

8. Порай-Кошиц М.А.. Основы структурного анализа химических соединений. – М.: Высш. шк., 1982. – 151 с.
9. Глазов В. М., Вигдорович В. Н. Микротвердость металлов и полупроводников. – М.: Metallurgiya, 1969. – 248 с.
10. The effect of thermal shocks on the stress in a sapphire wafer / T. Vodenitcharova, L. C. Zhang, I. Zarudi et al. // IEEE Transactions on semiconductor manufacturing. – 2006. – 19, N 4. – P. 449–454.

Поступила 06.06.09

УДК 621.891

**М. Н. Сафонова<sup>1</sup>, Е. Ю. Шиц<sup>3</sup>**, кандидаты технических наук,  
**А. С. Сыромятникова<sup>2</sup>**, канд. физ.-мат. наук

<sup>1</sup>Якутский государственный университет им. М. К. Амосова, Россия

<sup>2</sup>Институт проблем нефти и газа СО РАН, г. Якутск

<sup>3</sup>Институт физико-технических проблем Севера СО РАН, г. Якутск

### **ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ АБРАЗИВНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПУТЕМ РАЗРАБОТКИ МЕТОДА РАСЧЕТА КОЛИЧЕСТВА АКТИВНЫХ КОМПОНЕНТОВ**

*A calculation-experimental methods for evaluation of active abrasive grain number with statistically uniform distribution in composition material was developed. The method was used to study the change of active grains concentration of natural and synthetical diamond grinding powders with various dispersions in PTFE-based composite under friction and wear.*

В настоящее время разработка качественного отечественного алмазного инструмента является актуальной проблемой материаловедения и машиностроения в связи с повышением спроса на качественный и дешевый инструмент активно развивающихся потребителей – отраслей строительства, разработки недр и переработки природного сырья. Теоретические и экспериментальные исследования эксплуатационных свойств алмазного инструмента – неотъемлемая составляющая проектирования инструмента. Также актуальны исследования и контроль структуры рабочей поверхности абразивных композиционных материалов путем разработки универсальных методов прогнозирования свойств и ресурса абразивных инструментов. Производительность шлифования и качество обработки существенно зависят от стабильности режущих свойств инструмента, в частности от изменения количества активных абразивных зерен (АЗ) в процессе эксплуатации инструмента. В этой связи при разработке композиционных материалов абразивного назначения особенно важно определять изменения количества активных АЗ при трении и изнашивании.

Разработанные ранее методы расчета позволяют рассчитывать исходную объемную концентрацию АЗ в связке, однако при этом невозможно определить изменение концентрации в процессе работы инструмента [1–3].

В работе будем использовать разработанный ранее метод расчета количества активных компонентов со статистически равномерным распределением их в объеме композиционного материала при установленных закономерностях изменения активности абразивных зерен в процессе изнашивания инструмента [4].

При разработке метода исходили из предположения, что абразивные зерна представляют собой совокупность частиц произвольной формы и различной дисперсности, распреде-

ленных в объеме материала статистически равномерно со случайной пространственной ориентацией.

При таком предположении необходимы следующие этапы реализации метода:

1. Выбор геометрической модели АЗ.
2. Расчет количества активных АЗ в композиционном материале.
3. Проверка достоверности результатов.

Подробное описание реализации этапов разработки метода определения содержания дисперсных наполнителей приведено в [4].

В качестве абразивного материала использовали шлифпорошки из технических синтетических и природных алмазов (по три разновидности) различной зернистости. Изначально шлифпорошки считали «безымянными» (марка, зернистость, нормативная документация для классификации считались неизвестными) и присваивали им буквенно-цифровые обозначения – С или П (шлифпорошки из синтетических/природных алмазов); цифры I, II, III – номера в порядке возрастания зернистости.

Зернистость и зерновой состав шлифпорошков определяли с помощью так называемого компьютерного диагностического сита (КДС) – косвенной диагностики шлифпорошков на основе данных микроскопического анализа [5]. Результаты идентификации зернистостей и зерновых составов исследованных методом КДС шлифпорошков приведены в табл. 1.

