

Проект «Инженерные кадры Зауралья»

*МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ*  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Курганский государственный университет»

Кафедра «Технология машиностроения,  
металлорежущие станки и инструменты»

## **ГЕОМЕТРИЯ АБРАЗИВНОГО ЗЕРНА**

Методические указания  
к выполнению лабораторной работы  
по дисциплине «Основы абразивной обработки»  
для студентов направления 151900.62  
«Конструкторско-технологическое обеспечение  
машиностроительных производств»  
(профиль «Технология машиностроения»)

Курган 2013

Кафедра: «Технология машиностроения металлорежущих станков и инструментов»

Дисциплина: «Основы абразивной обработки»

направление 151900.62 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»  
(профиль «Технология машиностроения»)

Составили: д-р техн. наук, проф. В.И. Курдюков,  
канд. техн. наук, доц. А.А. Андреев

Утверждены на заседании кафедры «7» ноября 2013 г.

Рекомендованы методическим советом университета в рамках проекта «Инженерные кадры Зауралья» «22» ноября 2013 г.

## **1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Изучить геометрические параметры абразивных зерен, выявить характер их изменения и установить взаимосвязь с зерновым составом, материалом зерен, режущими свойствами.

## **2 ЛАБОРАТОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ОСНАСТКА И МАТЕРИАЛЫ**

2.1 Стенд для зарисовки зерен.

2.2 Шаблон для измерения углов и радиусов округления у вершин абразивных зерен.

2.3 Масштабная линейка.

2.4 Препараты с насыпками зерен.

2.5 Микрокалькулятор (ЭВМ).

## **3 ПОРЯДОК РАБОТЫ**

3.1 Ознакомиться с общими сведениями по проблемам геометрии абразивных зерен.

3.2 Изучить методику проведения лабораторной работы.

3.3 Ознакомиться с правилами пользования лабораторным оборудованием и оснасткой, используемыми в данной работе.

3.4 Произвести зарисовку абразивных зерен и измерить их геометрические параметры.

3.5 Обработать полученные данные с целью исследования изменения размерных и геометрических параметров в зависимости от материала шлифзерна и его зернистости.

3.6 Проанализировать взаимосвязи между отдельными геометрическими элементами зерна и его потенциальной режущей способностью.

3.7 Оформить отчет, в котором кратко изложить суть работы, привести данные о геометрических параметрах абразивных зерен, проиллюстрировать результаты выполненных исследований в виде графиков зависимости параметров геометрии абразивных зерен от их материала и размеров, сформулировать выводы.

## **4 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ**

В соответствии с ГОСТ 21445-84 (Материалы и инструменты абразивные. Обработка абразивная. Термины и определения), абразивное зерно есть частица абразивного материала в виде монокристалла, поликристалла или их осколков. Абразивный материал (абразив) – любой природный или искусственный материал, частицы которого (зерна или порошки) способны обрабатывать другой материал царапанием, скоблением или истиранием. При этом абразивные зерна могут использоваться как в свободном состоянии, так и в связанном - в виде абразивного инструмента. Для изготовления абразивных

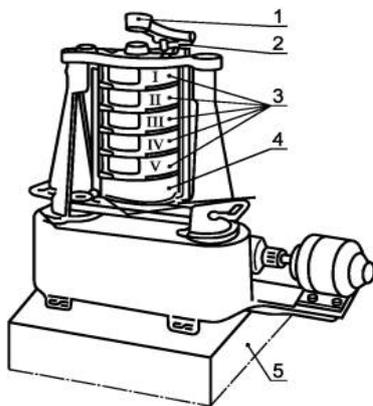
зерен применяют преимущественно искусственные абразивные материалы: электрокорунды (нормальный, белый, монокорунд, легированные); карбиды кремния (зеленого, черного); синтетические алмазы: кубический нитрид бора.

