

7. Осипов, В.А. Основы выбора параметров предохранительных блокируемых муфт и предохранительных инерционных муфт для приводов машин (на примере машин химического производства): дисс. ... канд. техн. наук: 05.02.02 / Осипов Вениамин Анатольевич.- Томск, 1987.-118 с.
8. Иванов, Е.А. Муфты для приводов / Е.А. Иванов.- М.: Машиностроение, 1964. - 110 с.
9. Коперчук, А.В. Повышение нагрузочной способности механизма блокировки предохранительной гидродинамической муфты / А.В. Коперчук, А.В. Мурин // Материалы VIII международной научно-практической конференции «Прикладные научные разработки – 2012».– Прага, 2012.-Том 13.- с. 11-14.
10. Дьяченко, С.К. Предохранительные муфты / С.К. Дьяченко, Н.Ф. Киркач.- Киев: Государственное издательство технической литературы УССР, 1962.- 124 с.
11. Коперчук, А.В. Совершенствование механизма блокировки предохранительной гидродинамической муфты : дисс. ... канд. техн. наук: 05.02.02 / Коперчук Александр Викторович.- Томск, 2013.-109 с.

### **ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ЗЕРЕН НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ**

*А.Н. Коротков, д.т.н., проф., Л.П.Короткова\*, к.т.н., доц., Р.Х. Губайдулина\*\*, к.т.н., доц.  
Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачёва  
650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, тел. (3822)-39-63-99  
E-mail: korotkov.a.n@mail.ru*

*\*Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачёва  
650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, тел. (3822)-39-63-86  
E-mail: techmet@list.ru*

*\*\* Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (354-51)6-22-48  
E-mail: victory\_28@mail.ru*

#### **Введение**

Шлифовальные круги широко используются при изготовлении различных деталей, находя не только традиционное применение на чистовых, отделочных операциях, но и активно распространяясь на черновые, отрезные и обдирочные виды обработки. Этому способствует как эксплуатационные возможности данных инструментов, так и доступность и недефицитность абразивных материалов, из которых они изготавливаются. В то же время анализ показывает, что эффективность применения существующих конструкций шлифовальных кругов невысока и составляет лишь небольшую долю от их максимально достижимых показателей. Одной из главных причин такого положения является отсутствие контроля за формой режущих элементов этих инструментов, которыми служат отдельные абразивные зерна, находящиеся на рабочей поверхности кругов и обеспечивающие процесс множественного микрорезания [1]. Форма зерен формирует их геометрию, предопределяя ту или иную способность зерен срезать обрабатываемый материал, находясь в теле шлифовального круга. Поскольку стандартные шлифовальные круги состоят из зерен, форма которых произвольно изменяется от изометрических до иглообразных и пластинчатых разновидностей, то и геометрия зерен (т.е. углы резания и передние углы) тоже произвольно колеблется. В диапазон произвольных изменений геометрии зерен лишь случайным образом попадают углы, благоприятные для срезания стружки. Большая часть зерен, имеющих неблагоприятную для резания геометрию, или вообще не участвует в процессе микрорезания либо срезает стружки с большими деформациями и сильным нагревом металла [2].

Упорядочение формы зерен и, как следствие, их геометрии позволяет увеличить эффективность работы каждого отдельного зерна и, значит, повысить работоспособность шлифовальных кругов в целом.

В данной работе описываются результаты решения названной научной проблемы, полученные путем изготовления и испытания шлифовальных кругов из зерен с контролируемой формой.

#### **Методика и результаты оценки формы зерен**

Для количественной оценки встречающихся разновидностей форм зерен использован коэффициент формы, равный отношению диаметра описанной вокруг проекции зерна на плоскость окружности (или описанной вокруг зерна сферы, в трехмерной системе координат [3]) к диаметру вписанной окружности (или вписанной сферы). Для получения коэффициента формы зерен рассматривае-

мой фракции, марки и зернистости таким измерениям подвергалось не менее 100 отдельных зерен, а результат затем усреднялся.

Форма зерен на первом этапе оценивалась путем их проецирования через диапроектор на экран, обведение теневых проекций и последующих построений вписанных и описанных окружностей [4]. В дальнейшем для этих же целей использовалась телекамера, цифровой аппарат с поворотным устройством для определения объемного коэффициента формы, сканер и специальное программное обеспечение для построения вписанных и описанных окружностей (или сфер) и вычисления коэффициентов формы как для отдельных зерен, так и для рассматриваемой фракции зерен в целом [5].

