

### Литература

1. Накамото К. Инфракрасные спектры неорганических и координационных соединений. – М., 1966. – 320 с.
2. Берсукер И.Б. Электронное строение и свойства координационных соединений. Л.: Химия, 1986.
3. Minkin V.I., Mikhailov I.E. Rearrangements in amidines and related compounds // The chemistry of functional groups. Vol. 2. The chemistry of amidines and imidates. – New Yourk: J. Wiley interscience. – 1991.– P. 527–621.

Поступила 25.05.12

УДК 621.921.34–492.2:539.215

**Г. А. Петасюк**, канд. техн. наук, **В. И. Лавриненко**, д-р. техн. наук,  
**О. О. Пасичный**, канд. техн. наук

*Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев*

### МЕТОДИКА АПОСТЕРИОРНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ АЛМАЗОВ В РЕЖУЩЕМ СЛОЕ КРУГА

*Изложена суть метода определения относительной объемной концентрации алмазного порошка в режущем слое изготовленного шлифовального круга. Метод основан на цифровой обработке электронной фотографии шлифа режущего слоя. Приведены результаты экспериментальной проверки метода.*

**Ключевые слова:** алмазный порошок, шлифовальный круг, режущий слой, относительная концентрация, шлиф, 3D модель, сфера, параллелепипед.

#### Введение

Относительная концентрация абразивного материала в режущем слое шлифовального круга является важной интегральной характеристикой инструмента. Она относится к параметрам, на основании которых осуществляется оптимизация режимов алмазно-абразивной обработки.

Концентрация алмазов характеризуется их содержанием по массе в рабочем слое и является основным показателем, определяющим стоимость алмазно-абразивного инструмента [1]. Содержание по массе алмаза (в каратах) в инструменте рассчитывают по формуле

$$A = \frac{4,4}{100} VK, \quad (1)$$

где  $V$  – объем алмазоносного слоя,  $\text{см}^3$ ;  $K$  – концентрация алмазов, %; 4,4 – содержание алмаза в  $1 \text{ см}^3$  рабочего слоя, принимаемое за 100%-ю концентрацию, карат. Из анализа формулы (1) следует, что концентрация алмазов и их содержание по массе в рабочем слое являются взаимосвязанными характеристиками. Располагая одной из них, можно рассчитать другую. Так, если известно содержание по массе алмазного порошка, его концентрацию в режущем слое круга можно определить из формулы (1):

$$K = \frac{100 A}{4,4 V}. \quad (2)$$

Исходными данными для прогнозируемого значения относительной объемной концентрации алмазных порошков в режущем слое круга согласно формуле (2) являются объем режущего слоя круга, вес содержащегося в нем алмазного порошка и весовое

содержание порошка в  $1 \text{ см}^3$  рабочего слоя, равное 4,4 карата (или 25% его объема) и принимаемое за 100%-ю концентрацию [1].

Если рассматривать относительную объемную концентрацию алмазов в режущем слое круга с самых общих позиций, в зависимости от возможных вариантов конкретной ситуации (проектируемый или уже изготовленный инструмент) можно выделить две постановки задачи ее количественного определения. Первая из них соответствует случаю, когда требуется установить относительную объемную концентрацию алмазного порошка в режущем слое проектируемого круга, т. е. на стадии его изготовления. Такое определение будем называть априорным, или априорным подходом. Термин «априорный» подчеркивает тот факт, что относительная концентрация становится известной до опыта, в который здесь вкладывается смысл «изготовление круга». В этом случае располагаем конструктивными параметрами круга и весом алмазного порошка, предназначенного для оснащения его режущего слоя. Исходя из конструктивных параметров круга, можно рассчитать объем режущего слоя и затем по формуле (2) – относительную объемную концентрацию алмазных зерен в режущем слое круга. Если же требуется установить относительную объемную концентрацию алмазного порошка в режущем слое круга апостериори, т. е. после опыта или уже изготовленного круга при отсутствии информации о весовом количестве заложенного в его режущий слой алмазного порошка, то имеет место ситуация апостериорного определения интересующей характеристики.

В настоящей работе предлагается малозатратный (по сравнению с прямым определением) метод опосредованного апостериорного определения относительной объемной концентрации алмазных зерен в режущем слое изготовленного круга. Основным материальным атрибутом такого подхода к определению относительной объемной концентрации алмазного порошка в имеющемся круге является наличие плоского шлифа режущего слоя круга и его электронной фотографии. Для получения необходимых исходных данных эту фотографию подвергают цифровой (в другой терминологии IMG) обработке.

