

УДК 621.928.4; 621.921.1:621.922.34

Г. А. Петасюк, канд. техн. наук

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

ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИТИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЖУЩИХ КРОМОК ЗЕРЕН АБРАЗИВНЫХ ПОРОШКОВ

Изложен новый компьютерно-аналитический метод опосредованного определения среднего значения угла заострения и количества режущих кромок зерен абразивных порошков. Приведены результаты тестирования разработанного метода на стандартных порошках синтетического алмаза и кубического нитрида бора.

Ключевые слова: абразивные порошки, порошки сверхтвердых материалов, режущие кромки, угол заострения, система уравнений, морфометрические характеристики.

Введение

Наличие углов заострения режущих кромок и их количество являются важным источником информации как для сравнительного анализа качества абразивных порошков и порошков сверхтвердых материалов (СТМ), так и исследования процессов алмазно-абразивной обработки. Вопросам взаимосвязи геометрических параметров зерен алмазных и абразивных порошков, включая углы заострения режущих кромок, с показателями процесса обработки и качеством обработанной поверхности посвящено большое количество научных публикаций [1–8]. В них отмечается, что геометрия вершин зерен влияет на характер их взаимодействия с обрабатываемым материалом [1]. Геометрические параметры зерен связаны с их механической прочностью, оказывая, таким образом, влияние на работоспособность алмазных инструментов [3]. Величина углов заострения режущих кромок влияет на толщину и глубину среза. По мнению исследователей А. М. Кузнецова и И. П. Голосова [6] именно более острые углы заострения и большее их количество обеспечивают более высокие эксплуатационные свойства алмазных кругов по сравнению с абразивными. Приведенный краткий обзор не исчерпывает всех положительных примеров прикладного аспекта фактора режущих кромок. Во всех приведенных примерах существенно то, что любое количественное исследование или анализ требуют наличия информации по величине углов заострения режущих кромок.

Обычно значения углов заострения режущих кромок определяют зарисовкой контура проекции на часовом проекторе вручную с последующим использованием для таких же измерений вручную углов специальных шаблонов [1]. При этом в качестве конечного результата для порошка определенной марки и зернистости принимают усредненные как по всему контуру проекции отдельного зерна, так и по совокупности проанализированной пробы зерен, значения углов заострения режущих кромок. Именно так были получены известные экспериментальные данные об углах заострения режущих кромок шлифпорошков синтетического алмаза (СА) и кубического нитрида бора (КНБ) [1–8]. Однако развития такие исследования не получили из-за трудоемкости процедуры определения конечного результата. В этой связи актуальной является задача усовершенствования существующих и разработки новых методов определения этой геометрической характеристики зерен, автоматизации процесса измерения.

В настоящее время благодаря применению технологий цифровой обработки изображений (так называемых ИМАГ-технологий) достигнуты значительные успехи в деле автоматизации практической диагностики размерных, геометрических и морфологических (совокупно морфометрических) характеристик абразивных порошков. Разработаны приборы,

позволяющие оперативно в автоматизированном режиме устанавливать такие специфические морфологические характеристики абразивных порошков, как периметр, площадь, форм-факторы проекции зерен, их шероховатость и пр. [9]. И хотя указанные характеристики непосредственно не дают ответа на вопрос о величине углов заострения режущих кромок и их количестве, тем не менее, определенно характеризуют их, а потому их можно использовать для опосредованной оценки углов заострения.

Методика расчетного определения угла заострения и количества режущих кромок

В Институте сверхтвердых материалов (ИСМ) им. В. Н. Бакуля НАН Украины разработан оригинальный метод компьютерно-аналитического определения среднего значения Φ угла заострения и количества N режущих кромок абразивного порошка. Согласно этому методу угол Φ находится из полученной нами системы трансцендентных уравнений

$$f - \frac{n \cdot R_{\sigma}^2 \cdot \operatorname{tg}(\pi / N)}{\pi [R_{\sigma} - \operatorname{tg}(\pi / N) \cdot \sqrt{R_{\sigma}^2 - 1}]} = 0, \quad \Phi = \frac{\pi(N-2)}{2N} - \arccos(R_{\sigma}^{-1}).$$