Получают абразивные зерна путем дробления кусков, блоков, глыб абразивного материала. Однако как шлифованный материал абразивные зерна используют только после классификации, т.е. разделения (рассева) их по размерам. В зависимости от размера (зернистости) абразивные зерна разделяют на группы:

**шлифовальный порошок:** Абразивный материал, размеры зерен которого находятся в пределах 4750 - 45 мкм.

**зернистость:** Условная числовая характеристика зернового состава шлифовальных порошков.

**Зерновой состав:** Распределение абразивных зерен по размерам, выраженное в массовых долях и определяемое путем рассева шлифовальных порошков на контрольных ситах.



1 – встряхиватель; 2 – пробка; 3 – контрольные сита; 4 – поддон;  
5 – опорная плита; 6 – основание

**Рисунок 1 – Машина для рассева проб шлифовальных порошков**

шлифзерно – размер частиц, мкм		от 2000 до 160;
шлифпорошки	"-"	125 ÷ 40;
микрошлифпорошки	"-"	63 ÷ 14;
тонкие микрошлифпорошки (субмикропорошки)	"-"	10 ÷ 3;

и по номерам зернистости: от номера F100 до номера F220 для шлифзерна и шлифпорошков и от M63 до M5 для микрошлифпорошков (ГОСТ Р52381-2005).

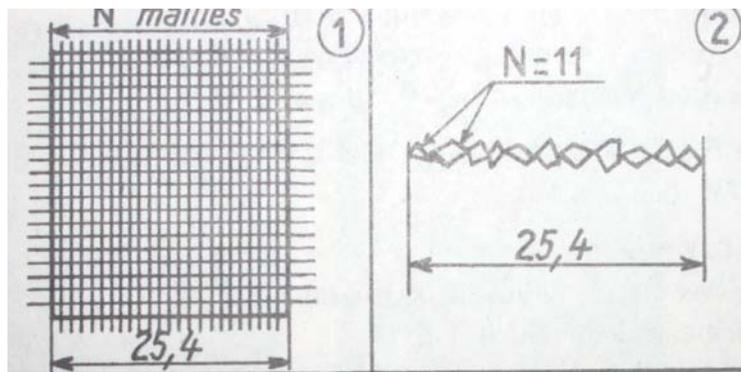
Номера зернистости располагаются по геометрическому ряду со знаменателем 1,25.

Принадлежность шлифматериала к тому или иному номеру зернистости до номера 5 определяется, главным образом, рассевом на ситах. Номер зернистости соответствует числу ячеек сита, приходящихся на один дюйм (25,4 мм), на котором задерживаются зерна *основной фракции* (рисунок 2). Кроме основной фракции, в шлифматериале данного номера зернистости содержатся

зерна предельной, крупной, комплексной и мелкой (таблица 1).

**Таблица 1 – Размер зерен**

<b>Размер зерна по FEPA</b>	<b>Средний размер зерна в мкм</b>	<b>Размер зерна по ГОСТ Р 52381-2005</b>
F4	4890	–
F5	4125	–
F6	3460	–
F7	2900	–
F8	2460	–
F10	2085	200
F12, P12	1765	160
F14	1470	–
F16, P16	1230	125
F20, P20	1040	100
F22	885	–
F24, P24	745	80
F30, P30	625	63
F36, P36	525	50
F40, P40	438	–
F46	370	40
F54, P50	310	32
F60, P60	260	25
F70	218	20
F80, P80	185	–
F90, P100	154	16
F100, P120	129	12
F120, P150	109	10
F150, P180	82	8
F180, P220	69	6
F220	58	5



Зернистость N 11 (F11)  
 N – число ячеек в дюйме    Размер зерна  $25,4/11=2300\mu\text{к}$

