

## Предисловие

Технический уровень предприятий машиностроительной, подшипниковой, станкостроительной, авиационной и ряда других отраслей промышленности во многом определяется научно-техническим уровнем металлообрабатывающих производств. Возрастающая потребность промышленности в изделиях высокой точности и качества представляет все более высокие требования к технологиям и оборудованию абразивной обработки.

В условиях современного рынка, конкуренции и ограниченных финансово-экономических ресурсов предприятий важное место принадлежит совершенствованию абразивных инструментов и повышению их качества и эффективности. Проблема совершенствования существующих абразивных инструментов на основе разработки оптимальных зерновых составов, широко используемых шлифовальных материалов, а также регулирования их структурно-механических характеристик и эксплуатационных показателей является важной и актуальной. Это обусловлено тем, что существующие методы и технологии получения новых видов абразивных материалов и изготовление из них инструментов связаны с большими финансовыми и энергетическими затратами и представляют, как правило, экологическую опасность для окружающей среды.

В связи с этим возникает необходимость и усиливается целесообразность подготовки высококвалифицированных кадров, владеющих знаниями и навыками разработки технологических принципов и регламентов проектирования и изготовления модифицированных абразивных инструментов для высокоэффективной и качественной обработки деталей машин. Одновременно с этим в рамках компетентностного подхода при реализации образовательных программ высшего образования у студентов необходимо сформировать способность разработки инновационных технологий производства перспективных абразивных инструментов.

Предлагаемое учебное пособие полезно студентам, обучающимся по программам бакалавриата и магистратуры по направлению «Технология машиностроения», а также научным работникам, аспирантам, преподавателям, инженерам и технологам металлообрабатывающей промышленности.

В результате освоения дисциплины «Теория, технология и практика совершенствования абразивных инструментов» студент должен:

### **ЗНАТЬ:**

- основные направления создания новых и совершенствования существующих абразивных инструментов;
- основные положения технологии производства абразивных инструментов;
- теоретические основы формирования внутреннего строения абразивных инструментов;
- теоретические основы и технологические принципы создания высокоэффективных абразивных инструментов;
- основные положения по разработке технико-технологических инновационных решений по совершенствованию абразивных инструментов.

**УМЕТЬ:**

- формулировать и решать задачи по совершенствованию абразивных инструментов;
- использовать в своей деятельности основные понятия, терминологию, закономерности, модели процессов формирования внутреннего строения абразивного инструмента на всех этапах его изготовления;
- перерабатывать информацию в базах данных;
- проектировать и корректировать рецептуры формовочных смесей для изготовления абразивных инструментов в зависимости от целей и задач их совершенствования;
- обосновывать технико-технологические решения при разработке инновационных проектов и технологий модифицирования абразивных инструментов;
- пользоваться нормативными документами, регламентирующими методы контроля структурно-механических характеристик инструментов.

**ВЛАДЕТЬ:**

- навыками расчета рационального оптимального размера содержания частиц наполнителя в формовочной смеси в зависимости от структурных характеристик инструментов;
- навыками определения режимов и условий обработки материалов модифицированными инструментами;
- навыками расчета количества связки для модифицированных инструментов;
- навыками определения объемно-размерных характеристик порового пространства и профиля рабочей поверхности инструмента;
- навыками использования методики системно-комплексного подхода к совершенствованию абразивных инструментов.

## **1. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СТРУКТУРЫ АБРАЗИВНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ**

В настоящее время совершенствование абразивных инструментов ведется по нескольким направлениям, обусловленным как возрастающими требованиями потребителей, так и условиями и технологиями их производства, с целью получения инструментов различного назначения и повышения их качества и эффективности. Наиболее распространенными путями совершенствования инструментов являются изыскания, разработки и исследования методов и способов улучшения их структурно-механических свойств и эксплуатационных показателей за счет варьирования физико-механическими и структурными характеристиками составляющих черепка инструмента: зерна, связки и пор [18, 22, 32, 34, 39, 49, 166, 167, 170]; создания новых конструкций инструментов, таких как высокопористые, композиционные для скоростного шлифования и др. [3, 54, 63, 103, 118, 147, 149, 166]; термообработки и импрегнирования химически активными и стабилизирующими составами [48, 52, 67, 89, 119]; оптимизации объемно-размерных характеристик черепка инструмента и параметров его рабочей поверхности [38, 50, 117, 119, 167] и т. д.

