

Ю.Г. Гуцаленко, Харьков, Украина

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА АЛМАЗНЫХ КРУГОВ С РЕЖУЩИМИ ЗЕРНАМИ РАЗЛИЧНОГО ЗАОСТРЕНИЯ И ПРИТУПЛЕНИЯ В ПРОЦЕССАХ ТОНКОГО ЧИСТОВОГО ШЛИФОВАНИЯ**

*У статті представлені модель, умови та прогностичні сліdstва здійсненності чистового алмазного шліфування кругами с ріжущими зернами різного заострення і притуплення.*

*В статье представлены модель, условия и прогностические следствия осуществимости чистового алмазного шлифования кругами с режущими зернами различного заострения и притупления.*

*The article presents the model, conditions and prognostic consequences of finishing grinding feasibility for diamond wheels with cutting grains of different sharpening and blunting.*

**Введение.** Проблема обеспечения высокого микрогеометрического качества обработанной поверхности в процессах тонкого чистового шлифования неисчерпаема. Накопленный в НТУ «ХПИ» опыт микроскопических исследований поверхностей после электроэрозионного воздействия в процессе алмазно-искрового шлифования в рамках выполнения проекта «Разработка технических решений специальной модернизации универсальных станков и технологических баз данных для алмазно-искрового шлифования труднообрабатываемых материалов» (0113U000425, 2013-2014 гг.) позволил предложить модель и выполнить некоторые расчетные оценки участия электрической эрозии в формировании рельефа обработанной поверхности, перейти на этой основе к разработке концепции и организационно-технологических рекомендаций по совершенствованию цикла обработки с выхаживанием без отключения в его начальной фазе электрического тока в зоне шлифования, что дополнительно поддерживает функцию правки шлифовального круга благодаря продлению непрерывного технологического времени ее осуществления в режиме понижения высотных параметров шероховатости обработанной поверхности выхаживанием [1].

Теоретические расчеты [2] указывают также на существенное снижение параметра  $R_a$  шероховатости обработанной поверхности предварительным сглаживанием режущего рельефа шлифовального круга с образованием площадок износа на зёрнах абразива. Такое искусственное притупление режущих кромок алмазных зёрен кругов на металлических связках в управляемых процессах комбинированного шлифования, например, путем

предварительного, с продольной подачей, шлифования кругом алмазного карандаша, позволяет одновременно решать задачи и высокого микрогеометрического качества обработанной поверхности, и достаточно высокой производительности обработки.

Об актуальности и практической востребованности исследований в этом направлении свидетельствует практика передовых предприятий. Так, известен опыт совершенствования технологического процесса финишной обработки цилиндрической поверхности специальной твердосплавной развертки в условиях Харьковского машиностроительного завода «ФЭД», сокращающий его длительность и число операций (исключается притирка шлифованной поверхности алмазной пастой), обеспечивающий при этом не только требуемый уровень производительности, но и удовлетворяющий ограничениям по технологической себестоимости, точности и шероховатости обработанной поверхности. Этот положительный опыт сопряжен с высокой степенью управляемого затупления режущих зерен рабочей поверхности алмазного круга [3].

В таких технологических задачах следует учитывать необходимость ограничения притупления режущих зерен, а также корректного исходного выбора инструмента с алмазным шлифпорошком подходящей характеристики (марки и зернистости) из условия осуществимости процесса тонкого микрорезания и стружкообразования ими.

Для формулировки системы необходимых для этого условий воспользуемся известной расчетной схемой [4] (рис. 1) и будем исходить из классической формулировки И.В.Крагельского [5] достаточности глубины  $a_z$  внедрения абразивной частицы в материал для его микрорезания, если  $a_z$  не превышает определенную часть радиуса  $R$  контактирующего выступа соответствующей конфигурации, т. е.:

$$(a_z/R) > [a_z/R], \quad (1)$$

где  $a_z$  – толщина среза, м;  $R$  – радиус округления вершины зерна, м;  $[a_z/R] = 0,2 \dots 0,3$  [5] или, с учетом научно-производственной практики алмазных шлифовальных инструментов,  $[a_z/R] = 0,1 \dots 0,5$  [6].

**Основная часть.** Проблему соблюдения условия (1) рассмотрим во взаимосвязи со степенью затупления зерна  $\eta$  [7],

$$\eta = X / (X + a_z), \quad (2)$$

где  $X$  – величина линейного износа зерна, измеряемого от вершины описывающего зерно конуса, и углом при вершине зерна  $\varepsilon = 2\gamma$  в его конусообразном представлении с округленной вершиной (рис. 1).