Рисунок 2 – Схема определения зернистости по FEPA и ГОСТ 52381-2005

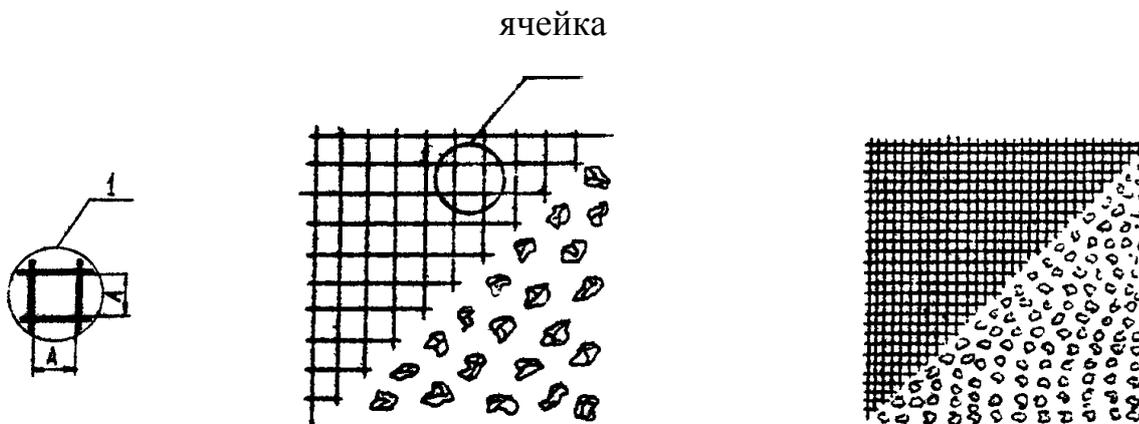
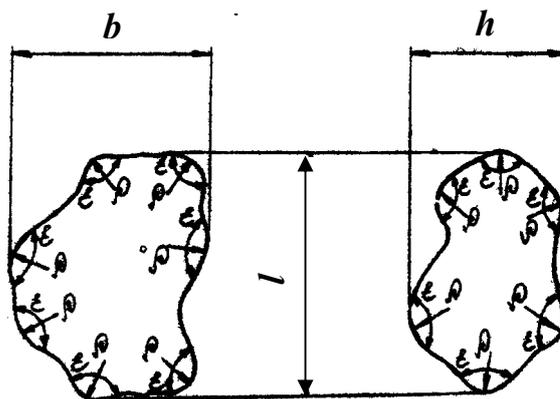


Рисунок 3 – Сравнительные размеры ячеек сит и абразивных зерен



$\rho$  - радиус округления вершин;  $\epsilon$  – угол при вершине зерна

Рисунок 4 – Размеры и геометрия зерна

Процентное содержание этих фракций в шлифматериале данной зернистости характеризует его зерновой состав и регламентируется ГОСТ 3647-80 «Материалы шлифовальные. Классификация. Зернистость и зерновой состав. Методы контроля». Так, например, зерновой состав шлифзерна зернистостью

**Таблица 2 – Размер зерен**

<b>Размер зерна по FEPA</b>	<b>Средний размер зерна в мкм</b>	<b>Ориентировочное соответствие зернистости по ГОСТ 3647</b>
F230	53.0 ± 3	M63
F240	44.5 ± 2	–
F280	36.5 ± 1.5	M50
F320	29.2 ± 1.5	–
F360	22.8 ± 1.5	M40
F400	17.3 ± 1	M28
F500	12.8 ± 1	M20
F600	9.3 ± 1	M14
F800	6.5 ± 1	M10
F1000	4.5 ± 0.8	M7
F1200	3.0 ± 0.5	M5
F1500	2.0 ± 0.4	–
F2000	1.2 ± 0.3	–

F12 (размер зерен основной фракции 2000–1700 мкм) характеризуется тем, что в нем не содержится зерен размером выше 2500 мкм (предельная фракция), зерна же размеров от 2000 до 2500 мкм (крупная фракция) составляют не более 20% по массе, а зерна основной фракции (размер 2000÷1700) – не менее 45%. Общее же количество зерен размером от 1700 до 2500 мкм (комплексная фракция) не должно быть меньше 90%. Остальное может приходиться на зерна размером 1700÷1400 и мельче, но массовая доля последних не должна превышать 3%. *Определяют зерновой состав* в зависимости от зернистости шлифматериала тремя методами: рассевом на ситах для шлифзерна и шлифпорошков зернистостей F10÷F220; микроскопическим анализом для микрошлифпорошков зернистостей M40-M5; комбинированным методом для промежуточных зернистостей 5, 4, M63 и M50.