Несмотря на большой объем теоретико-экспериментальных работ [25, 27, 32, 35, 58, 78, 94, 104, 107, 118, 131], вопросы структурно-технологического обеспечения регуляции и стабилизации характеристик и показателей абразивных инструментов, а также новых процессов их совершенствования еще недостаточно изучены. До сих пор отсутствует обобщенная теоретическая модель конструкции внутреннего строения и рельефа рабочей поверхности инструментов, связывающая гостированные характеристики (зернистость, твердость, структура) с объемно-размерными показателями (пористость, средневероятностное расстояние между зернами, количество рабочих зерен на поверхности черепка инструмента). Мало изучены вопросы упрочнения высокопористых инструментов на основе анализа внутренних полей напряжений и исследования процессов трещинообразований в черепке инструментов. В литературных источниках по вопросам совершенствования инструментов путем их термопрокали и импрегнирования отсутствуют работы по моделированию этих процессов и изысканию их рациональных температурно-временных режимов, а также научно обоснованные технологические принципы и методология регуляции и стабилизации структурно-механических характеристик абразивных инструментов. Кроме этого, мало внимания уделяется вопросам изменчивости характеристик и параметров абразивных инструментов под воздействием внешней среды и применяемых водных СОЖ, что существенно влияет на стабильность и управляемость процесса шлифования, особенно при автоматизированном производстве изделий [62, 94, 158, 170, 175].

Одним из перспективных путей повышения производительности инструментов и качества шлифования является оптимизация зернового состава абразивных материалов. Однако в настоящее время этому вопросу также уделяется недостаточное внимание. В экспериментальных исследованиях, как правило, не

указывается зерновой состав испытываемых инструментов, что может приводить к противоречивым выводам по результатам исследований. Содержание отдельных фракций зернового состава и их соотношение между собой оказывают непосредственное влияние на структурно-механические свойства инструмента и показатели процесса шлифования, определяя съём металла, качество обрабатываемой поверхности, износ и стойкость инструмента. Между тем при выборе характеристик инструмента для заданной операции шлифования эти решающие факторы для процесса обработки часто не учитываются. В научной литературе по вопросам шлифования влияние зернового состава шлифматериалов на характеристики и показатели инструментов, несмотря на свою первоочередную значимость, не получило должной оценки. Отсутствуют научно обоснованные рекомендации по составлению рациональных абразивных смесей для изготовления инструмента с регламентированными структурно-механическими характеристиками под заданные процессы шлифования. В связи с этим необходимо в первую очередь рассмотреть состояние вопросов по особенностям гранулометрии, характеристикам зерновых составов абразивных материалов и влиянию их на свойства инструментов и параметры процессов шлифования.

### **1.1. Анализ зерновых составов абразивных материалов и их влияние на характеристики и показатели инструментов**

Особенности гранулометрии шлифматериалов заключаются в том, что они представляют собой полидисперсные системы зерен, различающихся размерами и формой. Характеристику, выражающую зависимость массы (объема) зерен от их размеров, называют зерновым (гранулометрическим) составом. Этот состав условно подразделяется на фракции (ГОСТ 3647-80). По существу стандарту фракции, в свою очередь, подразделяются на предельную, крупную или предельную плюс крупную, основную, комплексную и мелкую.

Основная фракция является преобладающей по массе, объему или числу зерен, а размер зерен этой фракции определяет номер зернистости абразивного материала или инструмента. Минимальное процентное содержание основной фракции по массе определено стандартом. Смежная с основной и превышающая ее по размерам называется крупной фракцией. Стандарт определяет максимальное содержание этой фракции. Смежная с крупной фракцией, размеры зерен которой больше крупной, называется предельной. Предельной фракции не должно быть в составе шлифовального материала. В мелкой фракции размеры зерен меньше размера зерен основной фракции. Мелкую фракцию в порядке уменьшения размеров зерен делят еще на две – мелкая 1 и мелкая 2. Фракция мелкая 1 входит в состав комплексной фракции, и ее количество отдельно не регламентируется. Стандарт определяет суммарное содержание крупной, основной и мелкой фракций. Верхний предел размеров зерен фракции мелкая 2 задан в ГОСТ 3647-80, где она называется мелкой фракцией. Зерна, принадлежащие к этой фракции, должны пройти через последнее пятое сито и остаться на поддоне. Стандарт определяет их минимальное процентное содержание по массе. Комплексная фракция для шлифзерен и шлифпорошков состоит из трех

фракций крупной, основной и смежной (дополнительной к основной); для микропорошков – из двух фракций: основной и смежной. Смежная (дополнительная к основной) фракция находится между основной и мелкой. Введен индекс качества абразивного материала в зависимости от процентного содержания основной фракции зернового состава, который позволяет изменять процентное содержание основной фракции зернового состава от гостированного (нормального) содержания в сторону увеличения для шлифзерна в 1,22 раза и уменьшения в 1,10 раза, а для микропорошков соответственно в 1,33 и в 1,05 раза.