В табл.1 представлены результаты оценки формы зерен различных марок и зернистостей российского (13А, 92А, 93А, 95А) и немецкого производства (NK, ЕК, RK, SKS), изготовленных типовым способом – путем дробления и отсева слитков абразивных материалов. Оценивался также коэффициент формы зерен, изготовленных по специальной технологии производства абразивов с заданной сферообразной формой, т.е. сферокорундов (ЭС).

Таблица 1

		Распределение зерен по форме					
Коэффициент формы		1,0 – 1,4	1,4 – 1,8	1,8 – 2,2	2,2 – 2,6	2,6 – 3,0	>3,0
Зернистость	Марка зерна*	Количество зерен в %					
		160	ЭС	100	–	–	–
125	ЭС	100	–	–	–	–	–
	93А	14	54	26	4	2	–
	13А	17	52	23	3	3	2
	NK	1	32	38	17	6	6
	SKS	5	17	27	26	9	16
100	ЕК	4	29	30	23	6	8
80	13А	14	49	31	5	1	–
	NK	0	25	31	25	7	12
	ЕК	1	30	37	22	7	3
	SKS	2	20	35	16	10	17
63	RK	8	62	16	6	4	4
	95А	8	22	22	14	18	16
40	13А	8	56	23	5	5	3
	92А	3	44	41	7	3	2
	NK	4	12	21	31	14	18
	ЕК	5	18	19	17	24	17
	SKS	3	17	25	25	17	13

\*Марки зерен: 13А, NK – нормальный электрокорунд; ЕК – белый электрокорунд; RK – хромистый электрокорунд; SKS – карбид кремния черный; ЭС – сферокорунд; 92А, 93А, 95А – хромитановые электрокорунды.

Весь диапазон значений коэффициентов формы от  $K_{\phi} = 1,0$  до  $K_{\phi} > 3,0$  разбит на шесть интервалов, в каждом из которых проставлено в процентах количество зерен данной формы по отношению ко всему числу обследованных зерен. Это позволяет получить подробное представление о распределении по форме зерен разных марок и зернистостей. Для обеспечения достоверности картины распределения по признаку формы выборка обследованных зерен каждой рассматриваемой марки и зернистости составляла не менее 100 штук.

Анализ данных табл.1 показывает, что:

- каждый абразив имеет свою конкретную картину распределения по форме, которая зависит от марки абразивного материала, особенностей технологии изготовления и зернистости абразивных частиц;
- в обобщенном виде все картины распределения по форме подобны кривым нормально распределения, со смещенными левой или правой ветвями (кроме сферокорунда);

- основная часть зерен укладывается в диапазон  $K_{\phi} = 1,4 - 2,2$ , меньшая часть зерен имеет изометрическую ( $K_{\phi} = 1,0 - 1,4$ ) или игольчато-пластинчатую форму ( $K_{\phi} > 2,6$ );
- марка абразива существенно влияет на характер распределения зерен по форме: зерна электрокорундов имеют преимущественно симметричные кривые распределения, а у зерен карбида кремния наблюдается сдвиг в область пластинчатых разновидностей с большими значениями коэффициентов формы;
- зерна более крупных зернистостей имеют, как правило, сдвиг в сторону изометрических разновидностей, а мелкие зернистости сдвигаются в сторону пластинчатых конфигураций (видимо, как осколки от крупных зерен).

Для изучения взаимосвязи геометрии режущей части зерен с их формой проведена серия экспериментов, где для одного и того же рассматриваемого зерна определенной марки зернистости сопоставлялись два параметра – коэффициент формы и усредненное значение переднего угла. Полученные результаты представлены в табл.2 в виде математических моделей, наиболее адекватно отражающих массив экспериментальных данных, состоящих из 100 отдельных значений для каждой марки и зернистости [1].

Таблица2

Взаимосвязь переднего угла и коэффициента формы  
шлифовальных зерен

Марка зерна и зернистость	Зависимость переднего угла от коэффициента формы
93A125	$\gamma=70,59-1,86 K_{\phi}$
NK125	$\gamma=80,01-4,38 K_{\phi}$
SKS125	$\gamma=76,05-4,18 K_{\phi}$
EK100	$\gamma=85,21-8,0K_{\phi}$
95A63	$\gamma=64,84-1,05 K_{\phi}$
RK63	$\gamma=69,30-0,68 K_{\phi}$

Данные табл.2 говорят о том, что во всех случаях с увеличением коэффициента формы зерен происходит уменьшение средней величины их переднего угла. Степень влияния формы зерен на их геометрию у разных абразивов выражена по-разному. Наиболее заметно эта взаимосвязь (среди рассматриваемых марок абразивов) наблюдается у белого электрокорунда, в меньшей степени она проявляется на примере зерен хромистого электрокорунда, что является следствием различия их физико-механических свойств и особенностей процесса изготовления.