Из определенности расчетной схемой по рис. 1 тригонометрического соотношения для  $\sin\gamma$  следует, что

$$X = R(\sin^{-1}\gamma - 1). \quad (3)$$

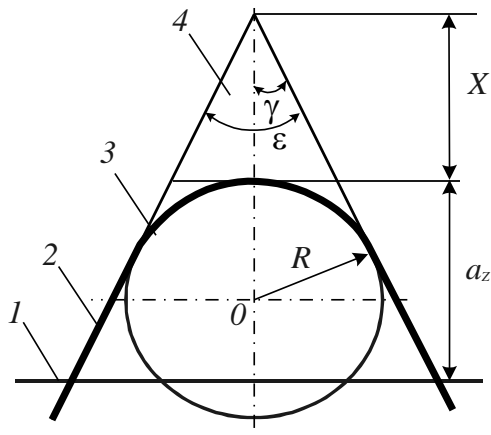


Рисунок 1 – Расчётная схема: 1 – уровень связки, 2 – контур зерна, 3 – сечение среза, 4 – изношенная часть зерна

После подстановки (3) в (2) и преобразований получаем ключевое параметрическое соотношение (4) для определения в множестве переменных  $\eta$  и  $\epsilon$  области осуществимости процесса тонкого микрорезания по известному (принятому) значению  $[a_z/R]$ :

$$(a_z/R) - ((1-\eta)(1-\sin\gamma)/\eta \cdot \sin\gamma) = 0. \quad (4)$$

Из (4), с учетом  $\epsilon = 2\gamma$ , определяется значение  $\eta$ , являющееся его расчетным пределом  $\lim \eta$ . Необходимое условие эффективной эксплуатации шлифовального круга по известным  $[a_z/R]$  и  $\epsilon$ , с учетом  $\epsilon = 2\gamma$ , соответственно имеет вид:

$$\eta < 1 / (1 + [a_z/R] \cdot \sin\gamma / (1 - \sin\gamma)). \quad (5)$$

Если по какому-нибудь критерию оптимизации установлено значение нормы  $\eta$  ( $[\eta]$ ), а условие (5) для шлифовального круга с данной, используемой в расчетах на стадии проектирования технологической операции характеристикой зерен шлифпорошка (марка, зернистость), не выполнимо, то следует изменить выбор марки и (или) зернистости шлифпорошка с учетом известных данных об угловых характеристиках алмазных зерен [8]. При этом следует учитывать, что, как это следует из [8], варьирование зернистостью является более ощутимым резервом возможного затупления зерен (и потому наиболее полного использования сверхтвердых алмазных абразивов), при котором процесс микрорезания (шлифования) еще осуществим.

На рис. 2 показаны столбчатые диаграммы допустимой степени затупления зерна  $\eta$  в зависимости от нормы  $[a_z/R]$  для ряда углов заострения зерен  $\epsilon$  в диапазоне охвата массива баз данных Института сверхтвердых материалов НАН Украины для шлифпорошков из синтетических сверхтвердых материалов марочных составов от AC2 до AC15 и зернистостей от 50/40 до 250/200 [8]: по допустимости степени затупления режущие зерна наибольшей исходной остроты ( $\epsilon=90^\circ$ ) в рассматриваемом диапазоне углов заострения  $\epsilon$  от 1,6 (для  $[a_z/R]=0,1$ ) до 2,6 раз (для  $[a_z/R]=0,5$ ) превосходят режущие зерна наименьшей исходной остроты ( $\epsilon=130^\circ$ ).

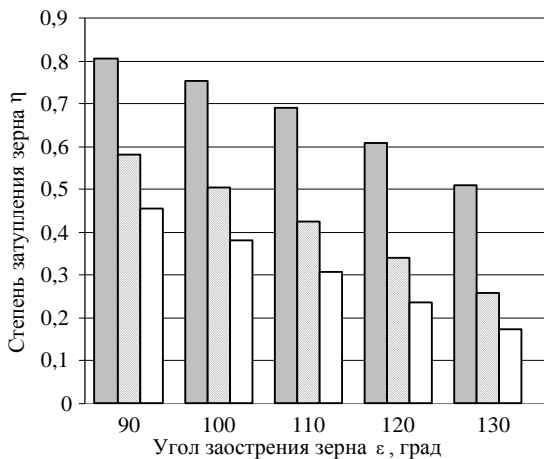


Рисунок 2 – Диапазон допустимой степени затупления зерна  $\eta$  в зависимости от угла заострения зерна  $\epsilon$  для различных условий осуществления микрорезания по критерию отношения толщины среза к радиусу округления вершины зерна  $[a_z/R]$ :   
 – 0,1;  – 0,3;  – 0,5