В табл. 1.1 представлены данные по фактическому содержанию отдельных фракций зерновых составов, выпускаемых различными заводами и фирмами [17, 31, 72, 96].

Таблица 1.1

Фактическое процентное содержание отдельных фракций шлифзерна [31, 72]

Абразивный материал	Наименование фракций				
	предельная	крупная	основная	комплексная	мелкая
По ГОСТ 3647-80	0	не более 20 (15)	не менее 45(55)	не менее 90 (95)	не более 3 (2)
24А; 25А	0,8–1,1	16,5–19,5	40,5–47,0	87,9–93,8	6,2–14,5
54С; 53С	1,2–4,0	15–23,7	41,3–46,5	79,6–81,4	4,4–17,4
64С; 63С	1,7–2,2	18,9–30,0	27,0–52,9	66,3–98,1	0,2–9,8
NK (Нортон)	0	10,5	27,5	61,2	38,8

Анализ этих данных показывает, что в зерновых составах отечественного производства рассмотренных номеров зернистостей, наиболее часто применяемых при шлифовании, содержание основных фракций соответствует норме и не выходит за пределы, допускаемые ГОСТ. В то же время предельные, крупные и мелкие фракции по отдельным видам шлифзерна значительно превосходят допускаемые пределы. Особенно это касается мелкой фракции, содержание которой может быть в 5,8 раза больше или в 15 раз меньше, чем предусмотрено ГОСТ. От таких колебаний значений содержания крупных и мелких фракций следует ожидать существенных изменений в характеристиках и показателях инструментов.

Следует отметить отдельно зерновой состав шлифзерна NK фирмы «Нортон», у которого содержание основной фракции зерна в два раза меньше, а мелкой фракции содержится в 8–9 раз больше, чем у зерна марки 24А отечественного производства. Причем в отдельных импортных шлифкругах присутствует дополнительная мелкодисперсная фракция, которая в 5–6 раз меньше размеров зерен основной фракции. Приведенные данные свидетельствуют, что абразивные составы смесей отдельных зарубежных фирм значительно отличаются от отечественных зерновых составов. В рекламных проспектах зарубежных фирм не дается никаких объяснений по такому различию, но утверждается об эффективности инструментов, изготовленных из таких абразивных смесей. В отчетах ВНИИАШ (1979) также приводятся сведения о том, что абразивные инструменты фирмы «Нортон» показывали значительно лучшие результаты, чем аналогичные отечественные шлифкруги.

Для аналитического описания распределения зерен и частиц измельченных материалов предложены различные эмпирические и теоретические формулы, обзор которых дан в работе [75].

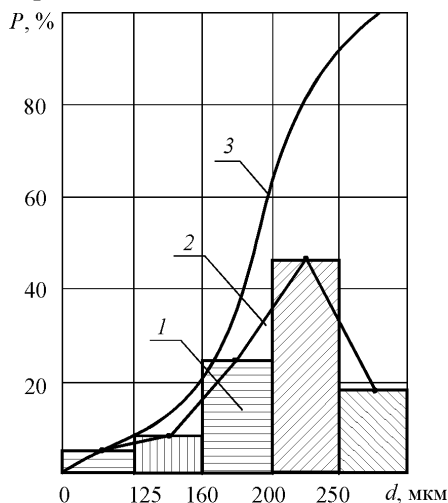


Рис. 1.1. Способы графического описания зернового состава шлифзерна

На рис. 1.1 для шлифзерна зернистостью № 25 показаны основные способы графического описания зернового состава в виде гистограммы 1, дифференциальной 2 и интегральной кривой 3. Гистограмма и дифференциальная кривая наглядно характеризуют относительное содержание различных фракций зерна в шлифматериале. С другой стороны, интегральная кривая менее резко отражает изменения в гранулометрическом составе и об относительном содержании отдельных фракций приходится судить по наклону касательных к кривой. При этом отсутствие той или иной узкой фракции в шлифзерне вообще может остаться незамеченным, но зато интегральная кривая освещает более ясно общий характер зернового состава. Чем круче проходит интегральная кривая, тем меньше пределы, в которых изменяются размеры фракций шлифматериала, тем шлифзерно однороднее по размерам.

