

Машиностроение и машиноведение

УДК 621.921.27:620.186.82

DOI: 10.12737/article_58f9c4d9ecb004.36348769

В.А. Носенко, А.А. Александров

ЗАВИСИМОСТЬ СРЕДНЕГО И ДИСПЕРСИИ ШИРИНЫ ЗЕРЕН ШЛИФОВАЛЬНЫХ ПОРОШКОВ КАРБИДА КРЕМНИЯ ЧЕРНОГО ОТ РАЗМЕРА ЯЧЕЙКИ ПРОХОДНОГО СИТА

Представлена математическая модель теплообмена в системе охлаждения сборных режущих инструментов при сухом резании. Поглощение тепла достигается при изменении агрегатного состояния легкоплавких веществ и основано на применении фазовых переходов первого рода. В результате решения задачи Стефана определено

определено время продолжительности термостабилизации процесса резания.

Ключевые слова: карбид кремния черный, зернистость, фракция, ширина зерна, нормальное распределение, среднее, дисперсия, размер ячейки сита.

V.A. Nosenko, A.A. Alexandrov

DEPENDENCE OF THE MEAN AND DISPERSION OF GRAIN WIDTH OF SILICON CARBIDE BLACK GRINDING POWDERS ON THE MESH SIZE OF A PASS SIEVE

Silicon carbide black grinding powders 54CF180-F36, mass-produced at Volzhsky Abrasive Plant are studied. Powders are screened into fractions according to GOST R 52381. Measurement of a grain width of each fraction was carried out by means of a photometric method using specially developed software. For the vast majority of fractions the grain width follows the normal distribution law. The deviation of the grain width from the normal law can be observed at the fractions settled on the second sieve and the pallet. With decreasing the nominal mesh size of a pass sieve in each grit size the arithmetic mean of grain width of

the main fraction decreases, dispersion reduces from the fraction settling on the second sieve to the fourth and increases at the fraction settling on the pallet. In case of the identical mesh size of a pass sieve the mean and dispersion of grain width fraction increase with grinding powder grit increase. For each grit size the functional dependences of the mean and dispersion of grain width fraction on a mesh size of a pass sieve are established.

Key words: black silicon carbide, grit size, fraction, grain width, normal distribution, mean, dispersion, mesh size of a sieve.

Введение

Геометрические параметры зерен шлифовальных порошков оказывают существенное влияние на режущую способность и износостойкость абразивного инструмента, силу и температуру резания, качество обработанной поверхности [1]. Поэтому исследование формы и размеров зерен шлифовальных порошков относится к актуальным вопросам абразивной обработки. О целесообразности проведения данных исследований свидетельствует и переход на стандарт ГОСТ Р 52381, где цифра в условном обозначении зернистости дается в мешах, соответствующих числу отверстий, приходящихся на 1 линейный дюйм (25,4 мм). Для определения ис-

тинного размера стороны ячейки сита необходимо учитывать диаметр проволоки, из которой это сито изготовлено. ГОСТ Р 52381 включает в себя модифицированные версии двух международных стандартов ИСО 8486-1:1986 и ИСО 6344-2:1998. В соответствии с новым стандартом изменились размеры сит фракций.

Одним из определяющих и наиболее исследованных геометрических параметров шлифовальных порошков является ширина зерна [2-4]. Во многом это объясняется тем фактом, что именно данный параметр лежит в основе классификация шлифовальных порошков по зернистости в процессе отсева на ситах при изготовлении. Для шлифовальных порошков зерни-

стостей $F36-F180$, с учетом допуска на размер ячейки сита, обоснованы предельные размеры ширины зерен фракций, получаемые при рассеве на контрольных ситах [5].

Ширина зерен микрошлифпорошков карбида кремния зеленого зернистостью M14-M28 (ГОСТ 3647), полученных методом воздушной сепарации (производитель ООО «Микро»), подчиняется нормальному закону распределения. Установлена зависимость средней ширины зерен b_c от условного обозначения зернистости Z : $b_c=0,67Z$ [4, 7]. Кривые плотности распределения приведенного по объему среднего диаметра зерен микрошлифпорошков, тонких микрошлифпорошков и шлифпорошка карбида кремния, измеренных методом лазерной дифракции, имеют выраженную асимметрию [8, 9], и вряд ли будут соответствовать нормальному распределению.

