

УДК 621.921.27:620.186.82

КОЭФФИЦИЕНТ ФОРМЫ ЗЕРЕН ФРАКЦИЙ ШЛИФОВАЛЬНЫХ ПОРОШКОВ КАРБИДА КРЕМНИЯ ЧЕРНОГО

Носенко В.А., Александров А.А., Авилов А.В.

Волжский политехнический институт (филиал) Волгоградского государственного технического университета, Волжск, e-mail: nosenko@volpi.ru, alexalexal2011@yandex.ru, avilov@volpi.ru

Формы и размеры зерен шлифовальных порошков оказывают влияние на показатели абразивного инструмента и процессов абразивной обработки, в том числе режущую способность, износостойкость и качество поверхности деталей машин. Ранее проведенные исследования геометрических размеров зерен требуют актуализации, поскольку с 2006 года изменился стандарт на зерновой состав шлифовальных порошков. В данной статье исследовали коэффициент формы зерен, под которым понимали отношение их длины к ширине, для шлифпорошков из карбида кремния черного зернистостей F36-F180. Зерна фотографировали под микроскопом и обрабатывали полученные изображения в специальном программном обеспечении. Устанавливали закон распределения коэффициента формы зерен фракций, а также исследовали силу связи коэффициента формы с шириной зерен.

Ключевые слова: шлифовальные порошки, зернистость, фракция, коэффициент формы зерен, сила связи, ширина зерен, коэффициент корреляции

THE SHAPE FACTOR OF GRINDING POWDERS FRACTIONS OF BLACK SILICON CARBIDE

Nosenko V.A., Aleksandrov A.A., Avilov A.V.

Volzhsky Polytechnic Institute (branch) of Volgograd State Technical University, Volzhsk, e-mail: nosenko@volpi.ru, alexalexal2011@yandex.ru, avilov@volpi.ru

Shapes and sizes of grain grinding powders affects the indices of the abrasive tool and abrasive machining processes including cutting ability, wear resistance and surface quality of machinery parts. Earlier studies of geometric grain size requires updating, because of the changes in the standard on sieving grinding powders since 2006. This article explored the aspect ratio of the grains, which is defined as the ratio of length to width, for grinding powders of black silicon carbide grit F36-F180. The grains were photographed under a microscope and images received were processed in special software. Law of the grain shape factor distribution was established, and also investigated the power coupling coefficient form with a grain width.

Keywords: grinding powders, grain, fraction, grain shape factor, strength of connection, grain width, correlation coefficient

Одним из актуальных вопросов теории и практики абразивной обработки является исследование геометрических размеров и формы зерен шлифпорошков. Актуальность обусловлена тем, что многие показатели абразивного инструмента и процесса абразивной обработки деталей машин зависят от формы и размера зерен применяемых порошков. Например, режущая способность и износостойкость абразивного инструмента, сила и температура резания, качество обработанной поверхности [1, 2]. Кроме того, начиная с 2006 года в нашей стране действует новый стандарт на зерновой состав шлифовальных порошков ГОСТ Р 52381-2005, что требует актуализации ранее проведенных исследований геометрии зерен шлифпорошков.

Из всех геометрических параметров зерен шлифпорошков в наибольшей степени исследованной можно считать ширину зерен [4, 12], лежащую в основе классификации шлифовальных порошков по зернистости при их изготовлении в процессе посева на ситах.

Ширина зерен для большинства порошков и отдельных фракций подчиняется нормальному закону распределения [3, 7, 8, 13, 15]. Нормальное распределение наиболее часто используется при описании распределения параметров исходных характеристик шлифпорошков и рабочей поверхности абразивного инструмента [5]. Более подробный анализ шлифпорошков из карбида кремния черного зернистостью F36-F180 [9, 10] выявил, что у фракций, оседающих на втором контрольном сите и поддоне, закон распределения ширины зерен отклоняется от нормального [9]. Связь средней ширины зерен самых крупных фракций с размером ячейки проходного сита отклоняется от линейной зависимости [10], а во фракциях с одинаковым размером ячейки проходного сита средняя ширина зерен увеличивается в большей зернистости.