Интегральные кривые удобны для сравнения на общем графике нескольких зерновых составов независимо от того, какие фракции определялись в каждом анализе. Для характеристики зернового (гранулометрического) состава широко используют так называемые коэффициенты сортированности, полидисперсности или неоднородности [23, 45, 75, 132, 159]. Они представляют собой отношение размеров зерен или частиц, соответствующих некоторым определенным точкам гранулометрической кривой. Эти точки различными авторами выбираются исходя из тех или иных представлений о том, какие именно частицы или зерна оказывают определяющее влияние на свойства и поведение исследуемых масс или смесей.

При исследовании керамических смесей для оценки неоднородности (полидисперсности) зернового состава используют следующее соотношение [127]:

$$K_H = \frac{K_{80}}{K_{20}}, \quad (1.1)$$

где  $K_{80}$  – размеры частиц, выше которых на интегральной кривой находится 80%;  $K_{20}$  – размеры частиц, ниже которых находится 20%. Как указано в работе [128], с точки зрения прессования и заполнения пространства достаточно полидисперсными являются порошки с  $K_n > 8-10$ .

Очевидно, если смесь зерен содержит зерна лишь одного размера, то  $K_{80} = K_{20}$  и тогда  $K_n = 1$ . Чем разнороднее шлифматериал по размерам зерен, тем будет большее значение  $K_n$ .

Используя данные [96] по интегральному распределению размеров абразивных зерен разной зернистости и видов, были определены значения коэффициентов  $K_n$  и представлены в табл. 1.2.

Из табл. 1.2 видно, что коэффициент неоднородности зернового состава разных абразивных материалов изменяется в достаточно узких пределах от 1,2 до 2,0. Наибольшие значения этого коэффициента наблюдаются у зерен из карбида кремния, наименьшее значение – у зерен монокорунда и электрокорунда нормального. В целом, по всем представленным в табл. 1.2 абразивным материалам отмечается достаточная однородность зернового состава. Следует отметить, что исследуемое шлифзерно имело содержание основной фракции в пределах 45–50%. С увеличением объемного содержания основной фракции шлифзерна коэффициент  $K_n$  будет стремиться к единице, т. е. зерновой состав в данном случае можно считать однородным по размерам зерна.

Таблица 1.2

Коэффициенты  $K_n$  абразивных материалов

Абразивный материал	Зернистость	$K_{80}$ , мкм	$K_{20}$ , мкм	$K_n$	Абразивный материал	Зернистость	$K_{80}$ , мкм	$K_{20}$ , мкм	$K_n$
14А	40	600	500	1,20	54С	40	600	410	1,45
24А	40	600	400	1,50	54С	25	460	230	2,0
24А	25	400	280	1,43	54С	16	225	130	1,73
24А	16	240	180	1,33	63С	40	600	430	1,39
14А	16	180	120	1,50	63С	16	250	160	1,56
44А	40	660	520	1,26	63С	25	450	260	1,73

На рис. 1.2 показано изменение коэффициента неоднородности  $K_n$  шлифзер на 24А в зависимости от содержания в смеси зерна основной фракции и зернистости.

Полученные зависимости на рис. 1.2 можно аппроксимировать следующим выражением:

$$K_H = \frac{A}{O_\phi^n}, \quad (1.2)$$

где  $O_\phi$  – процентное содержание основной фракции шлифзерна;  $A$  – коэффициент, зависящий от вида и зернистости зерна ( $A = 5,2-12,0$ );  $n$  – показатель степени ( $n = 0,36-0,54$ ).

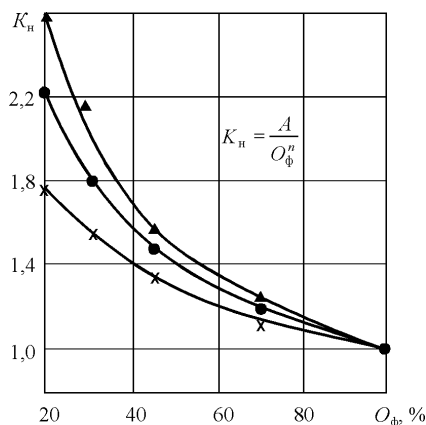


Рис. 1.2. Изменение коэффициента неоднородности  $K_n$  от содержания основной фракции зерна  $O_\phi, \%$ :  $\blacktriangle$  – 24А 40;  $\bullet$  – 24А 25;  $\times$  – 24А 16

Для оценки дисперсности абразивных материалов и их смесей используют и такой показатель, как средневзвешенный размер зерен по объему или, что то же самое, по массе.

