполненных исследований, можно обеспечить повышение эксплуатационных характеристик алмазных карандашей еще на этапе их изготовления. В дальнейшем представляет определенный интерес проведение комплексных исследований системы «СПА – толстослойное рельефное металлическое покрытие – связка (припой) – державка карандаша» на базе 3D-моделирования её напряженно-деформированного состояния с целью дальнейшего совершенствования конструкций карандашей.

#### Литература

1. Исследование зависимости абразивной способности алмазов марки АСБ от их микротвердости / [Шишков Н.З., Семенова-Тян-Шанская А.С., Пивоваров М.С., Голенко А.И.] // Алмазы: сб. – Х., 1971. – Вып. 8. – С. 1 – 3.
2. Эксплуатационные характеристики правящих алмазных инструментов из синтетических алмазов и других сверхтвердых синтетических материалов / [Романов В.Ф., Авакян В.В., Лапина В.А.] // Алмазы и сверхтвердые материалы: сб. – Х., 1975. – Вып. 3. – С. 6 – 9.
3. Зависимость абразивной способности синтетических алмазных агрегатов с микроструктурой карбонадо (АСПК) от их плотности / [Верецагин Л.Ф., Штеренберг Л.Е., Кац М.Я., Долгопольская Е.Ф.] // Алмазы и сверхтвердые материалы: сб. – Х., 1976. – Вып. 5. – С. 1 – 3.
4. Исследование износостойкости карандашей из природных и синтетических алмазов при правке шлифовальных кругов из эльбора / [Ахундзянов Х.А., Друй М.С., Авакян В.В., Перова А.Д., Кудряшова В.Б.] // Алмазы: сб. – 1971. – Х., Вып. 12. – С. 7 – 8.
5. Семко, М.Ф. Алмазное шлифование синтетических сверхтвердых материалов / М.Ф. Семко, А.И. Грабченко, М.Г. Ходоревский. – Харьков: Вища школа, 1980. – 192 с.
6. Грабченко, А.И. Особенности контактного взаимодействия алмазных кругов с СТМ при шлифовании / Грабченко А. И., Пыжов И. Н. // Контактные процессы при больших пластических деформациях. – Харьков: Вища школа, 1982. – С. 33 – 37.
7. Методы определения показателей качества никелевого покрытия / [Гринь Г.И., Козуб П.А., Мухина Л.В., Дробног И.Н.] // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПИ», 2006. – Вып. 12. – С. 90 – 94.
8. Влияние металлизации на окисление синтетических поликристаллических материалов / [Кудрявцев К.К., Страхова Г.М., Панченко М.А.] // Алмазы и сверхтвердые материалы: сб. – 1976. – Х., Вып. 5. – С. 3 – 4.

Надійшла до редакції 10.05. 2012

© А.І. Грабченко, І.М. Пижов, В.Г. Клименко

**А.І. Грабченко, д.т.н., професор, І.М. Пижов, д.т.н., професор**

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»*

**В.Г. Клименко, асистент**

*Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка*

## **ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ПРАВЛЯЧИХ АЛМАЗНИХ ОЛІВЦІВ**

*Розглянуті деякі питання, пов'язані з можливістю підвищення ефективності виробництва і використання правлячих алмазних олівців за рахунок зміни технології їх виготовлення і спрощення попереднього відбору вихідних полікристалів алмазу.*

***Ключові слова:** алмазний правлячий олівець, металеве покриття, мікротвердість, абразивна здатність, непрямий критерій оцінки.*

**A.I. Grabchenko, Doctor of Technical Sciences, professor**

**I. M. Pyzhov, Doctor of Technical Sciences, professor**

*National Technical University «Kharkyv Polytechnic Institute»*

**V.G. Klimenko, assistant**

*Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University*

## **INCREASING OF CAPACITY OF RULINGS DIAMOND RULING TOOL**

*Some questions related to possibility of production efficiency increase and use of rulings diamond tools due to a change of their making technology and simplification of initial selection of diamond polycrystalline are considered.*

***Keywords:** diamond ruling tool, metallic coverage, microhardness, abrasive ability, indirect criterion of estimation.*