При использовании компьютерных систем анализа изображений зерен применяют два основных подхода [2]. Благоприятствующая особенность использования в рассматриваемом случае первого из них состоит в том, что на обрабатываемой электронной картинке зерна изолированы друг от друга, а качество изображений позволяет довольно достоверно восстановить структуру границ зерен.

Предлагаемый метод определения относительной объемной концентрации алмазных зерен в режущем слое круга предусматривает решение поставленной задачи в несколько этапов. Первый этап – изготовление шлифа и получение его электронной фотографии в виде файла с jpg-расширением. Второй этап – компьютерно-цифровая обработка полученного jpg-файла. Третий этап – экстраполяция плоского изображения среза зерен на его пространственно-геометрическую форму с учетом выбранной 3D модели и определение объем полученного таким образом пространственного тела. Вычислив объем принятой 3D модели образца режущего слоя и общий вес всех находящихся в нем зерен, по формуле (2) можно рассчитать относительную объемную концентрацию алмазного порошка в режущем слое круга. При этом общий вес порошка рассчитывают как суммарный объем всех зерен, умноженный на удельный вес алмаза.

#### **Пространственно-геометрическая модель образца режущего слоя**

В качестве пространственно-геометрической модели образца режущего слоя принимаем параллелепипед размерами  $a \geq b \geq h$  (рис. 1). В объеме (теле) этого параллелепипеда размещены  $N$  алмазных зерен. Принимаем, что эти зерна имеют форму однородных по размеру шаров радиуса  $R$  (рис. 2).

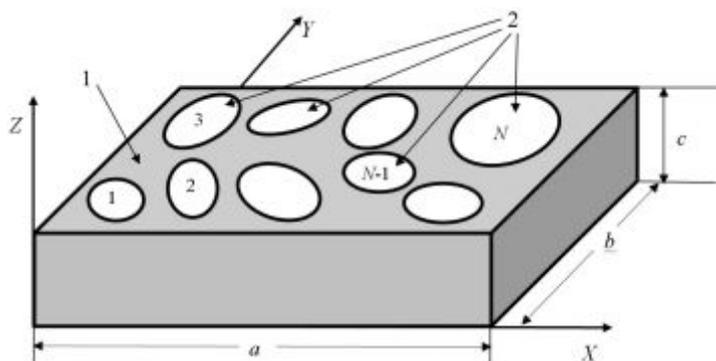


Рис. 1. Пространственно-геометрическая модель образца режущего слоя круга: А – связка; Б – срезы зерен; N – количество срезов; 1, 2, 3, – номера срезов

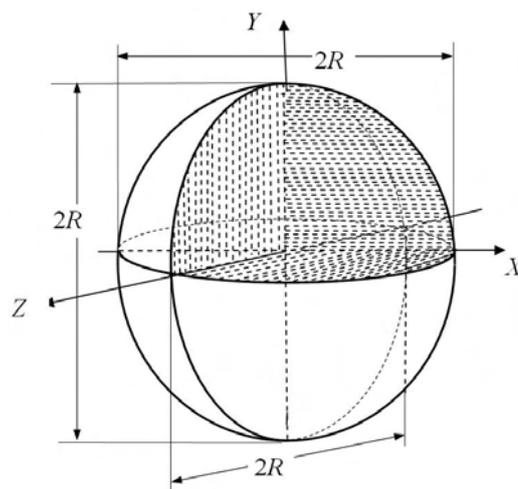


Рис. 2. Пространственно-геометрическая модель алмазного зерна

При изготовлении шлифа на гранях параллелепипеда образуются и наблюдаются визуально срезы зерен. Абстрагируясь от остальных срезов, проанализируем только выходящие на верхнее основание параллелепипеда (на рис. 1  $z = c$ ).