Существуют различные способы усреднения [23, 75], однако чаще определяют этот показатель по формуле

$$d_{CP}^{OE} = \frac{\sum \Delta P d_{CP}^\phi}{100}, \quad (1.3)$$

где  $\Delta P$  и  $d_{CP}^\phi$  – содержание узкой фракции и средний размер ее зерна соответственно.

Средний размер зерен абразивной смеси зависит от объемного содержания основной фракции и рассчитывается по данным зернового (гранулометрического) состава.

Следует отметить, что рассмотренные выше характеристики зерновых составов не отражают содержания всех фракций и их соотношения между собой, что затрудняет определение значимости каждой фракции в зерновом составе абразивного материала. До сих пор отсутствует единый обобщающий показатель зерновых составов, который бы не зависел от субъективного мнения отдельных исследователей, а обеспечивал бы объективную оценку исследованиям с разными зерновыми составами.

Другой, не менее важной характеристикой абразивных материалов является форма зерен. Анализ литературных данных и результатов проведенных исследований [20, 31, 65, 72, 91, 99, 103, 112, 132, 155] показывает, что форма зерна значительно влияет как на структурно-механические свойства и работоспособность абразивного инструмента, так и на эффективность процесса шлифования. Однако до сих пор отсутствует единый определяющий параметр или показатель, который мог бы достаточно точно характеризовать форму зерна. Это можно объяснить большим разнообразием форм абразивных зерен от сферообразных до пластинчатых и иглообразных. Существует терминологическое описание конфигурации зерен, выражающееся через понятие «изотермическая, промежуточная и осколочная форма». В отдельных случаях указываются соот-



ношения между длиной  $l$ , шириной  $b$  и толщиной  $h$  зерен разной формы. Так, И. В. Лавров установил для изометрических зерен соотношение:  $l:b:h = 1:1:1$ , для пластинчатых  $l:b:h = 1:1:0,3$  и иглообразных –  $l:b:h = 1:0,33:0,33$  [96]. А. Б. Ваксер [31], в свою очередь, пришел к заключению, что для изотермической формы зерна соотношение  $b:l:h = 1:1,3:0,6$ , для иглообразной –  $b:h = 1:2$ , а для пластинчатой формы –  $b:h < 0,4$ . Различие в представленных соотношениях можно объяснить тем, что размеры, характеризующие форму зерна, зависят от марки зерна, его зернистости и технологии изготовления.

В работе Н. В. Носова [115] рассмотрены и другие варианты соотношений между основными геометрическими параметрами, характеризующими форму абразивного зерна. Отмечается, что в абразивной отрасли форму зерна принято описывать такими показателями, как степень асимметрии, коэффициент изометричности, коэффициент полноты формы зерна, коэффициент формы зерна и др. Все эти показатели в виде коэффициентов сведены в табл. 1.3.

Анализ представленных в табл. 1.3 коэффициентов показывает, что все они не отвечают полностью реальному отображению формы абразивного зерна. Так, коэффициенты асимметричности или изометричности, определяемые через соотношение длины и ширины зерна без учета толщины, приводят к неоднозначным выводам относительно формы зерна. Например, имея два соотношения размеров зерен в виде  $l:b:h = 1:1:1$  и  $l:b:h = 1:1:0,3$ , коэффициент асимметричности будет в обоих случаях равен единице. В то же время в первом случае зерно будет изометрической, а во втором – пластинчатой формы.

Такой же недостаток имеет коэффициент формы, определяемый через единицу окружности и периметр зерна, которые измеряются только в одной плоскости без учета толщины зерна, что также приводит к неадекватному отображению формы зерна. Для расчета коэффициента сферичности требуется большое количество замеров зерен (не менее 500 шт.), а определение удельной поверхности является трудоемкой операцией.

Проведенный А. В. Мурдасовым [112] анализ изменения вида и формы разных геометрических фигур в зависимости от их параметров позволил сделать вывод, что математическое выражение, наиболее характеризующее форму зерна, должно иметь вид

$$K_{\phi} = \frac{R_{оп}}{R_{вп}} = \frac{D_{оп}}{D_{вп}}. \quad (1.4)$$

Таблица 1.3

Показатели, характеризующие форму абразивного зерна

Наименование показателей формы зерна	Формы показателей	Авторы
1. Коэффициент асимметричности	$\alpha_a = \frac{1}{b}$ , где $l, b$ – глубина и ширина зерна	Н. И. Волский [35]
2. Коэффициент изометричности	$K_u = \frac{1}{\alpha_a}$	Н. И. Волский [35]