Коэффициент формы зерен, под которым понимали отношение длины зерен к их ширине l/b , является одним из важнейших геометрических параметров зерен шлифо-

вальных порошков. Именно он лежит в основе классификации формы зерен на изометричные ($l/b < 1,3$), игольчатые ($l/b > 2$) и промежуточные ($1,3 < l/b < 2$) разновидности, каждая из которых применяется в различных случаях абразивной обработки.

При исследовании геометрических параметров зерен микрошлифпорошков зернистостей M14-M40 установлено [11], что из всех параметров l/b имеет наибольшие значения асимметрии ($As = 1,7$) и эксцесса ($Ek = 4 \dots 5$), что свидетельствует об отличии данного параметра от нормального закона распределения. Установлено также, что ни среднее значение, ни дисперсия параметра l/b не зависят от зернистости.

Цель данной работы заключалась в исследовании коэффициента формы зерен. Задачами работы являлись, во-первых, исследование закона распределения коэффициента формы зерен фракций шлифовальных порошков из карбида кремния черного зернистостью F180-F36 и, во-вторых, определение силы связи коэффициента формы с шириной зерен.

Материалы и методы исследования

В работе анализировались серийно изготавливаемые на ОАО «Волжский абразивный завод» шлифовальные порошки карбида кремния черного марки 54С семи зернистостей: F36, F46, F60, F70, F90, F120, F180. Указанные шлифпорошки, высушенные при 105 °С в течение 30 минут, рассеивали на фракции машины типа RO-TAP. Отбор проб зерен из каждой фракции производили методом квартования. Выборки зерен в каждой фракции имели объем от 600 до 1500 зерен, общее количество выборок – 34. Остаток на поддоне зернистости F46 не учитывали, так как его масса составляла менее 0,1 г.

Длину и ширину зерен измеряли в специальном программном обеспечении [14] по электронным фотографиям проекций профиля зерен. Фотографирование зерен производили под микроскопом с помощью камеры высокого разрешения 5 Мпикс. При визуальном просмотре удаляли склеенные зерна. Расстояние между двумя максимально удаленными точками профиля принимали за вектор длины зерна, а наибольшее расстояние, перпендикулярное этому вектору – за вектор ширины зерна.

Погрешность измерения длины и ширины зерна не превышала 5%, а погрешность коэффициента формы l/b – 10%.

Результаты исследования и их обсуждение

Для графической интерпретации распределения параметра l/b определяли вариационный размах его значений в каждой выборке и делили на 10–15 групп. Если частота попадания значений в некоторой группе была меньше 9, рассматриваемую группу объединяли со следующей. По критерию Пирсона проверяли соответствие длины зерен нормальному закону распределения. Уровень значимости при проверке статистических гипотез принимали равным 0,05.

Подавляющее большинство кривых распределения имеют удлиненную правую ветвь. Для представленных на рис. 1 данных коэффициент асимметрии колеблется в диапазоне 1,105–2,357, эксцесса – 1,615–10,179. Таким образом, интервал варьирования значений асимметрии и эксцесса в данном случае еще больше, чем у микропорошков [11]. Установлено, что распределение отношения длины к ширине зерен не подчиняется нормальному закону ни в одной выборке.