Для представления о технико-экономических прогностических возможностях этого заключения обратимся к известной из моделирования процессов устойчивого во времени шлифования пропорциональности  $\eta$  отношению скоростей износа зерен ( $V_{з\epsilon p}$ ) и связки ( $V_{св}$ ) в направлении нормали к номинальной рабочей поверхности круга [9]:

$$\eta = V_{з\epsilon p} / V_{св} \cdot \tag{6}$$

Тогда, в первом приближении полагая относительно незначимым влияние марки и зернистости алмазного шлифпорошка на  $V_{з\epsilon p}$ , во всяком случае зернистости в шлифпорошках данной марки, в пределе допустимого износа в кругах зерен с различной исходной остротой при обеспечении

стабильности во времени выходных показателей шлифования объектов идентичной обрабатываемости и в кинематико-геометрически идентичных рабочих процессах имеем:

$$[\eta_1/\eta_2] = V_{ce2}/V_{ce1} . \quad (7)$$

Памятуя далее, что различие в эксплуатационном ресурсе  $T$  различных шлифовальных кругов с одной и той же толщиной  $S$  абразивосодержащего слоя при некоторой известной постоянной или усредненной скорости износа связки определяется именно величиной этой скорости, для  $i$ -го случая

$$T_{(i)} = S / V_{ce(i)} , \quad (8)$$

после преобразования (8) относительно  $V_{ce(i)}$  и подстановки в (7) получаем:

$$T_1/T_2 = [\eta_1/\eta_2] . \quad (9)$$

Из (9) следует, что допустимая степень затупления зерна  $\eta$  является пропорциональным отражением ресурсного потенциала шлифовального круга. Это позволяет интерпретировать отображенные на рис. 2 полученные расчетные результаты с позиций соответствующего прогноза в сопоставимых кинематико-геометрически и по обрабатываемости условиях шлифования алмазными кругами, использующими шлифпорошки с различной остротой алмазных зерен (табл. 1).

Таблица 1 – Сравнение ресурсного потенциала алмазных шлифовальных кругов с различной остротой зерен используемого шлифпорошка, %

Критерий Крагельского [ $a_z/R$ ]	Угол заострения алмазного зерна $\varepsilon$ , град.				
	90	100	110	120	130
0,1	100	93,5	85,4	75,4	63,1
0,3	100	87,0	73,1	58,7	44,2
0,5	100	83,7	67,6	52,2	37,8

В соответствии с изложенным выше подходом и согласно данным [8] об углах заострения синтетических алмазных зерен, в табл. 2, в пределах каждой из приведенных в ней марок, представлен относительный прогноз ресурсного потенциала использующих алмазные шлифпорошки этих марок и зернистостей инструментов.

Таблица 2 – Внутримарочный прогноз относительного ресурса алмазных инструментов по данным [8] об остроте зерен, % ( $[a_z/R]=0,3$ )

Марка шлифпорошка	Зернистость шлифпорошка, мкм				
	125/100	100/80	80/63	63/50	50/40
AC2	80,9	86,2	100	82,6	80,9
AC4	86,3	66,4	86,3	90,2	100

**Заключение.** Приведенная расчетная практика и ее результаты могут использоваться как в поиске организационно-технологических резервов усовершенствования существующих технологий, так и в проектных разработках шлифовальных операций новых механообрабатывающих производств, а также в теоретических исследованиях оптимизации инструментального обеспечения и рабочих процессов шлифования.