Наименование показателей формы зерна	Формы показателей	Авторы
3. Коэффициент формы	$K_\phi = \frac{l_3}{P}$ , где $l_3$ – длина окружности зерна; $P$ – периметр зерна	А. В. Якимов [166], В. Н. Бакуль [23]
4. Коэффициент формы	$K_\phi = \frac{V_3}{V_3}$ , где $V_3$ – объем трехосного эллипсоида; $V_3$ – реальный объем зерна	Ю. М. Ковальчук [118]
5. Коэффициент сферичности	$\psi = \frac{\pi d_0^2 N_{3i}}{S_{уд}}$ , где $d_0$ – эквивалентный диаметр зерна; $N_{3i}$ – число частиц в единице массы; $S_{уд}$ – удельная поверхность	Г. М. Ипполитов [58], А. Н. Резников [142]
6. Коэффициент полноты формы зерна	$K_\Pi = \frac{V_3}{lb^2}$	И. В. Лавров [96]
7. Коэффициент формы зерна	$K_\phi = \frac{R_{оп}}{R_{вп}} = \frac{D_{оп}}{D_{вп}}$ , где $R_{оп}$ , $D_{оп}$ – радиус и диаметр описанной окружности; $R_{вп}$ , $D_{вп}$ – радиус и диаметр вписанной окружности	А. В. Мурдасов [112], А. Н. Коротков [72]

Исходя из этого, наиболее рациональным является определение коэффициента формы зерна через размеры зерна по трем его проекциям:

$$K_\phi = \frac{K_{\phi 1} + K_{\phi 2} + K_{\phi 3}}{3}, \quad (1.5)$$

где  $K_{\phi 1} = \frac{l}{b}$ ,  $K_{\phi 2} = \frac{l}{h}$ ,  $K_{\phi 3} = \frac{b}{h}$ .

Например, если зерно имеет следующее соотношение размеров:  $l:b:h = 1:0,8:0,5$ , то

$$K_{\phi 1} = 1,25, K_{\phi 2} = 2,0, K_{\phi 3} = 1,6 \text{ и } K_\phi = \frac{1,25 + 2,0 + 1,6}{3} = 1,62.$$

Для оценки формы зерен по вышепредложенной методике необходимо иметь две проекции абразивного зерна. При большом объеме работ по оценке формы зерен процесс проецирования и измерений можно значительно облегчить, используя телекамеру с монитором и компьютер со специальной программой.

В работе [72] дана классификация форм абразивных зерен по коэффициенту  $K_\phi$ , в которой изометрические зерна имеют  $K_\phi = 1,0$ – $1,4$ , промежуточные –  $K_\phi = 1,4$ – $1,8$ , осколочные –  $K_\phi = 1,8$ ... $+2,2$ , пластинчатые и игольчатые –  $K_\phi = 2,2$ – $3,0$ .

Следует отметить то, что в любом зерновом составе абразивного материала основная масса зерен укладывается в диапазон  $K_\phi = 1,4\text{--}2,6$ , а конкретный вид кривой распределения зависит от марки абразива, зернистости и технологии изготовления зерна. На рис. 1.3 представлены кривые распределения зерен по форме на примере нормального электрокорунда отечественного производства и производства ФРГ [72].

Анализ кривых распределения показывает, что в зерновом составе электрокорунда 13А преобладают зерна изометрического и промежуточного вида, а у электрокорунда НК (ФРГ) – осколочного и пластинчатого типа. Аналогичная закономерность наблюдается и для других марок зерна. Это объясняется особенностями технологий изготовления, дробления и сортирования абразивного материала разными заводами и фирмами.

На рис. 1.4 представлены результаты определения механической прочности зерен различной формы по методике ВНИИАШ. Как видно из графика, прочность зерен разных марок заметно возрастает с изменением формы зерна от пластинчато-игольчатой ( $K_\phi = 2,8$ ) к изометрической ( $K_\phi = 1,2$ ).

Так, по данным [40, 143] прочность и твердость обожженных образцов инструментов снижаются по мере повышения изометричности зерен. Понижение прочности и твердости образцов авторами объясняется меньшей сцепляемостью изометрического (окатанного) зерна со связкой.

В работе [72] представлены результаты испытаний исследуемых кругов на сжатие и разрыв, которые свидетельствуют о повышении прочностных характеристик инструментов с применением формы зерен от пластинчато-игольчатых к изометрическим. Это объясняется тем, что изометрическое (округлое) зерно на локальных участках шлифкруга вокруг себя вызывает наименьшее окружное напряжение по сравнению с другими формами зерен. В этой работе дано аналитическое описание взаимосвязи коэффициентов формы зерен и напряжений вокруг них в связке в виде:

$$\sigma_{\text{т}} = 1,469 \exp(K_\phi). \quad (1.6)$$

В связи с этим по вопросам механической прочности абразивных инструментов, изготовленных из зерен, классифицированных по форме, требуются дополнительные теоретические и экспериментальные исследования.