Согласно разработанной методике осуществляли цифровое фотографирование шлифа. Электронную форму фотографии сохраняли в виде файла в формате jpg. С использованием известных специальных компьютерно-программных средств фотографию откорректировали с целью убрать объекты, похожие на изображение зерен, но не являющиеся ими (согласно специальной терминологии – шумы). Кроме того, изображениям зерен придали темный цвет, а фону, т. е. связке, – белый. Откорректированный таким образом файл обработали с помощью программного обеспечения прибора DiaInspect.OSM [3], который осуществляет цифровую обработку файла как пробы зерен в целях определения геометрических параметров проекции зерен. Именно тем, что цифровая обработка электронной фотографии шлифа производится с использованием указанного программного обеспечения, работающего в проходящем свете, обусловлено придание фону белого цвета.

При отсутствии такого прибора можно использовать аналогичный по назначению. Прибора DiaInspect.OSM диагностируют большую совокупность размерных, геометрических и морфологических характеристик [4]. Из этой совокупности характеристик как начальные данные для разрабатываемой методики будем использовать лишь площадь среза (сечения) зерен. Поскольку пространственно-геометрической формой зерна принят шар, форма всех срезов зерен на фотографии шлифа будет иметь вид различных по площади (а отсюда и по радиусу) кругов. Площадь этих кругов ( $s_n$ ,  $n = 1, 2, \dots, N$ ;  $N$  – количество срезов, с которым отождествляется количество зерен в пробе порошка), как отмечалось, определяется программным прибором DiaInspect.OSM и она известна. Выразим через эту площадь радиус соответствующих кругов (так называемый эквивалентный радиус):

$$R_n = \sqrt{\frac{s_n}{\pi}}, \quad (3)$$

где  $s_n$  – площадь  $n$ -го среза,  $R_n$  – радиус  $n$ -го среза.

Среди всех  $N$  срезов есть один (или несколько) максимальной площади. Количество таких срезов обозначим  $M$ , максимальную площадь среза –  $s_{\max}$ , а соответствующий ему эквивалентный радиус – через  $R_{\max}$ . Будем считать, что эти срезы образованы плоскостью, проходящей через центр шаров, которые соответствуют срезам максимальной площади  $s_{\max}$ . Далее принимаем, что высота параллелепипеда (см. рис. 1) как геометрической модели

образца исследуемого режущего слоя инструмента, равна  $R_{\max}$ , т.е.  $c = R_{\max}$ . Это означает, что срезы зерен максимальной площади  $s_{\max}$  представляют собой половины шаров (полушария), вершины которых лежат в плоскости  $z = 0$ .

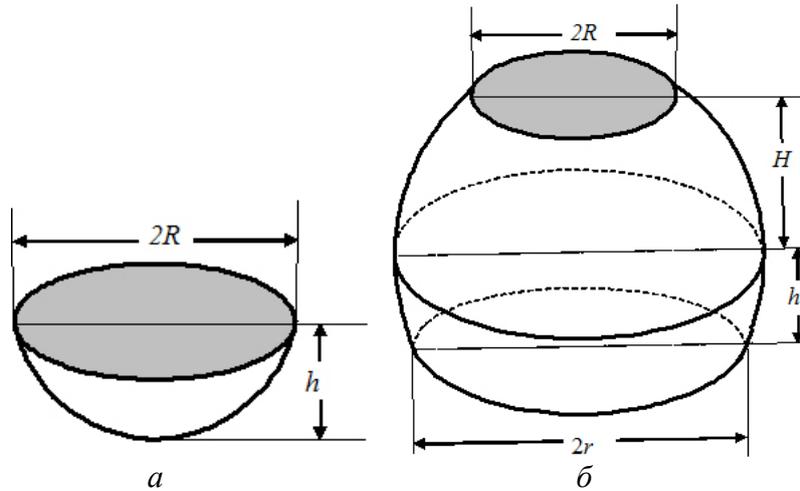


Рис. 3. Возможные варианты невидимой части среза зерна: а – шаровой сегмент, б – шаровой пояс

Для всех других срезов, для которых  $s \leq s_{\max}$ , возможны два варианта экстраполяции расположения соответствующих им 3D форм. Существование этих возможных вариантов обусловлено тем, что невидимая часть зерна какого-то среза может представлять собой различные части срезанного шара: шаровой сегмент (рис. 3, а) или не симметричный относительно  $z = 0$  шаровой пояс (рис. 3, б). Если взять например срез 1, то и в первом, и во втором случае видимой основой срезанной части шара будет круг площадью  $s_1$  (см. рис. 1).