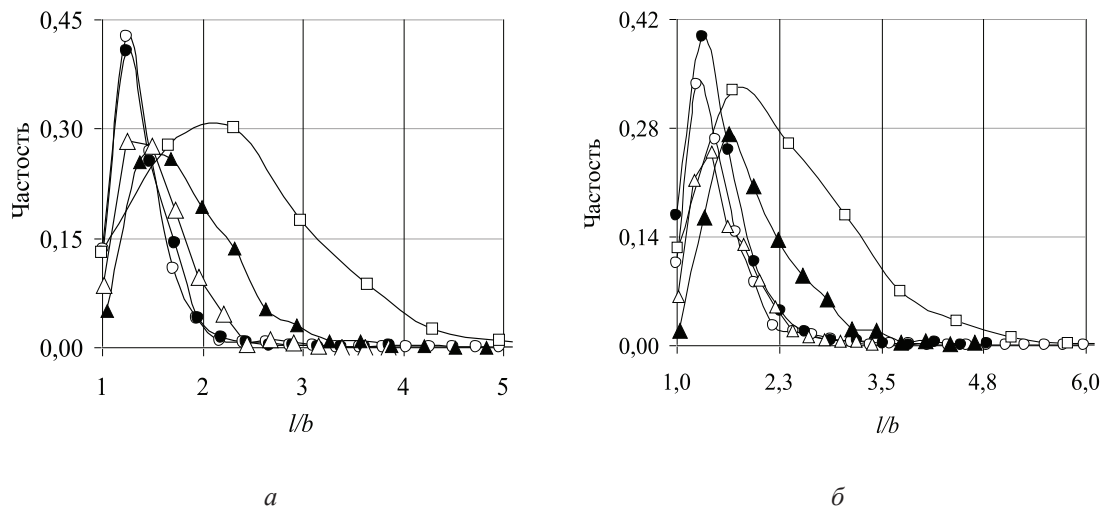


Рис. 1. Плотность распределения l/b зерен фракций шлифовальных порошков F36 (а) и F70 (б): \circ – Q_2 ; \bullet – Q_3 ; \blacktriangle – Q_4 ; \triangle – Q_5 ; \square – Q_6

Таблица 1

Значения коэффициентов корреляции между всеми значениями геометрических параметров l/b и b в зернистостях

Зернистость	F36	F46	F60	F70	F90	F120	F180
Коэффициент корреляции	-0,580	-0,532	-0,547	-0,614	-0,631	-0,401	-0,389

Таблица 2

Значения коэффициентов корреляции между средними значениями геометрических параметров фракций $(l/b)_m$ и b_m в зернистостях

Зернистость	F36	F46	F60	F70	F90	F120	F180
Коэффициент корреляции	-0,963	-0,852	-0,944	-0,979	-0,850	-0,901	-0,979

Если исходить из формы кривых и значений коэффициентов асимметрии, можно высказать гипотезу о возможности распределения по логарифмически нормальному закону. Значения l/b были прологарифмированы и обработаны статистически. Установлено, что даже после этого во фракциях Q_2 и Q_3 рассматриваемых зернистостей логарифмически нормальному закону не подчиняется ни одна выборка. Подчиняются логарифмически нормальному закону около 80% выборок фракций Q_4 и Q_5 анализируемых зернистостей. Всего из 34 выборок около 40% имеют логарифмически нормальный закон распределения.

Проведено исследование силы связи значений l/b и b . Если все полученные в работе значения l/b свести в один массив, то коэффициент корреляции l/b и b составил $r = -0,177$, что согласно классификации Чеддока [6] свидетельствует о слабой корреляционной зависимости. Поэтому сила связи исследовалась внутри каждой зернистости. Полученные значения коэффициентов корреляции приведены в табл. 1.

Получили, что при уменьшении интервала варьирования исходных данных коэффициенты корреляции l/b и b увеличились. В данном случае можно говорить о средней силе связи между рассматриваемыми параметрами. Отрицательный знак коэффициента корреляции указывает на то, что связь параметров обратно пропорциональная: при уменьшении параметра b увеличивается параметр l/b .

Если рассматривать силу связи только между средними геометрическими параметрами в каждой фракции для всех зернистостей, то значение коэффициента корреляции равно $r = -0,269$, что свидетельствует о низкой силе связи. Коэффициенты корреляции вычисляли для отдельных зернистостей (табл. 2).

Установлено, что в пределах любой зернистости сила связи между средними значениями параметров фракций, согласно

классификации Чеддока, является высокой. В качестве примера на рис. 2 приведена графическая интерпретация связи.

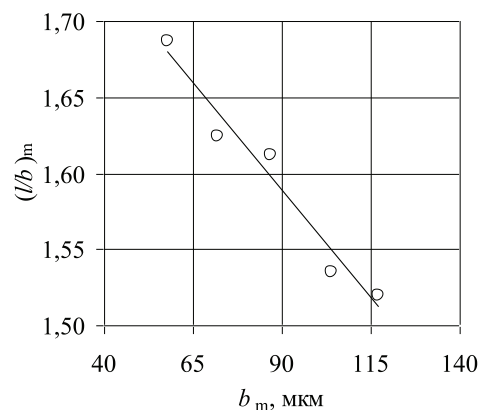


Рис. 2. Зависимость среднего коэффициента формы $(l/b)_m$ от средней ширины зерен b_m во фракциях зернистости F180

Для исследования возможности расчета среднего коэффициента формы зерен фракции $(l/b)_m$ как частного от деления средней длины зерен фракции l_m на среднюю ширину зерен фракции b_m , указанные значения сравнивали и определяли относительную погрешность расчета Δ . В качестве примера в табл. 3 приведены результаты сравнения для одной из зернистостей.