Таким образом, рассмотренные выше особенности гранулометрии и основные характеристики и параметры зернового состава абразивных материалов показывают основные пути структурной модификации инструментов посредством целенаправленного изменения зернового состава и объемного содержания отдельных фракций формовочных смесей, а также рациональным подбором формы зерен, лучше всего отвечающим заданному процессу шлифования.

Следует также отметить, что характеристики абразивных инструментов определяются в первую очередь их строением (структурой) и зерновым составом. При совершенствовании инструментов должны учитываться оба фактора. Оптимальные характеристики инструментов можно достигнуть только при рациональном сочетании указанных факторов. Существенное влияние зернового состава абразивных материалов на эффективность инструментов показано в ряде работ [18, 22, 31, 34, 132, 169, 174].

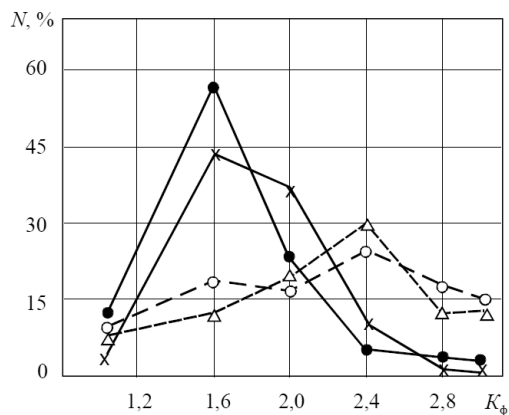


Рис. 1.3. Распределение зерен по форме:  
● – 13A40; Δ – НК (ФРГ); x – 92A40; o – ЕК (ФРГ).

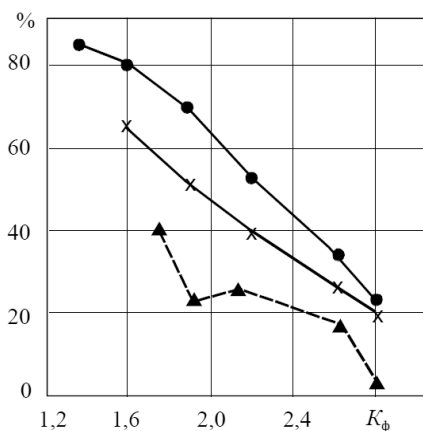


Рис. 1.4. Зависимость механической прочности зерна от коэффициента формы  $K_\phi$ :  
● – 24A 25; x – 53C 25; ▲ – 64C 25.

Основные структурные и физико-механические свойства абразивного инструмента зависят главным образом от дисперсности (крупности) зерен и от их соотношения в зерновом составе. С уменьшением зернистости и оптимизации зернового состава свойства и показатели инструмента, как правило, улучшаются [18, 94, 167, 171].

Оптимизация зернового состава подразумевает получение абразивной смеси с узкой фракций зерна по размеру или набором разных фракций, но сравнительно одинаковым их соотношением в зерновом составе. На рис. 1.5 представлены образцы смесей с разными зерновыми составами. Под номером 1 изображен зерновой состав с однородным распределением зерен по размеру, практически это однофракционный (узкофракционный) состав смеси, под номером 2 представлен зерновой состав, сравнительно однородный по объемному или весовому содержанию отдельных фракций зерна.

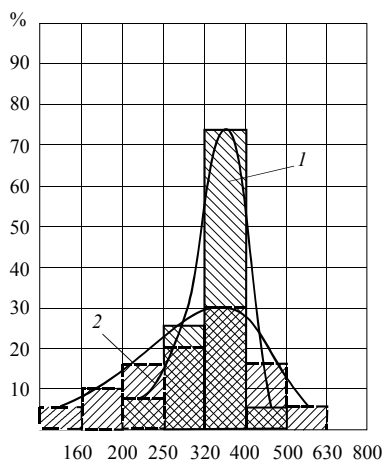


Рис. 1.5. Гистограммы и распределение зерен по размерам состава абразивных смесей: 1 – с однородным распределением по размеру зерна (содержание основной фракции зерна 73%); 2 – с однородным по объемному (весовому) соотношению фракций зерна (содержание основной фракции зерна 30%).