Общий объем всех зерен, выходящих на поверхность шлифа как образца режущего слоя инструмента в первом и втором случае (соответственно  $V_{\Sigma}^{(1)}$  и  $V_{\Sigma}^{(2)}$ ), состоит из суммы объемов зерен, площадь срезов которых равна  $s_{\max}$ , равной  $M v_{\max}$ , и остальных зерен:

$$V_{\Sigma}^{(1)} = M v_{\max} + \sum_{n=1}^N v_n^{(1)}; \quad (4)$$

$$V_{\Sigma}^{(2)} = M v_{\max} + \sum_{n=1}^N v_n^{(2)}, \quad (5)$$

где  $M$  – количество срезов площадью  $s_{\max}$ ;  $v_{\max}$ ,  $v_n^{(1)}$ ,  $v_n^{(2)}$  – объем соответственно полушария, шарового сегмента и не симметричного относительно плоскости  $z = 0$  шарового пояса. Согласно принятым обозначениям формулы объем этих тел рассчитываем по следующим формулам:

$$v_{\max} = \frac{2}{3} \pi R_{\max}^3, \quad (6)$$

$$v_n^{(1)} = \pi h_n^2 \left( R_{\max} - \frac{1}{3} h_n \right), \quad (7)$$

$$v_n^{(2)} = \frac{4}{3} \pi R_{\max}^3 - \pi h_n^2 \left( R_{\max} - \frac{1}{3} h_n \right) - \pi H_n^2 \left( R_{\max} - \frac{1}{3} H_n \right), \quad (8)$$

где  $h_n$  – высота шарового сегмента,  $h_n = \sqrt{R_{\max}^2 - R_n^2}$ ;  $H_n$  – высота шарового пояса,  $H_n = R_{\max} - h_n$ ;  $n$  – номер зерна, к которому относятся объем.

С учетом изложенного формулы (4) и (5) приобретают вид

$$V_{\Sigma}^{(1)} = \frac{2M}{3} \pi R_{\max}^3 + \sum_{n=1}^N \pi h_n^2 (R_{\max} - \frac{1}{3} h_n), \quad (9)$$

$$V_{\Sigma}^{(2)} = \frac{2M}{3} \pi R_{\max}^3 + \sum_{n=1}^N \left[ \frac{4}{3} \pi R_{\max}^3 - \pi h_n^2 (R_{\max} - \frac{1}{3} h_n) - \pi H_n^2 (R_{\max} - \frac{1}{3} H_n) \right]. \quad (10)$$

Если  $V_{\Sigma}$  обозначить объем исследуемого образца режущего слоя инструмента, относительная доля в нем объема алмазных зерен соответственно в первом и во втором случае определится так

$$w_o^{(1)} = \frac{V_{\Sigma}^{(1)}}{V_i} = \frac{V_{\Sigma}^{(1)}}{abR_{\max}}, \quad (11)$$

$$w_o^{(2)} = \frac{V_{\Sigma}^{(2)}}{V_i} = \frac{V_{\Sigma}^{(2)}}{abR_{\max}}. \quad (12)$$

Поскольку  $V_{\Sigma}^{(1)} \leq V_{\Sigma}^{(2)}$ , таким же будет соотношении относительной доли объема алмазных зерен в режущем слое инструмента, т.е.  $w_o^{(1)} \leq w_o^{(2)}$ . Реальное (фактическое) же значение этой характеристики будет находиться в интервале  $w_o^{(1)} \leq w_o \leq w_o^{(2)}$ . Предлагаем находить это значение как среднее арифметическое показателей  $w_o^{(1)}$  и  $w_o^{(2)}$ :

$$w_o = \frac{w_o^{(1)} + w_o^{(2)}}{0,25 \times 2} 100 = 200(w_o^{(1)} + w_o^{(2)}) \quad (13)$$

#### Апробация методики

Предложенным методом определяли коэффициент относительной объемной концентрации экспериментального круга с посегментно выполненным режущим слоем. Режущий слой такого круга состоял из двух сегментов, которые будем обозначили соответственно 1 и 2. Коэффициент относительной объемной концентрации режущего слоя части 1 составлял 100%, части 2 – 160%.

Были изготовлены два шлифа режущего слоя этого круга и сделаны их фотографии (рис. 4, а, б).