Вариационный размах ширины зерен шлифовальных порошков одной зернистости весьма значительный. Например, ширина зерен шлифовальных порошков из карбида кремния черного зернистостей $F36$ и $F90$ изменяется соответственно в диапазонах 407...764 мкм и 130...226 мкм [5]. Поэтому, для контроля зернового состава шлифовальные порошки разделяют на фракции с уменьшенными диапазонами варьирования геометрических размеров (ГОСТ Р 52381). Геометрические размеры зерен также целесообразно измерять для отдельных фракций.

Средний эффективный размер r_3 зерен основных фракций зернистостей 10-80 (ГОСТ 3647) получен в работе [10], его связь с размером ячейки нижнего сита W_n : $r_3 \approx W_n$. Но установленная закономерность нарушается, если рассматривать аналогичную взаимосвязь с учетом смежных фракций внутри зернистости [11]. В подавляющем большинстве работ не представлены дисперсии геометрических параметров зерен.

Исходя из этого, цель работы заключалась в исследовании взаимосвязи среднего арифметического и дисперсии ширины зерен шлифовальных порошков, полученных методом отсева на контрольных ситах по ГОСТ Р 52381, с размером ячейки

контрольных сит.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи: определить зерновой состав шлифовальных порошков различной зернистости; измерить ширину зерен всех фракций и установить закон распределения ширины; исследовать влияние размера ячейки сита на среднее и дисперсию ширины зерен фракций.

Методика исследования

В качестве абразивного материала выбраны шлифовальные порошки карбида кремния черного марки 54С качества F (ГОСТ Р 52381), серийно изготавливаемые на ОАО «Волжский абразивный завод» следующих зернистостей: $F36$, $F46$, $F60$, $F70$, $F90$, $F120$, $F180$. Рассев шлифовальных порошков на фракции осуществляли на машине типа $RO-TAP$. Перед отсевом шлифовальные порошки подвергали сушке при температуре 105° в течение 30 минут.

От каждой фракции методом квартования отбирали по одной пробе зерен для измерения их ширины фотометрическим методом [16]. Ширина зерна равна сумме длин двух перпендикуляров, построенных от вектора длины зерна к максимально удаленным точкам с каждой стороны профиля. Длину зерна определяли как расстояние между двумя максимально удаленными точками профиля зерна.

При фотографировании зерен использовали камеру 5 Мпикс. В результате визуального просмотра электронных фотографий из анализа исключали слипшиеся зерна. Обработка электронных фотографий зерен и измерение их геометрических параметров осуществлялась специально разработанной программой «Зерно НМ» [17]. Погрешность определения ширины зерна 3-5 %. Погрешность определения среднего значения ширины зерен в выборке не превышает 7 %.

Объем выборки измерений в каждой фракции составил от 600 до 1500 зерен.

Результаты исследования

После отсева шлифовальных порошков на контрольных ситах от каждой зернистости получено пять фракций в виде остатков на ситах (Q_2 , Q_3 , Q_4 , Q_5) и поддо-

не (ΔQ), всего 34 фракции. Масса остатка на поддоне ΔQ шлифовального порошка зернистостью F46 была менее 0,1 г, поэтому, согласно ГОСТ Р 52381 приняли $\Delta Q(F46)=0$ и в дальнейших исследованиях не учитывали.

Анализ зернового состава шлифовальных порошков показал, что все исследуемые зернистости соответствуют требованиям ГОСТ Р 52381.

Для оценки достоверности результатов измерения проведены повторные измерения ширины зерен фракций: $Q_5(F36)$, $Q_3(F46)$, $Q_4(F60)$, $Q_3(F70)$, $Q_5(F70)$ и $Q_3(F90)$. Всего с учетом основных и до-

полнительных проб измерено более 30000 зерен.