Таблица 3

Среднее значение коэффициента формы $(l/b)_m$ и частное средних l_m и b_m для фракций зернистости F180

Параметр	Фракция				
	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6
$(l/b)_m$	1,487	1,500	1,563	1,569	1,603
l_m/b_m	1,520	1,535	1,612	1,624	1,687
$\Delta, \%$	2,1	2,3	3,1	3,3	4,9

Таблица 4

Изменение процентного содержания
изометричных зерен ($l/b < 1,3$)
во фракциях анализируемых зернистостей

Зернистость	Фракция				
	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6
F36	46,3	42,9	29,9	10,3	10,5
F46	50,9	40,7	31,5	11,8	—
F60	34,7	33,0	23,6	16,7	12,1
F70	36,3	35,0	25,9	6,9	10,3
F90	33,0	33,9	26,4	15,6	3,9
F120	46,8	41,8	30,6	13,7	29,9
F180	39,5	35,8	25	27,3	24,5

Таблица 5

Изменение процентного содержания
игольчатых зерен ($l/b > 2$)
во фракциях анализируемых зернистостей

Зернистость	Фракция				
	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6
F36	2,9	3,4	9,7	32,6	59,4
F46	6,2	6,8	9,2	30,2	—
F60	10,9	8,6	15,3	28,5	46,3
F70	8,4	10,7	14,5	37,9	56,3
F90	11,4	9,0	11,3	18,5	55,6
F120	4,8	7,5	10,8	30,9	26,3
F180	11,3	12,9	15	16,6	20,4

Проведя аналогичный расчет для всех анализируемых зернистостей, получили, что средняя относительная погрешность составила 2,2%, а максимальная относительная погрешность – 4,9%. Последнее значение меньше, чем погрешность измерения коэффициента формы, в 2 раза, поэтому точность расчета среднего коэффициента формы по средним значениям его составляющих допустима.

Коэффициент формы рассматривали как границу классификации формы зерен 3 группы – изометричные ($l/b < 1,3$), игольчатые ($l/b > 2$) и промежуточные ($1,3 < l/b < 2$). В каждой исследуемой фракции шлифовальных порошков вычисляли процентное содержание зерен данных групп. Процентное содержание зерен изометричной разновидности приведено в табл. 4, игольчатой – табл. 5.

Получили, что с уменьшением размера ячейки проходного сита (от фракции Q_2 до Q_6) во всех зернистостях количество изометричных зерен убывает. Причем для всех зернистостей, кроме F120 и F180, оно уменьшается более существенно, чем размер ячейки сита. Например, для зернистости F90 количество изометричных зерен убывает почти в 10 раз, в то время как размер ячейки проходного сита уменьшается с 250 до 106 мкм, или в 2,4 раза.

Установили, что количество игольчатых зерен при уменьшении размера ячейки проходного сита во всех зернистостях увеличивается. Для всех зернистостей, кроме F180, оно увеличивается более существенно, чем уменьшается размер ячейки проходного сита. Например, для зернистости F36 количество игольчатых зерен возрастает почти в 20 раз, в то время как размер ячейки проходного сита уменьшается с 800 до 355 мкм, или в 2,4 раза.

Процентное содержание зерен промежуточной разновидности, как показали подсчеты, во фракциях Q_2 – Q_5 рассмотренных зернистостей практически одинаково и составляет примерно 45–55%. Во фракциях Q_6 зернистостей имеется около 30–40% промежуточных зерен.

Выводы

1. Распределения коэффициента формы l/b фракций имеют удлиненную правую ветвь, характеризуются положительными значениями асимметрии и эксцесса и не подчиняются нормальному закону. После логарифмирования около 80% фракций Q_4 и Q_5 рассматриваемых зернистостей стали подчиняться логарифмически нормальному закону. Из всех выборок около 40% подчиняются логарифмически нормальному закону распределения.