#### Методика и результаты оценки работоспособности шлифовальных кругов с контролируемой формой зерен

Для оценки влияния формы зерен на эксплуатационные показатели шлифовальных кругов были изготовлены опытные партии кругов с характеристиками: ПП17х16х6 24A16C1K6, ПП40х8х6 24A16CM16K5, ПП80х17х20 24A16CM16K5. Отличием этих кругов от стандартных является то, что они изготавливались из зерен, предварительно отсортированных по признаку формы. Сортировка велась с помощью вибрационного сепаратора, который позволял разделить исходную массу абразива на ряд фракций, где зерна имели приблизительно одинаковую форму [6]. Из этих зерен в дальнейшем по типовой технологии изготавливались экспериментальные круги. Для обеспечения чистоты эксперимента на том же технологическом оборудовании и в тех же условиях изготавливались обычные шлифовальные круги из зерен с произвольной формой, по отношению к которым в дальнейшем велись сравнительные испытания.

Испытания проводились на подшипниковом заводе на операциях шлифования дорожек качения и посадочных отверстий колец подшипников 204,205 и 310. Режимы шлифования соответствовали типовым режимам обработки колец подшипников на названных операциях. В качестве металло-режущего оборудования использовались станки моделей: BDL50A, BDLZ80, SIW-4E. Результаты испытаний отражены в табл.3.

Таблица 3

Повышение эксплуатационных возможностей шлифовальных кругов  
на основе использования зерен, сортированных по форме

Характеристика шлифовального круга	Коэффициент формы исходных ( $K_{ф.исх.}$ ) и сортированных ( $K_{ф.}$ ) зерен	Операция шлифования	Используемый станок	Достижимый эффект
ПП17х16х6 24A16C1K6	$K_{ф.исх.}=2,47$ $K_{ф.}=1,78$	Внутреннее шлифование посадочного отверстия кольца подшипника 204	BDL50A	Повышение стойкости в 3,9 раза, снижение шероховатости в 1,5 раза, уменьшение некруглости в 1,3 раза
ПП40х8х6 24A16CM16K5	$K_{ф.исх.}=1,833$ $K_{ф.}=1,547$	Шлифование дорожек качения наружных колец подшипников 204 и 205	BDLZ80	Повышение стойкости в 1,5-2,7 раза, снижение шероховатости в 2,0-3,2 раза, снижение размерного износа в 2,0-3,0 раза
ПП80х17х20 24A16CM16K5	$K_{ф.исх.}=2,47$ $K_{ф.}=2,13$	Шлифование дорожки качения наружного кольца подшипника 310	SIW-4E	Повышение стойкости в 2,0 раза, снижение шероховатости в 1,3 раза, снижение волнистости в 2,3 раза

Согласно полученным результатам применение шлифовальных кругов с контролируемой формой зерен позволяет повысить стойкость этих инструментов в пределах 1,5–3,9 раза, снизить шероховатость обрабатываемых поверхностей в 1,2–3,2 раза, некруглость – в 1,3 раза, волнистость – в 2,3 раза, размер на износ – в 2,0-3,0 раза.

При шлифовании колец подшипников из-за термического влияния в зоне резания весьма опасными процессами могут явиться: разупрочнение обрабатываемой поверхности, возникновение вторичнозакаленного слоя и наличие прижогов. Косвенные исследования структуры по цветам побежалости показали, что при шлифовании инструментами с контролируемой формой зерен температура в зоне обработки находится в интервале 150 – 350°C. Прямые металлографические исследования в поверхностных слоях с помощью растрового электронного микроскопа не выявили изменений в микроструктуре и в распределении химических элементов. Структура шлифованных поверхностей колец состоит из мартенсита и вторичных карбидов, без наличия микротрещин. На поверхности обнаружен светлый слой, который представляет собой зону холоднодеформированного наклепанного металла. На потребительских свойствах колец этот эффект оказывает положительное влияние [7].

#### Выводы

В данной работе показана целесообразность использования зерен с контролируемой и упорядоченной формой для изготовления шлифовальных кругов, применяемых на чистовых операциях. Эффект здесь достигается при уменьшении коэффициента формы, т.е. при переходе к зернам с изометрической формой. Но для других инструментов и схем шлифования (например, шлифовальных шкур и лент) может более рациональным применение зерен с большими значениями коэффициентов формы (игольчатыми и пластинчатыми), ориентированными определенным образом на рабочей поверхности этих инструментов. Поэтому, следует дифференцированно подходить к выбору формы зерен для конкретного инструмента и условия его эксплуатации. Причем, наряду с сортировкой исходной массой абразива на ряд фракций с одинаковой формой зерен, можно реализовать также путь изготовления зерен с заданной формой (наподобие технологии изготовления сферо-и формокорундов).