**Список используемых источников:** 1. *Гуцаленко Ю.Г.* Модель сглаживания шероховатости поверхности при алмазно-искровом шлифовании // Современные инновации в науке и технике: Сб. науч. тр. 4-ой междунар. науч.-практ. конф. 17 апр. 2014 г. – В 4-х т. – Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2014. – Т. 1. – С. 325-328. 2. *Дитиненко С.А., Гуцаленко Ю.Г., Новиков Ф.В.* Условия повышения чистоты обработки при шлифовании алмазными кругами на металлических связках // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2003. – Вып. 64. – С. 69-74. 3. *Дитиненко С.О.* Підвищення ефективності технології фінішної обробки циліндричних поверхонь твердосплавних виробів: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / Нац. техн. ун-т «Харк. політехн. ін-т». – Харків, 2005. – 20 с. 4. *Новиков Ф.В.* Кинематика образования шероховатости поверхности при шлифовании // В кн.: Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения. В 10-ти томах. – Т.6: Качество обработки деталей машин. – Одесса: ОНПУ, 2003. – С. 86-143. 5. *Крагельский И.В.* Трение и износ. – М.: Mashgiz, 1962. – 384 с. 6. *Семко М.Ф.* Основы алмазного шлифования / *М.Ф.Семко, А.И.Гребченко, А.Ф.Раб, М.Д.Узунян, М.С.Пивоваров.* – Киев: Техника, 1978. – 192 с. 7. *Новиков Ф.В.* Физические и кинематические основы высокопроизводительного алмазного шлифования: Автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.02.08; 05.03.01 / Одесский гос. политехн. ун-т. – Одесса, 1995. – 36 с. 8. *Никитин Ю.И.* Порошки и пасты из синтетических алмазов / *Ю.И.Никитин, С.М.Уман, Л.В.Коберниченко, Л.М.Мартынова* – Киев: Наук. думка, 1992. – 284 с. 9. *Новиков Ф.В., Гуцаленко Ю.Г.* Разработка аналитической модели устойчивого во времени процесса алмазного шлифования // Вісн. Нац. техн. ун-ту „Харк. політехн. ін-т”. 36. наук. пр. Темат. вип.: Технології в машинобудуванні. – 2005. – № 12. – С. 51-63.

**Bibliography (transliterated):** 1. *Gucalenko Ju.G.* Model' sglazhivaniya sherohovatosti poverhnosti prialmazno-iskrovom shlifovanii // Sovremennye innovacii v nauke i tehnikе: Sb. nauch. tr. 4-oj mezhduнар. nauch.-prakt. konf. 17 apr. 2014 g. – V 4-h t. – Kursk: Jugo-Zap. gos. un-t, 2014. – T. 1. – S. 325-328. 2. *Ditinenko S.A., Gucalenko Ju.G., Novikov F.V.* Uslovija povysheniya chistoty obrabotki pri shlifovaniialmaznymi krugami na metallicheskih svjazkah // Rezanie i instrument v tehnologicheskix sistemah: Mezhdunar. nauch.-tehn. sb. – Har'kov: NTU «HPI», 2003. – Vyp. 64. – S. 69-74. 3. *Ditinenko S.O.* Pidvishhennija efektivnosti tehnologii finisnoi obrobki cilindrichnih poverhon' tverdospлавnih virobiv: Avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk: 05.02.08 / Nac. tehn. un-t «Hark. politehn. in-t». – Harkiv, 2005. – 20 s. 4. *Novikov F.V.* Kinematika obrazovanija sherohovatosti poverhnosti pri shlifovanii // V kn.: Fiziko-matematicheskaja teorija processov obrabotki materialov i tehnologii mashinostroenija. V 10-ti tomah. – T.6: Kachestvo obrabotki detalej mashin. – Odessa: ONPU, 2003. – S. 86-143. 5. *Kragel'skij I.V.* Trenie i iznos. – M.: Mashgiz, 1962. – 384 s. 6. *Semko M.F.* Osnovyalmaznogo shlifovanija / *M.F.Semko, A.I.Grabchenko, A.F.Rab, M.D.Uzunjan, M.S.Pivovarov.* – Kiev: Tehnika, 1978. – 192 s. 7. *Novikov F.V.* Fizicheskie i kinematicheskie osnovy vysokoproizvoditel'nogoalmaznogo shlifovanija: Avtoref. dis. ... dokt. tehn. nauk: 05.02.08; 05.03.01 / Odesskij gos. politehn. un-t. – Odessa, 1995. – 36 s. 8. *Nikitin Ju.I.* Poroshki i pasty iz sinteticheskixalmazov / *Ju.I.Nikitin, S.M.Uman, L.V.Kobernichenko, L.M.Martynova* – Kiev: Nauk. dumka, 1992. – 284 s. 9. *Novikov F.V., Gucalenko Ju.G.* Razrabotka analiticheskoi modeli ustojchivogo vo vremeni processaalmaznogo shlifovanija // Visn. Nac. tehn. un-tu „Hark. politehn. in-t”. Zb. nauk. pr. Temat. vip.: Tehnologії v mashinobuduvanni. – 2005. – № 12. – S. 51-63.

*Поступила в редакцию 25.06.2014*