*Сущность метода ситового анализа* заключается во взвешивании остатков на ситах и определения их содержания в процентах от общей массы просеянного шлифматериала.

*Микроскопический метод* заключается в измерении линейного размера зерен по их наибольшему размеру и вычисление содержания зерен по фракциям, выражаемом в процентах по массе.

#### **4.1 Проблема геометрии зерна**

В практике шлифования зернистость является одним из основных параметров характеристики абразивного инструмента. Однако, как легко понять

из изложенного, информативность его невелика, т.к. этот параметр характеризует размер зерна только в одном направлении, да и то условно, ибо в пределах одного номера зернистости фактические размеры зерен лежат в очень широких пределах.

С точки зрения эксплуатации инструмента, более интересной характеристикой следует считать геометрическую форму абразивного зерна (рисунок 3), от которой существенно зависит способность зерна срезать стружку с обрабатываемого материала, а значит, и режущая способность шлифовального инструмента в целом.

Так, например, чем меньше радиус округления  $\rho$  и угол при вершине  $\varepsilon$ , тем легче такое зерно внедряется в обрабатываемый материал и тем легче осуществляется процесс стружкоотделения. Значит, ниже сила шлифования и температура в зоне резания, выше качество обработанной поверхности и стойкость инструмента. С другой стороны, увеличение  $\rho$  и  $\varepsilon$  хотя и затрудняет внедрение, но повышает прочность зерна и оно может воспринимать большую силу резания, срезая стружку большего сечения.

Доказательством важности геометрических параметров является и тот факт, что в ряде зарубежных стандартов включены в комплекс показателей форма зерна и характер углов. Каким-то приближением к учету этого следует считать принятую практикой визуальную классификацию зерен на изометричные, пластинчатые, «мечевидные». Об этом же говорит и введение в ГОСТ 9206-80 такого показателя, как коэффициент формы зерна - отношение длины и ширины проекции зерна.

Следует обратить внимание и на наличие взаимосвязи между формой, геометрическими характеристиками вершин абразивных зерен ( $\rho$  и  $\varepsilon$ ) и их размерами. Так более мелкие зерна имеют и более низкие значения  $\rho$  и  $\varepsilon$ . А чем стабильнее размеры зерен в пределах зернистости, тем стабильнее и их геометрия. Принятые же в практике методы аттестации шлифматериала не только не позволяют установить эту взаимосвязь, но и определить значения самих параметров.

Однако следует отметить, что существует ряд лабораторных методов и методик, позволяющих решить данную проблему и дать представление как о самих важнейших, с точки зрения эксплуатации абразивного инструмента, параметрах геометрии зерна, так и об их взаимосвязи.

## **5 ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ФОРМЫ, РАЗМЕРОВ И ГЕОМЕТРИИ ЗЕРНА**

Для определения размеров и геометрических параметров зерна может быть применен метод зарисовки, обеспечивающий достаточную для практических целей точность и относительно невысокую трудоемкость. С этой целью может быть использована любая оптическая система, позволяющая спроецировать на экран изображение зерен с необходимой степенью увеличения.

В данной работе используется прибор Микрофот 5П0-1. Для зарисовки необходимо приготовленную предварительно насыпку зерен (5-7 г) уложить в

специальную прозрачную кювету таким образом, чтобы зерна располагались одним слоем, установить кювету на предметный столик аппарата и, добившись четкого изображения зерен на экране при требуемом увеличении, снять копию изображений 20÷40 зерен на лист бумаги остро заточенным карандашом.

После чего произвести измерение длины, ширины, углов при вершине  $\varepsilon$  и размеров их закругления  $\rho$ , воспользовавшись масштабной линейкой или штангенциркулем и специальным шаблоном. Полученные данные занести в таблицу. Провести обработку данных по определенной методике в зависимости от задачи, которую необходимо решить.