Вид этих фотографий, каждая из которых отвечает различным сегментам режущего слоя, после корректирования показан на рис 4, в, г. Откорректированные фотографии в виде файла с расширением jrg обрабатывались программным обеспечением прибора DiaInspect.OSM. Полученные в значения площади срезов, которые интерпретируются как отдельные зерна, приведены в таблице. Отметим еще раз, что прибором DiaInspect.OSM предоставляется xls-файл со значениями более чем 20 характеристик исследуемого порошка. В таблице приведены только необходимые 77 значений площади срезов (зерен) для режущего слоя 1 и 99 – для режущего слоя 2. Для автоматизации расчета коэффициента объемной относительной концентрации  $K$  по формулам (3) – (13) было разработано оригинальное компьютерное программное обеспечение. С использованием этого программного обеспечения для приведенных в таблице начальных данных были получены следующие расчетные значения объемной относительной концентрации:  $K = 106,45\%$  для сегмента режущего слоя 1 и  $K = 161,33\%$  – для сегмента 2. Фактические же значения объемной относительной концентрации были равными 100% для сегмента 1 и 160% – для сегмента 2.

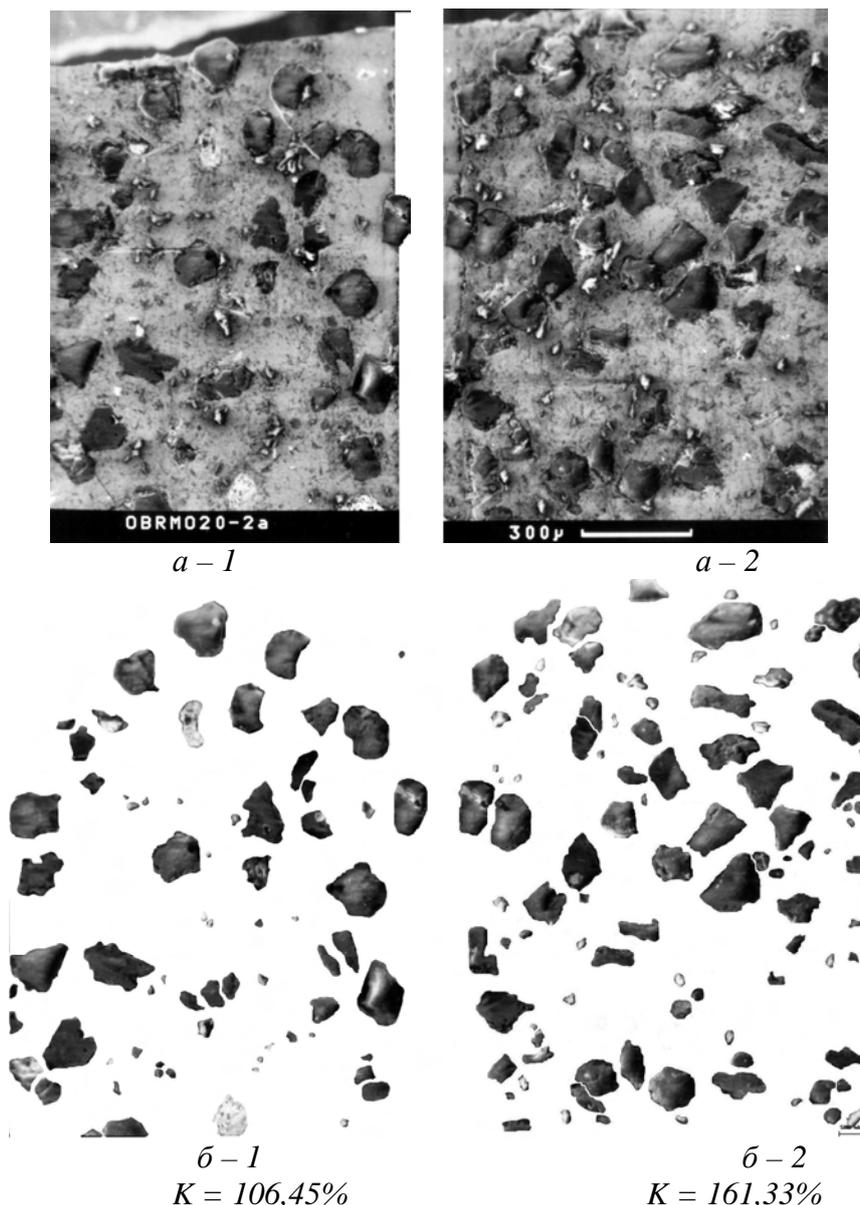


Рис. 4. Фотографии шлифа сегментов 1 и 2 режущего слоя экспериментального круга исходные (а – 1, а – 2) и откорректированные (б – 1, б – 2)