В первом случае (рис. 1.5) содержание основной фракции зерна размером от 320 до 400 мкм составляет 73%, а во втором случае – 30%. Если теперь сравнить содержание смежных фракций с основной, то в первом зерновом составе соотношение содержания основной фракции к смежным составляет от 2,8 до 14,6, а во втором – от 1,5 до 2,0.

В первом случае зерновой состав абразивной смеси однороден по размеру зерна и имеет большую неоднородность по соотношению фракций зерна, во втором случае наблюдается обратная картина – однородность по содержанию фракций и неоднородность по размеру зерна с одновременным уменьшением средневзвешенного размера зерна абразивной смеси.

В связи с этим одной из существенных проблем является изыскание новых и совершенствование существующих составов абразивных смесей различных характеристик, реализующие конкретные требования к инструментам по прочности, твердости, пористости и структуре.

В работе [31] показана эффективность шлифования кругами одного номера зернистости с содержанием основной фракции зерна от 42 до 88,5%. Круги были изготовлены из зерна 24A40 твердостью CM2-C2 на керамической связке. Форма и размеры кругов – ПП400 × 40 × 127 мм. Шлифовались образцы из стали 45 (HRC 48–52). Режим шлифования:  $V = 37$  м/с,  $V_u = 22$  м/мин,  $V = 10$  мм/об.

Полученные результаты испытаний кругов с различным содержанием зернового состава показали, что с повышением содержания основной фракции, т. е. степени однородности по размеру зерна, производительность повышается приблизительно в 1,2 раза, а износ круга уменьшается в 2,5 раза. Другие показатели инструментов, как расход мощности на шлифование, шероховатость поверхности и др., также зависят от содержания основной фракции зерна. Чем больше содержание, тем лучше эти показатели.

В исследованиях [132] отмечается, что повышение степени однородности зернового состава по размеру шлифкругов 24A40CM16K5 способствует повышению режущих свойств кругов. Круг с 75%-ным содержанием основной фракции зерен работает с более высокой стойкостью (до 30–37%), меньшим удельным расходом энергии (около 12%), меньшим значением нормальной и тангенциальной составляющей силы резания (около 14 и 19% соответственно) по сравнению с обычными кругами, имеющими 45%-ное содержание основной фракции.

Проведенные экспериментальные работы [33, 34] по влиянию гранулометрического состава абразива на эффективность процесса тонкого шлифования показали следующее. Шлифкруги 63CM40(CM1–C1)10K3, изготовленные из шлифпорошков карбида кремния черного, на операциях шлифования желобов наружных колец шарикоподшипников из стали ШХ15 и нержавеющей стали 11х18М показали, что увеличение содержания основной фракции с 52 до 68% позволило уменьшить шероховатость поверхности на 3–4 разряда, снизить удельный износ инструмента в 2–3 раза и уменьшить силы резания приблизительно в 1,5 раза.

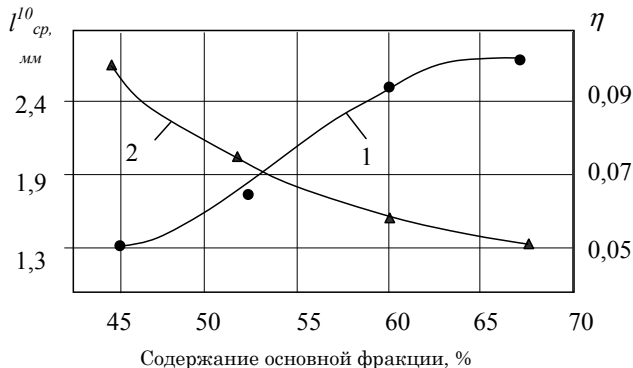


Рис. 1.6. Зависимость среднего расстояния между зернами  $l_{cp}$  (1) и коэффициента опорной линии  $\eta_0$  (2) от содержания основной фракции зерна (шлифкруг 24A40CM16K5)

Обработка экспериментальных данных ряда исследователей [33, 34, 132] по рельефу рабочей поверхности шлифовальных кругов позволила установить закономерности изменения определяющих параметров этого рельефа от содержания основной фракции зерна.

На рис. 1.6 представлены зависимости среднего расстояния между зернами  $l_{cp}$  и коэффициента опорной линии  $\eta_0$  на уровне секущей профиля 10 мкм от однородности зернового состава по размеру зерна. Анализ этих зависимостей показывает, что с повышением содержания основной фракции среднее расстояние между зернами на рабочей поверхности инструмента увеличивается, а коэффициент опорной линии, характеризующий площадь контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью, уменьшается. При этом наблюдается снижение интенсивности изменения этих параметров в интервале 60–70% содержания основной фракции.

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)