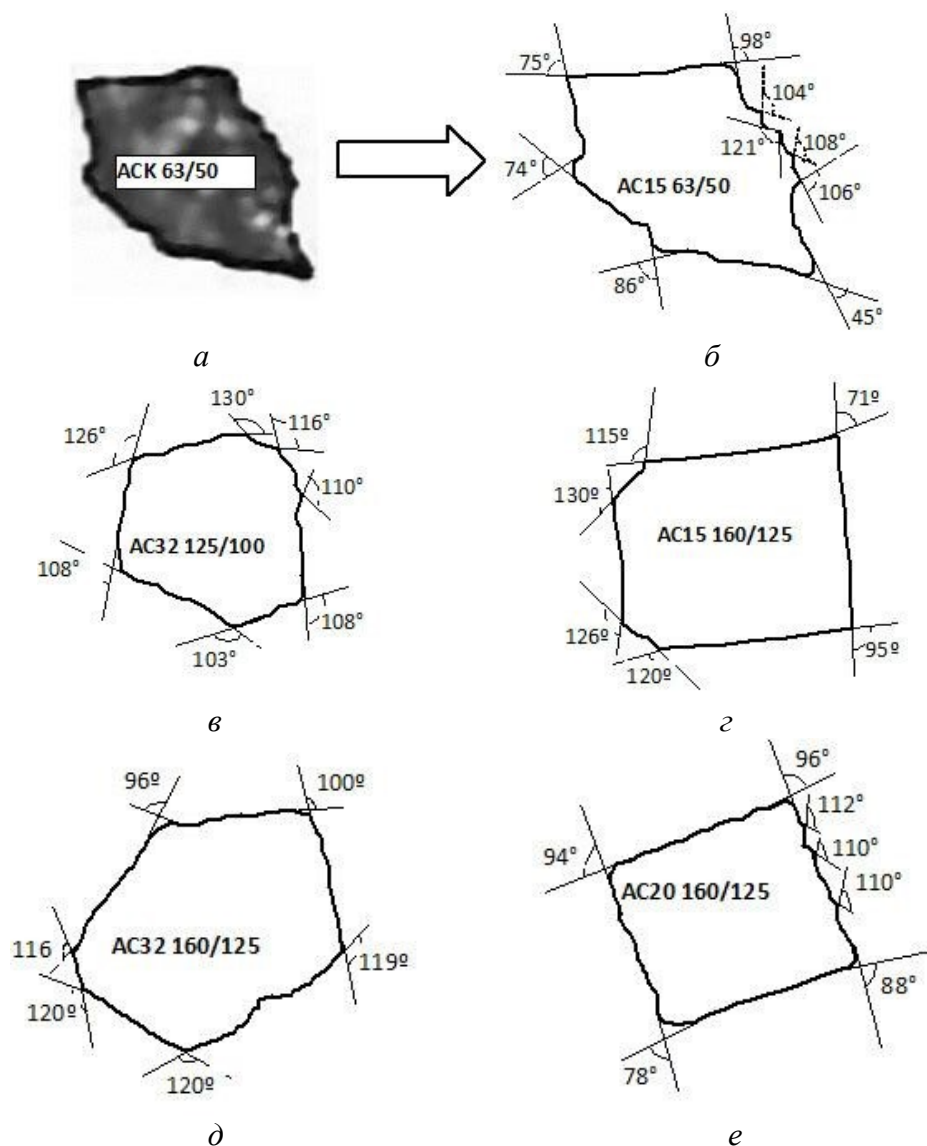
Исходными данными для решения такой задачи служат форм-фактор f и шероховатость R_{σ} зерен абразивного порошка, а N и Φ – неизвестными приведенных уравнений. Форм-фактор f характеризует степень округлости проекции зерна, шероховатость R_{σ} – степень развитости его поверхности [9]. Обе эти характеристики диагностируются, например, имеющимся в ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины прибором DiaInspect.OSM [10] или другим аналогичным по назначению.

Приведенная система получена путем геометрического моделирования контура проекции зерен алмазных порошков правильными звездообразными многоугольниками. Такие многоугольники имеют два типа вершин – вершины-выступы и вершины-углубления. Указанная классификация основана на значении угла у их вершин. У вершин-выступов, которые интерпретируются как режущие кромки, угол равен меньше 180° , для вершин-углублений – превышает 180° . В аналитическом виде были получены геометрические параметры проекций-моделей, являющиеся аналогами известных из цифровой обработки изображений и общепринятых в практике абразивных порошков морфометрических характеристик [11]. Путем математической обработки такой информации были выведены приведенные уравнения связи этих характеристик с количеством вершин-выступов и углом их заострения.

Предложенный метод определения N и Φ состоит в следующем. Анализируют пробу порошка зерен на приборе DiaInspect.OSM. В ранних версиях этого прибора максимально возможное количество диагностируемых зерен не превышало 2000, в современных – до 6000. Получают значения необходимых характеристик f и R_{σ} . Подставляя их в первое уравнение приведенной системы определяют соответствующее им значение N . Поскольку первое уравнение этой системы является трансцендентным, для его решения применяют численные методы, в частности итерационный с предварительным выделением интервалов с корнями. Затем по второму уравнению системы вычисляют среднее значение угла заострения Φ .