2. Корреляционная связь между коэффициентом формы l/b и шириной зерна b обратно пропорциональная: при уменьшении параметра b параметр l/b возрастает. Сила связи растет по мере уменьшения интервала варьирования данных. Наибольшей силой обладает связь между средними значениями $(l/b)_m$ и b_m внутри каждой зернистости.

3. При уменьшении размера ячейки проходного сита доля изометричных зерен с коэффициентом формы $l/b < 1,3$ во фракциях анализируемых зернистостей убывает; доля игольчатых зерен с коэффициентом формы $l/b > 2$ возрастает; доля промежуточных зерен для всех фракций, кроме самой мелкой, оседающей на поддоне, примерно одинакова и составляет 45–55%.

4. Среднее значение коэффициента формы можно получить делением средней длины зерна на среднюю ширину. Погрешность такого расчета составляет не более 5%.

Список литературы

1. Абразивная и алмазная обработка материалов. Справочник. Под ред. д-ра техн. наук проф. А.Н. Резникова. – М.: Машиностроение. – 1977. – 391 с.
2. Байкалов А.К. Введение в теорию шлифования материалов. – К.: Наукова думка. – 1978. – 207 с.
3. Ваксер Д.Б. Исследование геометрии и размеров абразивного зерна // Абразивы. – 1956. – № 16. – С. 3–15.
4. Гаршин А.П. Абразивные материалы и инструменты. Технология производства / А.П. Гаршин, С.М. Федотова // Под общей редакцией А.П. Гаршина. – СПб.: Изд-во Политехнического университета. – 2008. – 1010 с.
5. Грабченко А.И. 3D моделирование алмазно-абразивных инструментов и процессов шлифования / А.И. Грабченко, В.Л. Доброскок, В.А. Федорович. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. – 364 с.
6. Елисеева И.И. Общая теория статистики / И.И. Елисеева, М.М. Юзбашев // Финансы и статистика. – 2005. – 657 с.
7. Королев А.В. Геометрические параметры режущей части абразивных зерен / А.В. Королев, А.Н. Васин, В.А. Назарьева, О.П. Решетникова // СТИН, 2014. – № 3. – С. 18–23.
8. Михайлов М.И. Влияние абразивосодержащего наполнителя на прочность композиционного материала на основе латуни / М.И. Михайлов, Д.В. Никитенко // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. – 2012. – № 3. – С. 35–42.
9. Носенко В.А. Распределения ширины зёрен шлифовальных порошков из карбида кремния чёрного различных зернистостей / В.А. Носенко, А.А. Александров // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2015. – № 2. – С. 111–117.
10. Носенко В.А. Связь ширины зёрен шлифовальных порошков из карбида кремния чёрного с размерами ячеек контрольных сит / В.А. Носенко, А.А. Александров // Известия вузов. Машиностроение. – 2015. – № 5. – С. 74–80.
11. Носенко В.А. Статистические параметры геометрических размеров зерен микрошлифпорошков карбида кремния / Носенко В.А., Макушкин И.А., Шегай А.А. // Изв. ВолгГТУ. Межвуз. сб. науч. ст. ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – Вып. 7. – № 13. – С. 32–34.
12. Основы проектирования и технология изготовления абразивного и алмазного инструмента / В.Н. Бакуль и др. – М.: Машиностроение, 1975. – 296 с.
13. Островский В.И. Теоретические основы процесса шлифования. – Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1981. – 144 с.
14. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2011610144, 11.01.11. Программа для автоматизированного определения геометрических параметров шлифовального зерна по фотографии «Зерно НМ ВПИ» / В.А. Носенко, А.А. Рыбанов, И.А. Макушкин, А.А. Шегай, К.А. Букштанович. – ВолгГТУ, 2011.
15. Bezykornov A.I. Grain geometry and strength of some refractory-compound powders / A.I. Bezykornov, N.I. Bogomolov and M.S. Kovalchenko // Powder Metallurgy and Metal Ceramics. – 1969. – V. 8, № 6. – P. 481–485.