Результат анализа свидетельствует, что относительная погрешность определения показателя объемной относительной концентрации разработанным методом составляет 6,45% в первом случае и 7,55% – во втором. В обоих случаях она довольно высокая. Таким образом, разработанный новый метод апостериорного определения относительной концентрации алмазов в режущем слое круга может быть рекомендован для практического использования.

*Описується метод визначення відносної об'ємної концентрації алмазного порошку в ріжучому шарі виготовленого шліфувального круга. Метод заснований на цифровій обробці електронної фотографії шлифа ріжучого шару. Подається результати експериментальної перевірки методу.*

**Ключові слова:** алмазний порошок, шліфувальний круг, ріжучий шар, відносна концентрація, шліф, 3D модель, сфера, паралелепіпед.

*The method of definition volume concentration relational of a diamond powder in a cutting layer of the made grinding wheel is stated. The method is based on digital processing of an*

*digital photo of polished specimen a cutting layer. Results of experimental check of a method are resulted.*

*Key words: diamond powder, the grinding wheel cutting a layer, relative concentration, polished specimen, 3D model, sphere, parallelepiped.*

### **Литература**

1. Справочник по алмазной обработке / В. Н. Бакуль, И. П. Захаренко, Я. А. Кункин, М. З. Мильштейн. – К: Техника, 1971. – 208 с.
2. Метод топологической реконструкции и количественной оценки размеров зерен / Р. М. Кадушников, И. Г. Каменин, В. М. Алиевский и др. // Заводская лаборатория. – 1997. – № 4. – С. 30–34
3. A new system for single particle strength testing of grinding powders / E. List, J. Frenzel, H. Vollstadt // Industrial diamond rev. – 2006. – N 1. – P. 42–47.
4. Петасюк Г.А. Діагностика морфометричних характеристик порошків надтвердих матеріалів засобами цифрової обробки зображень // Відбір і обробка інформації. – 2009. – Вип. 30(106). – С. 138–145.

*Поступила 27.03.12*

УДК 621.923

**В. Д. Курілович, А. Г. Ветров, Ю. Д. Філатов**, д-р техн. наук

*Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України, м. Київ*

### **ФАКТУРНЕ ОБРОБЛЕННЯ ПРИРОДНОГО КАМЕНЮ ІНСТРУМЕНТОМ З АЛМАЗНО-ПОЛІМЕРНОГО ВОЛОКНА**

*Наведено результати розроблення та випробування інструменту з алмазно-полімерного волокна при фактурному обробленні виробів з природного каменю. Виконано порівняння продуктивності оброблення і відбивної здатності обробленої поверхні, що досягаються при використанні розробленого інструменту з показниками інструментів аналогічного призначення.*

**Ключові слова:** алмазно-полімерне волокно, продуктивність оброблення, відбивна здатність

Сучасні конкурентні умови розвитку будівельної галузі зумовлюють значне підвищення вимог до якості оброблення виробів з природного і синтетичного каменю (ПСК). Разом з тим інструменти для фінішного оброблення ПСК не забезпечують бездефектної підготовки поверхні виробу для завершальної технологічної операції – полірування.

Вироби з природного каменю характеризуються наявністю на їх полірованих поверхнях подряпин і виколів, що залишились від попередніх операцій оброблення, дефектів, нанесених безпосередньо полірувальним інструментом (подряпини, сітка дрібних подряпин та ін.), пор та інших дефектів техногенного або природного походження. Це пояснюється недосконалістю технології фінішного оброблення деталей з ПК, відсутністю інструментів, здатних забезпечувати необхідну якість оброблення протягом тривалого часу та стабільну продуктивність знімання оброблюваного матеріалу, а також неможливістю повного контролю їх якості, особливо в умовах масового виробництва, та складністю її автоматичного забезпечення і регулювання.

Високої якості оброблених поверхонь деталей з ПСК можна досягти лише за відсутності на поверхні робочого шару інструменту конгломератів абразивних зерен, що зумовлюють появу