Экспериментальная проверка метода

Экспериментальную проверку предлагаемого компьютерно-аналитического метода опосредованного определения угла заострения режущих кромок зерен абразивных порошков проводили путем сравнения как с опубликованными в научно-технической литературе, так и собственными экспериментальными данными. Собственные экспериментальные исследования углов заострения режущих кромок проводили непосредственным их измерением. Эту процедуру проводили на выделенных из электронно-цифровых DiaInspect-фотографий и вынесенных затем в отдельную картинку (см. рисунки *a*, *б*) контурах проекции зерен.



Результаты идентификации и измерения углов заострения

На полученных таким способом плоских геометрических фигурах (см. рисунки б–е) – точных копиях контура (границы) проекции – визуально идентифицировали режущие кромки зерен шлифпорошков некоторых марок и зернистостей и вручную измеряли углы их заострения.

Среднее значение угла заострения определяли так: $\Phi = N^{-1} \sum_{n=1}^N 2\varphi_n$, где N –

количество режущих кромок на исследуемом зерне; φ_n – угол заострения режущей кромки с номером n ($n = 1, 2, \dots, N$). Расчетные средние значения угла заострения режущих кромок исследуемых порошков, вычисленные предлагаемым методом, были такими: АС15 63/50 – 88,8°; АС32 125/100 – 114,3°; АС15 160/12 – 106,1°; АС32 160/125 – 114,1°; АС20 160/125 – 98,4°. Полученные описанным способом экспериментальные значения углов по результатам обработки одного зерна составили: АС15 63/50 – 90,8°; АС32 125/100 – 114,4°; АС15 160/125 – 110,3°; АС32 160/125 – 111,8°; АС20 160/125 – 98,3°. Сравнительный анализ расчетных и экспериментальных данных свидетельствует о хорошем их совпадении.

Представляет практический интерес применение разработанных научно-методических средств к конкретным абразивным порошкам, в частности СА и КНБ, поскольку именно для этих сверхтвердых дисперсных материалов имеются как собственные результаты

диагностики морфологических характеристиках, так и экспериментальные данные для углов заострения режущих кромок [1–8].

С использованием созданных научно-методических средств рассчитывали углы заострения режущих кромок порошков СА и КНБ, отвечающие требованиям нормативных документов [11; 12] на эти порошки. Исследовали микропорошки марки АСМ, а также шлифпорошки марок АС2–АС100, КВ некоторых зернистостей (см. таблицу).

Экспериментальные и расчетные данные углов заострения (Φ , град.) режущих кромок стандартных шлифпорошков СА и КНБ

Марка и зернистость, мкм, шлифпорошков		Значение угла заострения Φ	
		экспериментальное	расчетное
АС2	80/63	104 [3]	96,4
	63/50	114 [3]	97,5
АС4	160/125	111 [2]	98,7
	125/100	119 [2], 117 [3], 96 [4]	95,0
	100/80	115 [2], 127 [3], 100,4±3,8 [9]	93,4
АС6	160/125	115 [2], 105 [3]	103,0
	125/100	123 [2], 120 [3], 100,7 [4]	96,0
	63/50	112 [2]	98,3
	50/40	109 [2], 117 [3]	99,6
АС15	160/125	105 [3]	98,8
	125/100	120 [3], 117,2±3,4 [9]	97,7
	100/80	—	101,8
	80/63	—	105,0
	50/40	—	99,0
АС20	315/250	—	101,9
АС32	400/315	—	109,6
	500/400	—	115,8
АС50	400/315	—	111,0
	315/250	—	113,0
	250/200	—	112,9
	160/125	—	116,3
АС100	315/250	—	112,1
КВ	125/100	84 [5]	97,4
	160/125	—	95,7

В целях получения необходимых для такого расчета начальных данных предварительно диагностировали морфометрические характеристики исследуемых порошков прибором DiaInspect.OSM. Результаты расчета шлифпорошков СА и КНБ приведены в таблице. Кроме того, в таблице приведены экспериментальные значения углов заострения

режущих кромок исследуемых шлифпорошков СА и КНБ в объеме, в котором эти данные были приведены в соответствующих первоисточниках [1–8]. Для микропорошков СА марки АСМ расчетные значения средних значений углов заострения зерен по зернистостям были такими: 60/40 – 103,27°; 40/28 – 98,37°; 28/20 – 96,67°; 20/14 – 94,25°; 14/10 – 92,72°.

Обсуждение результатов исследований

Сравнительный анализ известных и собственных экспериментальных данных углов заострения режущих кромок и полученных расчетных значений дает основания сделать положительный вывод об их совпадении. Расхождения объясняются с одной стороны, идеализациями, которые были приняты при разработке используемой методики. С другой стороны, фактор неполной идентичности порошков, к которым относятся экспериментальные и расчетные данные. Еще одним объективным источником расхождения является разное количество измеренных зерен. Использованный авторами работ [1–8] способ экспериментального измерения углов заострения режущих кромок с помощью специальных шаблонов позволил проанализировать несколько десятков зерен. В осуществленном нами исследовании было проанализировано 1500–2000 зерен. В отдельных случаях при идентификации режущей кромки может наблюдаться влияние субъективного фактора – выбор точек перехода прямолинейной части проекции зерна в радиусную. Наконец, как следует из данных таблицы, наблюдается разобщенность известных экспериментальных данных, относящихся к одному и тому же порошку.