Большинство графиков плотности распределения ширины, один из которых показан на рис. 1а, по форме приближаются к колоколообразным кривым, что свидетельствует о возможности соответствия нормальному закону распределения. Некоторые кривые плотности распределения имеют несимметричный вид (рис. 1б): левая ветвь распределения получена более пологая. Об этом свидетельствует и коэффициент асимметрии, который для рассматриваемого примера равен $-0,58$.

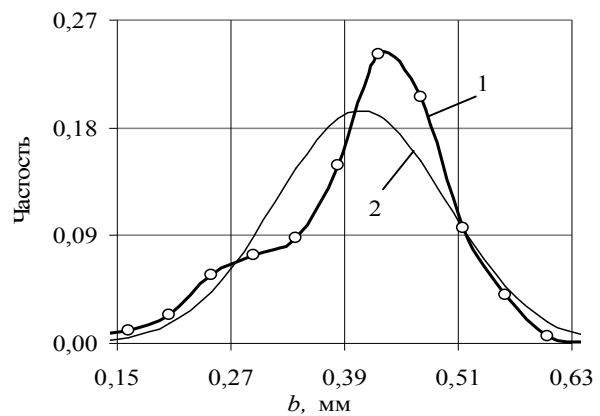
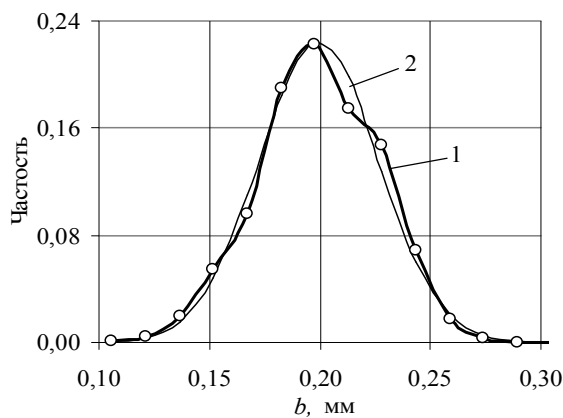


Рис. 1. Плотность распределения ширины зерна b фракций шлифовальных порошков $Q_3(F90)$ (а) и $\Delta Q(F36)$ (б):

1 – экспериментальные данные; 2 – теоретическая кривая распределения

Нулевую гипотезу о соответствии ширины зерен нормальному закону распределения проверяли по критерию Пирсона. Здесь и далее уровень значимости при проверке статистических гипотез принимали равным 0,05. Не подчиняются нормальному закону распределения ширина зерен фракции $Q_2(F70)$, $\Delta Q(F36)$ и $\Delta Q(F60)$. Таким образом, более чем для 90 % исследованных выборок нет оснований отвергать нулевую гипотезу о нормальном законе распределения ширины зерен. Учитывая, что и для трех фракций, где расчетное значение критерия Пирсона было больше табличного, график распределения b приближается к колоколообразной кривой. Поэтому принято допущение о нормальном законе распределения ширины зерен, параметрами которого являются

выборочное среднее арифметическое b (далее – среднее) и выборочная дисперсия S^2 (далее – дисперсия).

В результате сравнения средних методом дисперсионного анализа для каждой зернистости установлена значимость влияния фактора ячейки проходного сита W на среднюю ширину зерен фракции b_m . Зависимость b_m от W в каждой зернистости аппроксимирована полиномами различных степеней, в том числе, при равенстве нулю свободного члена. Наибольшее значение коэффициента достоверности аппроксимации R^2 и минимальная дисперсия неадекватности S_1^2 получены для полинома второй степени:

$$b = -a_1 W^2 + c_1 W + e_1, \quad (1)$$

где a , b и c – постоянные коэффициенты (табл. 1).

Однородность дисперсий ширины зерен фракции внутри каждой зерни-

сти, в связи с различным размером выбо-
рок, определяли по критерию Бартлета.
Установлено, что для всех зернистостей,
кроме $F70$, дисперсии различаются значимо.

