

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 η [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

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

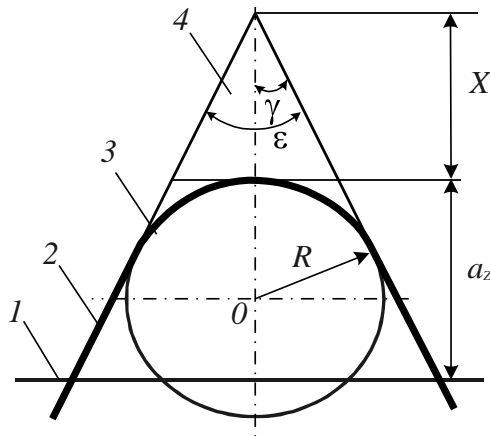


Рисунок 1 – Расчётная схема: 1 – уровень связки, 2 – контур зерна, 3 – сечение среза, 4 – изношенная часть зерна

После подстановки (3) в (2) и преобразований получаем ключевое параметрическое соотношение (4) для определения в множестве переменных η и ϵ 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 η , являющееся его расчетным пределом $\lim \eta$. Необходимое условие эффективной эксплуатации шлифовального круга по известным $[a_z/R]$ и ϵ , 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 η ($[\eta]$), 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 η в зависимости от нормы $[a_z/R]$ для ряда углов заострения зерен ϵ 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 ϵ 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 ($\epsilon=130^\circ$).

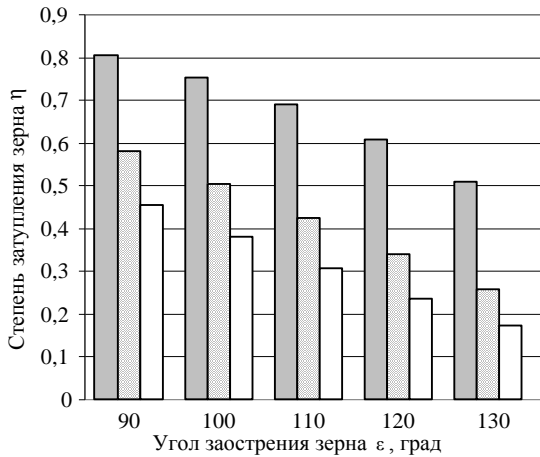


Рисунок 2 – Диапазон допустимой степени затупления зерна η в зависимости от угла заострения зерна ϵ для различных условий осуществления микрорезания по критерию отношения толщины среза к радиусу округления вершины зерна $[a_z/R]$:
 – 0,1; – 0,3; – 0,5

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

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

Тогда, в первом приближении полагая относительно незначимым влияние марки и зернистости алмазного шлифпорошка на $V_{з\epsilon\rho}$, 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 η 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 ε , 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 pri almazno-iskrovom shlifovanii // Sovremennye innovacii v nauke i tehnikе: Sb. nauch. tr. 4-oj mezhdunar. 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 shlifovanii almaznymi 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' tvrdosplavnih 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.* Osnovy almaznogo 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'nogo almaznogo 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 sinteticheskix almazov / *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 processa almaznogo shlifovanija // Visn. Nac. tehn. un-tu „Hark. politehn. in-t”. Zb. nauk. pr. Temat. vip.: Tehnologii v mashinobuduvanni. – 2005. – № 12. – S. 51-63.

Поступила в редакцию 25.06.2014