### 5.1 Определение зернового состава шлифматериала конкретного номера зернистости

С этой целью данные измерения длин зерен группируют по интервалам (принять по ГОСТ 3647-80), характеризующим размеры предельной, крупной, основной, смежной и мелкой фракции, и считают их число. При этом зерно, размер которого является граничным для двух соседних фракций, относят к более мелкой фракции. Результаты заносят в таблицу и, предполагая, что форма зерен приближается к изометрической, а их объемы равны возведенным в куб линейным размерам, производят следующие расчеты (см. табл. 1):

- рассчитывают средний (для основной, смежной и мелкой фракций) или берут фактический (для крупной и предельной фракций) линейные размеры;
- вычисляют объемы зерен по данным линейным размерам;
- определяют коэффициенты приведения объемов (соотношение объемов зерен основной и всех других фракций), приняв зерна основной фракции за единицу (табл. 1);
- рассчитывают суммарный приведенный объем зерен фракции путем умножения числа зерен на соответствующий коэффициент приведения объема (для крупной и предельной фракций приведенный объем считают для каждого зерна отдельно, а результаты суммируют);
- принимая объем всех измеренных зерен в навеске за 100%, рассчитывают содержание отдельных фракций в % по объему. Учитывая, что плотность зерен в навеске можно принять одинаковой, найденные объемные проценты будут равны и процентам по массе.

### 5.2 Оценка однородности размеров зерен

Однородность размеров зерна характеризуется их рассеиванием и может быть оценена коэффициентом однородности  $H$ . Учитывая, что распределение этих величин (длина  $l$ , ширина  $b$ ) подчиняется нормальному закону, значение  $H$  можно подсчитать по выражению

$$H = \frac{\bar{X}}{\sigma};$$

где  $\bar{X}$  - среднее значение размера;  $\sigma$  - среднеквадратичное отклонение.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

где  $X_i$  - значение размера  $i$ -го зерна.

Чем выше значение  $H$ , тем теснее сгруппированы отдельные значения размеров вокруг среднего, тем больше степень однородности размеров зерна, тем стабильнее геометрические параметры вершин зерен и их прочность, а значит, тем выше режущая способность инструмента. Естественно предположить, что однородность размеров зерен может зависеть и от материала зерна и от номера зернистости. В связи с этим выполнить следующее.

1) по данным зарисовки зерен четырех зернистостей F10, F14, F30, F46 из одного материала и одной зернистости, например, F30, но различных материалов (электрокорунд нормальный, электрокорунд белый, карбид кремния зеленый, карбид кремния черный) вычислить значения  $H$ , построить график зависимости  $H = f(d_z)$ , где  $d_z$  - размер зерна. Оценить влияние материала зерна на однородность его размеров.

2) вычислить коэффициент формы зерна  $K_\phi = \frac{\bar{l}}{b}$  для указанных случаев, построить график зависимости  $K_\phi = f(d_z)$ , оценить абразивные материалы с точки зрения возможности получения изометричных зерен ( $K_\phi \rightarrow 1$ ).

### 5.3 Исследование радиусов округления ( $\rho$ ) и углов при вершинах зерен

На основании данных измерения радиусов округления вершин зерен и углов рассчитать средние их значения ( $\bar{\rho}$  и  $\bar{\varepsilon}$ ) для условий, указанных в предыдущем разделе. По полученным результатам построить графики зависимостей  $\bar{\rho} = f(d_z)$  и  $\bar{\varepsilon} = f(d_z)$  и гистограмму этих величин для одного номера зернистости, во для различных материалов шлифзерна. Проанализировать полученные результаты, сделать выводы.

## 6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1 Объяснить суть понятий «зернистость» и «зерновой состав».
- 2 Каким образом связаны геометрические параметры абразивных зерен и режущая способность шлифовального инструмента?
- 3 Проанализировать абразивные материалы с точки зрения возможности получения предпочтительной геометрической формы абразивных зерен (таблица 3).