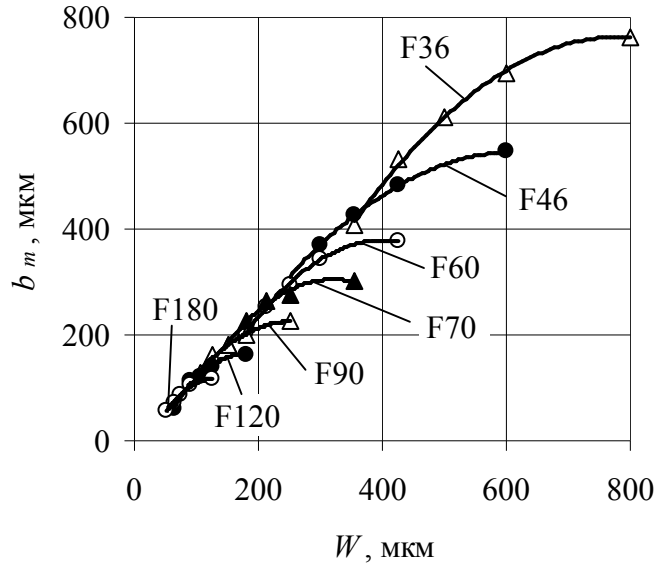


Рис. 2. Зависимость средней ширины зерен фракции b_m от размера ячейки проходного сита W

1. Постоянные коэффициенты полиномов (1) и (2)

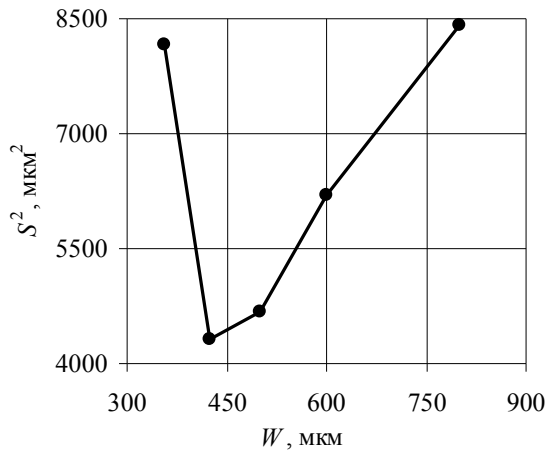
Полином	Зернистость	$a_1, \text{мкм}^{-1}$	c_1	$e_1, \text{мкм}$	R^2	$S_1^2, \text{мкм}^2$
(1)	$F36$	0,0019	2,99	- 408	0,997	131,9
	$F46$	0,0017	2,14	- 115	0,999	189,4
	$F60$	0,0036	2,89	- 200	0,999	5,7
	$F70$	0,0042	2,66	- 120	0,976	118,7
	$F90$	0,0042	2,13	- 45	0,991	24,1
	$F120$	0,008	2,79	- 80	0,984	45,4
	$F180$	0,0113	2,85	- 62	0,998	2,0
(2)	Зернистость	-	$c_2, \text{мкм}$	$e_2 \cdot 10^{-2}, \text{мкм}^2$	$R^2, \%$	$S_1^2, \text{мкм}^4$
	$F36$	-	11,41	7,31	0,99	4346405
	$F46$	-	5,50	6,81	0,91	44219
	$F60$	-	3,89	4,36	0,92	17406
	$F70$	-	1,34	9,43	0,96	611
	$F90$	-	3,34	1,31	0,76	46557
	$F120$	-	1,96	1,43	0,8	2162
	$F180$	-	1,84	0,56	0,86	590

В общем случае прослеживается сле-
дующая закономерность: дисперсии ши-
рины зерен фракций зернистости, сформир-
ованные рассевом через два сита верхнее