Исходя из изложенного, можно утверждать, что полученные расчетные данные согласуются с экспериментальными. Относительно характера изменения расчетных значений углов заострения режущих кромок в зависимости от марки и зернистости порошка, на исследовавшемся объеме порошков более явно просматривается влияние марки, а именно: углы заострения режущих кромок порошков более высоких марок несколько большие. Наблюдается также тенденция увеличения (от 2 до 16%) угла заострения с повышением зернистости. Однако эта тенденция не стабильна. На подобный характер взаимосвязи отмеченных факторов, но с большей тенденцией, указано в работе [8].

Выводы

Разработан новый метод опосредованного определения углов заострения режущих кромок зерен абразивных порошков. Результаты тестирования метода на порошках СА и КНБ показали хорошую совместимость и согласованность расчетных и экспериментальных данных. С использованием разработанного метода впервые получены новые данные об углах заострения режущих кромок зерен шлифпорошков СА и КНБ некоторых марок и зернистостей. В то же время на проанализированном объеме порошков не наблюдалось стабильности характера влияния марки и зернистости порошка на тенденцию изменения значений углов заострения режущих кромок зерен.

Викладено новий комп'ютерно-аналітичний метод опосередкованого визначення середнього значення кута загострення і кількості різальних кромок зерен абразивних порошків. Наведено результати тестування розробленого методу на стандартних порошках синтетичного алмазу та кубічного нітриду бору.

Ключові слова: абразивні порошки, порошки надтвердих матеріалів, різальні кромки, кут загострення, система рівнянь, морфометричні характеристики.

New computed-aided analytical methods of mediated determination of average value of cutting-point angle and number of cutting edges of abrasive powder grains is disclosed. The results of testing of the developed method on the standard synthetic diamond and cubic boron nitride powders are presented.

Key words: abrasive powders, powders of superhard materials, cutting edges, cutting-point angle, set of equations, morphometric characteristics.

Литература

1. Порошки и пасты из синтетических алмазов / Ю. И. Никитин, С. М. Уман, Л. В. Коберниченко и др. – К.: Наук. думка, 1992. – 284 с.
2. Никитин Ю. И. Технология изготовления и контроль качества алмазных порошков. – К.: Наук. думка, 1984. – 264 с.
3. Пивоваров М. С. Особенности геометрических параметров синтетических алмазов // Алмазы. – 1971. – Вып. 7. – С. 8–9.
4. Ящерицин П. И., Зайцев А. Г. Повышение качества шлифованных поверхностей и режущих свойств абразивно-алмазного инструмента. – Минск: Наука и техника, 1972. – 480 с.
5. Хрульков В. А., Головань А. Я. Обрабатываемость алмазным инструментом твердых и хрупких материалов // Обработка машиностроительных материалов алмазным инструментом. – М.: Наука, 1966. – С. 93–99.
6. Кузнецов А. М., Голосов И. П. Влияние геометрических параметров синтетических алмазных зерен на их режущие свойства // Станки и инструмент. – 1964. – № 12. – С. 28–29.
7. Маслов Е. Н. Теоретические основы процесса алмазной обработки материалов // Обработка машиностроительных материалов алмазным инструментом. – М.: Наука, 1966. – С. 14–29.
8. Исследование геометрических параметров зерен СТМ, применяемых в абразивосодержащих композитах / В. И. Лавриненко, А. А. Шепелев, Л. И. Песчанская, О. В. Кирпа // Абразивосодержащие композиты из сверхтвердых материалов: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ АН УССР, 1990. – С. 107–111.
9. Петасюк Г. А. Діагностика морфометричних характеристик порошків надтвердих матеріалів засобами цифрової обробки зображень // Відбір і обробка інформації. – 2009. – Вип. 30 (106). – С. 138–145.
10. List E., Frenzel J., Vollstaedt H. A new system for single particle strength testing of grinding powders // Industr. Diamond Rev. – 2006. – N 1. – P. 42–47.
11. ДСТУ 3292-95. Порошки алмазні синтетичні. Загальні технічні умови. Введ. 01.01.96. – К.: Держстандарт України, 1995.
12. ТУ У 88.090.018-96. Порошки кубического нитрида бора (кубонита). Технические условия. – К.: ИСМ НАН Украины, 1996. – 48 с.

Поступила 18.04.13