**Таблица 3 – Коэффициенты приведения объемов**

Фракция, мкм	3150	2500 2000	2000	1600	1250	1000	800	630	500	400	315	250	200
	2500	2000 1600	1600	1250	1000	800	630	500	400	315	250	200	160
Средний размер фракции, мкм	2850	2250	1800	1425	1125	900	715	565	450	358	283	225	180
Средний объем зерна фракции, мкм <sup>3</sup> ×10 <sup>7</sup>	2400	1200	600	300	150	73	36	18	9	4,5	2,3	1,1	0,6
Зернистос ть	Коэффициент приведения объемов Объемов												
200		1 0,5	0,5	0,25	0,12	0,06	0,03	0,01	0,008	0,004	0,002	0,001	0,005
160		1	1	0,5	0,25	0,12	0,06	0,03	0,016	0,008	0,004	0,002	0,001
125				1	0,5	0,25	0,12	0,06	0,032	0,016	0,008	0,004	0,002
100					1	0,5	0,25	0,12	0,063	0,032	0,016	0,008	0,004
80						1	0,5	0,25	0,125	0,063	0,032	0,016	0,008
63							1	0,5	0,25	0,125	0,063	0,032	0,016
50								1	0,5	0,25	0,125	0,063	0,032
40									1	0,5	0,25	0,125	0,063
32										1	0,5	0,25	0,125
25											1	0,5	0,25
16												1	0,5

**Таблица 4 – Пример записи результатов измерений и их обработки при определении зернового состава шлифматериала зернистости M20**

Наименование показателей		Наименование фракции и интервал размеров зерен фракции										
		Предельная (40-28)			Крупная (28-20)				Основная (20-24)	Смежная (14-10)	Мелкая 1-я (10-7)	Мелкая 2-я (7-5)
Размер зерна, мкм	Фракция единичного	33,6	30,8	29,4	26,6	25,2	23,8	21,0	17	12	8,5	6
Объем зерна, мкм <sup>3</sup>	Фракция единичного	37938	29218	25412	18821	16003	13481	9261	4913	1728	614	216
Число зерен		1	1	1	2	3	5	10	420	353	202	200
Коэффициент приведения объема		7,72	5,95	4,64	3,83	3,26	2,74	1,88	1	0,352	0,125	0,044
Приведенный объем зерна		7,72	5,95	4,64	7,66	9,78	13,7	18,8				
Суммарный приведенный объем фракции				18,31		49,94			420	124,6	25,3	8,8
Содержание фракции, % по массе			2,8			7,7			65	19,22	3,9	1,4
Результаты анализа, %			3			8			65	19	4	1

## Содержание

1	Цель работы	3
2	Лабораторное оборудование, оснастка и материалы	3
3	Порядок работы	3
4	Общие сведения	3
4.1	Проблема геометрии зерна	7
5	Воспроизведение формы, размеров и геометрии зерна	8
5.1	Определение зернового состава шлифматериала конкретного номера зернистости	9
5.2	Оценка однородности размеров зерен	9
5.3	Исследование радиусов округления ( $\rho$ ) и углов при вершинах зерен	10
6	Контрольные вопросы	10

Курдюков Владимир Ильич  
Андреев Андрей Анатольевич

## ГЕОМЕТРИЯ АБРАЗИВНОГО ЗЕРНА

Методические указания  
к выполнению лабораторной работы  
по дисциплине «Основы абразивной обработки»  
для студентов направления 151900.62  
«Конструкторско-технологическое обеспечение  
машиностроительных производств»  
(профиль «Технология машиностроения»)

Редактор Е.А. Могутова

---

Подписано к печати 20.01.14	Формат 60x84 1/16	Бумага тип. № 1
Печать цифровая	Усл. печ. л. 1,0	Уч.-изд. л. 1,0
Заказ 11	Тираж 22	Не для продажи

---

Редакционно-издательский центр КГУ.  
640646, г. Курган, ул. Гоголя, 25.  
Курганский государственный университет