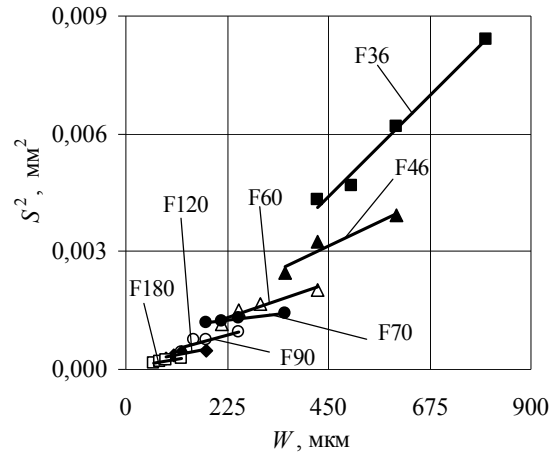
проходное и нижнее непроходное ($Q2, Q3, Q4$ и $Q5$), с уменьшением W снижаются и
возрастают с переходом к самой мелкой
фракции ΔQ , осевшей на поддоне (рис. 3а).

Данная тенденция характерна для всех зернистостей, кроме $F46$, у которой по данным рассева масса ΔQ принята равной нулю. Для проверки увеличения дисперсии ширины зерен с переходом от фракции $Q5$ к ΔQ их однородность оценивали по кри-

терию Фишера. Установлено, что у всех зернистостей, кроме $F70$, расчетное значение критерия Фишера больше табличного, что свидетельствует о значимости различия дисперсий.



а



б

Рис. 3. Зависимость изменения дисперсии ширины зерен фракций S^2 зернистости $F36$ от размера ячейки проходного сита W (а) и аппроксимация зависимости S^2 от W без фракции ΔQ (б) (рис. 3б).

Зависимости S^2 от W без фракции ΔQ внутри каждой зернистости аппроксимированы полиномом первой степени (рис. 3б):

$$S^2(F) = c_2 W_{\text{п}} + e_2, \quad (2)$$

где c_2 и e_2 – постоянные коэффициенты (см. табл. 1).

Из рис. 2 и 3б следует, что фракции с одинаковой ячейкой проходного сита имеют различные средние и дисперсии ширины зерен. Численные значения статистических параметров ширины зерен таких фракций приведены в табл. 2. При одинаковом размере ячейки проходного сита среднее и дисперсия ширины зерен фракции возрастают с увеличением зернистости шлифовального порошка.

Например, размер ячейки проходного сита фракций $Q_2(F46)$ и $Q_3(F36)$ равен 600 мкм, b_m равны соответственно 694 и 546 мкм, дисперсии – 3915 и 6191 мкм². То же самое можно сказать и в отношении пар: $Q_2(F60)$ и $Q_3(F46)$, $Q_2(F90)$ и $Q_3(F70)$, $Q_2(F120)$ и $Q_3(F90)$, $Q_2(F180)$ и $Q_3(F120)$.

Сравнение пар дисперсий в перечисленных фракциях выполнено по критерию

Фишера, средних – по аргументу функции Лапласа. Для всех рассмотренных пар фракций установлено значимое различие дисперсий и средних.

Одной из причин значимого отличия b и S^2 является неодинаковые размеры ячейки нижнего задерживающего сита W_n . Например, при рассеве зернистости $F46$ нижнее контрольное сито фракции Q_2 имеет размер ячейки $W_n = 425$ мкм, а фракции Q_3 зернистости $F36$ – $W_n = 500$ мкм. В результате фракция, оседающая на сите с более мелкой ячейкой, будет содержать и более мелкие зерна. При прочих равных условиях этот факт должен привести к уменьшению средней ширины зерен, что и наблюдается в действительности. С уменьшением W_n в 1,18 раза b снижается в 1,27 раза, S^2 – в 1,43. Для фракций $Q_2(F60)$ и $Q_3(F46)$ и W_n уменьшился также в 1,18 раз, b и S^2 снижаются соответственно в 1,28 и 1,59 раза. Подобные закономерности наблюдаются в остальных парах фракций.

Во всех рассмотренных примерах средняя ширина зерен уменьшается более существенно, чем размер ячейки нижнего контрольного сита.

На столь значительное снижение b

оказывает влияние еще один фактор, заложенный в ГОСТ Р 52381. При рассеивании на контрольных ситах шлифовальных порошков любой зернистости через первое контрольное сито должна пройти без остатка вся масса шлифовального порошка. На остальных нижележащих ситах остаток в том

или ином количестве присутствует. Гарантированно обеспечить выполнение требований стандарта можно только в том случае, если фракция, формируемая на втором сите, не будет содержать зерен крупного размера, что дополнительно к первому фактору снижает среднее и дисперсию.