Таким образом, упорядочивая форму зерен шлифовальных инструментов и дифференцированно походя к выбору той или иной формы зерен, можно значительно повысить их эксплуатационные возможности и, как следствие, повысить работоспособность инструментов в целом.

Литература.

1. Коротков, А. Н. Эксплуатационные свойства абразивных материалов: монография. – Красноярск: Изд-во Краснояр. ун-та, 1992. – 122 с.
2. Коротков, А. Н. Повышение эксплуатационных возможностей шлифовальных инструментов: монография / ГУ КузГТУ. – Кемерово, 2005. – 232 с.
3. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2006613051. Форма шлифовальных зерен в объеме / Коротков В.А., Рылов Г.М. – №2006612327; заявл. 4.07.06; опубл. 1.09.06.
4. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2003611938. Определение геометрических характеристик шлифовальных зерен / Коротков А.Н., Захаров Д.С. – №2003611454; заявл. 2.07.03; опубл. 22.08.03.
5. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2006610153. Форма шлифовальных зерен / Коротков А.Н., Рылов Г.М. – №2005612738; заявл. 25.10.05; опубл. 10.01.06.
6. Пат.224885136303 РФ, МПК<sup>7</sup>. В07В1/40, 13/007/08. Вибрационный сепаратор / Коротков А.Н., Дубов Г.М., Баштанов В.Г. – №2003129945; заявл. 08.10.03; опубл. 27.03.05; Бюл. №9.
7. Коротков А.Н. Состояние поверхностного слоя колец подшипников после шлифования кругами с контролируемой формой зерен / Коротков А.Н., Короткова Л.П., Прокаев Н.В., Шамаков Е.С. // Обработка металлов. – 2010. – №4. – С.32-34.
8. Archipov P.V., Yanyushkin A.S., Lobanov D.V., Petrushin S.I. The effect of diamond tool performance capability on the quality of processed surface // Applied Mechanics and Materials Vol.379 (.2013) pp . 144 – 130.

#### ЛАЗЕРНО-МИКРОПЛАЗМЕННОЕ РЕАКТИВНОЕ ПОРОШКОВОЕ НАПЫЛЕНИЕ ТИТАНОВЫХ ПОКРЫТИЙ С НИТРИДНЫМИ ФАЗАМИ

*Е.К. Кузьмич-Янчук, инж., Ю.С. Борисов, д.т.н., А.В. Бернацкий, инж.*

*Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины*

*Украина, 03680, Киев-150, ГСП, ул. К. Малевича, 11, тел. +380-44-205-25-60*

*E-mail: i.kuzmych@gmail.com*

#### Введение

Одной из актуальных задач современной инженерии поверхности является повышение износостойкости и коррозионной стойкости конструктивных элементов из титана и титановых сплавов, которые благодаря ряду уникальных характеристик находят все более широкое применение в таких отраслях, как авиакосмическая промышленность, химическое машиностроение, медицина и многих других. Перспективным направлением повышения как трибологических характеристик, так и коррозионной стойкости в агрессивных средах таких материалов является формирование на их поверхности слоев из нитрида титана. Нитрид титана характеризуется высокой твердостью (до 20000 МПа), износостойкостью, химической стойкостью и высокими огнеупорными свойствами [1], что позволяет значительно расширить сферу применения и срок службы изделий из рассматриваемых материалов.

В настоящее время TiN покрытия в основном получают методами физического осаждения в паровой фазе (PVD) и химического осаждения в паровой фазе (CVD) [2, 3]. Однако данные процессы характеризуются низкой продуктивностью, что, как правило, ограничивает толщину получаемых слоев из нитрида титана (до 10 мкм). В то же время, в работах [4, 5] показано, что износостойкость и коррозионная стойкость покрытий из нитрида титана зависит от их толщины, при этом покрытия толщиной менее 12 мкм не могут противостоять осмотическому давлению коррозионных сред.

Для решения поставленных задач некоторые исследователи [6 - 11] предлагают использовать методы реактивного плазменного напыления (РПН) покрытий. Суть этих методов заключается в формировании твердых износостойких фаз непосредственно в процессе напыления благодаря протеканию плазмохимических реакций между напыляемым материалом и газообразным прекурсором. При этом использование РПН позволяет наносить толстые (до 2-3 мм) покрытия с высокой скоростью (до 200 мкм/мин).