2. Среднее арифметическое b и дисперсия S^2 ширины зерен фракций

W , МКМ	Фракция	W_n , МКМ	b , МКМ	S^2 , МКМ ²
600	$Q_2(F46)$	425	546	3915
	$Q_3(F36)$	500	694	6191
425	$Q_2(F60)$	300	376	2039
	$Q_3(F46)$	355	482	3254
	$Q_5(F36)$	355	531	4317
355	$Q_4(F46)$	300	425	2467
	$\Delta Q(F36)$	—	407	8152
300	$Q_3(F60)$	250	344	1681
	$Q_5(F46)$	250	371	2361
250	$Q_2(F90)$	180	226	936
	$Q_3(F70)$	212	275	1308
	$Q_4(F60)$	212	295	1508
212	$Q_4(F70)$	180	265	1216
	$Q_5(F60)$	180	251	1133

W , МКМ	Фракция	W_n , МКМ	b , МКМ	S^2 , МКМ ²
180	$Q_2(F120)$	125	163	477
	$Q_3(F90)$	150	200	746
	$Q_5(F70)$	150	228	1175
	$\Delta Q(F60)$	—	204	1402
150	$Q_4(F90)$	125	180	765
	$\Delta Q(F70)$	—	180	1255
125	$Q_2(F180)$	90	117	275
	$Q_3(F120)$	106	141	445
	$Q_5(F90)$	106	161	438
106	$Q_4(F120)$	90	122	342
	$\Delta Q(F90)$	—	130	606
90	$Q_3(F180)$	75	104	251
	$Q_5(F120)$	63	114	294
63	$Q_5(F180)$	53	72	158
	ΔQ	—	61	362

Из этого следует, что условия формирования фракции Q_2 , оседающей на втором сите, отличаются от условий формирования фракций, оседающих на остальных нижележащих ситах. В связи с этим вполне закономерным следует считать некоторое снижение средней ширины зерен фракций Q_2 и отклонение от линейной зависимости b_m от W в каждой зернистости (см. рис. 2).

Условиями формирования отличается и фракция ΔQ , не имеющая нижнего непроходного сита, т.к. формируется просевом через сито 5 и собирается на поддоне. В связи с этим средняя ширина зерен фракции ΔQ может быть как больше ($Q_4(F120)$ и $\Delta Q(F90)$), так и меньше ($Q_4(F46)$ и $\Delta Q(F36)$, $Q_5(F70)$ и $\Delta Q(F60)$, $Q_5(F180)$ и $\Delta Q(F120)$) средней ширины зерен фрак-

ции более крупной зернистости с таким же размером ячейки проходного сита. Но дисперсия ширины зерен фракции ΔQ всегда значительно больше.

Среди представленных в табл. 2 данных встречаются фракции, принадлежащие различным зернистостям и имеющие одинаковые размеры ячеек проходных и непроходных сит: $Q_3(F46)$ и $Q_5(F36)$, $Q_3(F60)$ и $Q_5(F46)$, $Q_3(F90)$ и $Q_5(F70)$, $Q_3(F120)$ и $Q_5(F90)$, $Q_3(F180)$ и $Q_5(F120)$. Первая фракция в каждой паре принадлежит более мелкой зернистости и получена рассеиванием между 2 и 3 ситами, вторая – более крупной, рассеиванием между 4 и 5 ситами. Одна пара фракций $Q_3(F70)$ и $Q_4(F60)$, полученная рассеиванием между 2 и 3, 3 и 4 ситами соответствующих зернистостей.

Методом сравнения средних и дисперсий установлено, что для большинства из них средняя и дисперсия ширины зерен фракции более мелкой зернистости больше, чем средняя и дисперсия ширины зерен фракции более крупной зернистости. Средняя и дисперсия пары Q_3 (F70) и Q_4 (F60) значимо не различаются.

Таким образом, даже при равенстве размера ячеек проходного и непроходного сит средняя и дисперсия зерен фракции более мелкой зернистости в целом больше, чем более крупной.

Одной из причин такой закономерности является некоторое замедление во всех зернистостях зерен фракции Q_2 , что отражается и на размерах зерен последующих более мелких фракций. Чем больше номер сита, на котором по ГОСТ Р 52381 оседает рассматриваемая фракция, тем в меньшей степени на данной фракции отражается замедление зерен более крупных фракций.

Выводы

Результаты работы позволяют сделать следующие основные выводы.

Распределение ширины зерен подавляющего большинства фракций шлифовальных порошков карбида кремния чер-

ного зернистостей F120-F36 производства ОАО «Волжский абразивный завод» подчиняются нормальному закону распределения. Отклонение ширины зерен от нормального закона может наблюдаться у фракций, оседающих на втором сите и поддоне.

С уменьшением номинального размера ячейки проходного сита в каждой зернистости среднее арифметическое значение ширины зерен основной фракции снижается, дисперсия снижается в направлении от фракции, оседающих на втором сите к четвертому, и возрастает у фракции, оседающей на поддоне.

При одинаковом размере ячейки проходного сита среднее и дисперсия ширины зерен фракции возрастают с увеличением зернистости шлифовального порошка.

Зависимость среднего арифметического и дисперсии ширины зерен фракций от номинального размера ячейки проходного сита для каждой зернистости с наименьшим коэффициентом достоверности аппроксимации определяются полными полиномами соответственно второй и первой степени. При аппроксимации дисперсий не рассматривали самую мелкую и менее представительную фракцию, оседающую при расसेве на поддоне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абразивная и алмазная обработка материалов. Справочник. Под ред. д-ра техн. наук проф. А. Н. Резникова. - М., «Машиностроение», 1977.
1. Abrasive and diamond processing of materials. Reference Book. Under the editorship of the D. Eng., Prof. A.N. Reznikov. - M, "Mechanical engineering", 1977.
2. Основы проектирования и технология изготовления абразивного и алмазного инструмента / В.Н. Бакуль и др. – М.: Машиностроение, 1975. – 296 с.
2. Design bases and manufacturing techniques of abrasive and diamond tools / V.N. Bakul, etc. – M.: Mechanical engineering, 1975. – 296 p.
3. Кошин, А.А. Исследование гранулометрического состава и микрогеометрических показателей абразивных зёрен шлифовальных кругов, применяемых в обдирочном шлифовании / А.А. Кошин, А.В. Сопельцев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. – 2010. – № 10 (186). – С. 77-82.
3. Koshin, A.A. Investigation of granulometric structure and microgeometric indicators abrasive grain grinding wheels, applied in rough grinding / A.A. Koshin, A.V. Sopeltsev // Bulletin of the Southern Ural State University. Series: Mechanical engineering. – 2010. – № 10 (186). – P. 77-82.
4. Носенко, В.А. Технология шлифования: монография / В.А. Носенко, С.В. Носенко. – ВПИ (филиал) ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – 424 с.
4. Nosenko, V.A. Grinding technology: Monograph / V.A. Nosenko, S.V. Nosenko. – VPI (branch) of VSTU. – Volgograd, 2011. – 424 p.

5. Носенко, В.А. Определение проходного и непроходного размера ширины зёрен в пробах при рас­сее шлифовального порошка 54CF46 на кон­трольных ситах / В.А. Носенко, А.А. Александров // Вестник Рыбинской гос. авиационной техноло­гической академии им. П.А. Соловьёва. – 2014. – № 1. – С. 44-48.
6. Носенко, В.А. Статистические параметры геомет­рических размеров зерен микрошлиф порошков карбида кремния / В.А. Носенко, И.А. Макушкин, А.А. Шегай // Известия ВолгГТУ. Серия "Прогрес­сивные техно-логии в машиностроении". Вып. 7: межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – 2011. – № 13. – С. 32-34.
7. Носенко, В.А. Технология шлифования: моногра­фия / В.А. Носенко, С.В. Носенко. – ВПИ (филиал) ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – 424 с.
8. Тимошук, Е.И. Применение метода лазерной ди­фракции для контроля размеров частиц наполните­лей и пресспорошков в производстве тонкодис­персных графитов: дисс. канд. техн. наук. – Моск­ва, 2015. – 148 с.
9. Gomez, V.A.O. Effect of abrasive particle size distribu­tion on the wear rate and wear mode in micro-scale ab­rasive wear tests / V.A.O Gomez et al. // Wear, 2015. – V. 328-329. – P. 563-568.
10. Мгеладзе, В.Ф. Зависимость среднего объема еди­ничного зерна основной фракции от размера яче­йки задерживающего сита / В.Ф. Мгеладзе, И.В. Лавров // Абразивы. – 1971. - №1. – С. 1-4.
11. Азаматов, Ф. Л. Исследование формы частиц в продуктах классификации материала по крупности / В.Ф. Азаматов // Абразивы. – Вып. 7. – 1972. – С. 6-9.
5. Nosenko, V.A. Determining the pass and non-pass size of grain width in samples when scattering grinding powder 54CF46 in test sieves / V.A. Nosenko, A. A. Aleksandrov // Bulletin of Rybinsk State Aviation Technological Academy named after P.A. Solovyov. – 2014. – № 1. – P. 44-48.
6. Nosenko, V.A. Statistical parameters of the geometrical grain sizes of microgrinding powder of silicon carbide / V.A. Nosenko, I.A. Makushkin, A.A. Shegay // Proceedings of VSTU. Series "Progressive Technologies in Mechanical Engineering". Issue 7: Inter-College Scientific Proceedings / VSTU. – 2011. – № 13. – P. 32-34.
7. Nosenko, V. A. Grinding technology: Monograph / V.A. Nosenko, S.V. Nosenko. – VPI (branch) of VSTU. – Volgograd, 2011. – 424 p.
8. Tymoschuk, E.I. Use of laser diffraction method for controlling the particle sizes of fillers and press powders in production of fine-graded graphites: Thesis for Can.Eng. Degree – Moscow, 2015. – 148 p.
9. Gomez, V.A.O. Effect of abrasive particle size distribu­tion on the wear rate and wear mode in micro-scale ab­rasive wear tests/ V.A.O Gomez et al. // Wear, 2015. – V. 328-329. – P. 563-568.
10. Mgeladze, V.F. Dependence of a single grain average volume of the main fraction on a mesh size of the de­taining sieve / V.F. Mgeladze, I.V. Lavrov // Abra­sives. – 1971. - №. 1. – P. 1-4.
11. Azamatov, F.L. Investigation of a particle form in products of material classification based on size / V.F. Azamatov // Abrasives. – Issue 7. – 1972. – P. 6-9.

Статья поступила в редколлегию 17.10.2016.

Рецензент: д.т.н., профессор Брянского государственного технического университета Хандошко А.В.

Сведения об авторах:

Носенко Владимир Андреевич

Волжский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», г. Волжский.

Доктор технических наук, профессор, зам. директора по учебной работе, зав. кафедрой «Технология и оборудование машиностроительных производств»

Тел.: 8 (8443) 38-68-34; 8-904-403-31-74

E-mail: nosenko@volpi.ru

Александров Алексей Александрович

Аспирант ВолгГТУ

Волжский политехнический институт (филиал) Волгоградского государственного технического университета, г. Волжский, Телефон: 8-961-065-86-30

E-mail: alexalexal2011@yandex.ru

Nosenko Vladimir Andreevich

Volzhsy Polytechnic Institute (branch) of Federal State Budget Educational Institution of Higher Education Volgograd State Technical University, Volzhsky

D. Eng., Prof., Deputy Training Director, Head of the Dep. "Technology and equipment of machine-building manufacturing"

Alexandrov Alexey Aleksandrovich

Volzhsy Polytechnic Institute (branch) of Federal State Budget Educational Institution of Higher Education Volgograd State Technical University, Volzhsky

Post graduate student of VSTU