Основой композиционного материала взяли ПТФЭ – полимер, соответствующий требованиям, предъявляемым к связке алмазно-абразивного инструмента [6]. Образцы для испытаний изготавливали из композиций с содержанием алмазного порошка 40 мас.% по технологии холодного прессования при давлении 50 МПа с последующим свободным спеканием при температуре  $375 \pm 5$  °С. Трение и изнашивание осуществляли в течение 300 с на машине трения СМЦ-2 по схеме «диск по диску» при нагрузке 50 Н и относительной скорости скольжения 1–3 м/с.

Таблица 1. Зернистости и зерновые составы шлифпорошков

Шлиф-порошок	Зернистость, мкм, при		Зерновой состав, %			
	ситовой классификации	идентификации методом КДС	П <sub>ф</sub> , (<0,01%)	К <sub>ф</sub> , (<15%)	О <sub>ф</sub> (>75%)	М <sub>ф</sub> (<2%)
С I	50/40	50/40	0	93,7	6,13	0
		63/50	0	0,3	98,6	1
П I	50/40	50/40	13,28	77,8	8,86	0
		63/50	0	13,28	84,8	1,91
С II	80/63	80/63	0	16,5	83,5	0
		100/63	0	0	100	0
П II	80/63	80/63	0	7,62	92	0
		100/63	0	0	99,62	0
С III	125/100	125/100	0	0	2,65	96,3
		100/80	0	2,65	96,3	1,032
П III	125/100	125/100	0	51,7	84,6	3,6
		100/80	11,7	83,2	3,6	0

Примечание. П<sub>ф</sub>, К<sub>ф</sub>, О<sub>ф</sub>, М<sub>ф</sub> – массовая доля фракций соответственно предельной, крупной, основной и мелкой. Выделены показатели, соответствующие требованиям ГОСТ 9206–80 к зерновому составу шлифпорошка конкретной зернистости.

Концентрации АЗ в материале в исходном состоянии  $n_0$  и после испытания на трение и изнашивание  $n_3$  приведены в табл. 2. Относительное изменение количества АЗ в связке при трении и изнашивании  $C = (n_0 - n_3 / n_0) \cdot 100$  % характеризует стабильность количества АЗ в связке.

Достоверность результатов проверяли сравнением концентрации  $n_0$  с концентрацией АЗ в исходном состоянии  $n_{исх}$ , определенной в соответствии с зерновым составом шлифпорошка.

Таблица 2. Концентрации активных зерен шлифпорошков

Концентрация активных зерен ( $\text{мм}^{-3}$ )	Шлифпорошки					
	П	С	ПП	СП	ППП	СПП
$n_0$	2400±240	3200±320	700±70	870±87	115±12	130±13
$n_3$	1800±180	2400±240	700±70	950±100	60±6	115±12
$n_{исх}$	2700±270	3200±320	670±67	900±90	120±12	140±14
C, %	25±2.5	30±3	0	0	50±5	10±1

Результаты исследований показали, что при испытаниях образцов на трение концентрация активных зерен шлифпорошков из синтетических и природных алмазов средней зернистости (80/63) не изменяется, мелкой и крупной зернистости менее стабильны по количеству активных зерен в полимерной матрице (см. табл. 2).

Так как ПТФЭ – полимер с низкой адгезионной активностью относительно алмаза связь между ним и алмазными зёрнами в КАМ осуществляется в основном за счет сил физико-механического характера. В этой связи при разработке КАМ на основе ПТФЭ исследовали прежде всего влияние зернистости шлифпорошков на плотность и твердость получаемых композиций. Значения физико-механических характеристик приведены в табл. 3.

Наибольшие плотность и твердость в исследуемом диапазоне зернистостей были достигнуты при использовании шлифпорошка зернистостью 80/63 мкм.

Таблица 3. Значения физико-механических характеристик алмазосодержащих композиций на основе ПТФЭ

Материал	Твёрдость, HRB	Плотность, $\text{г/см}^3$
ПТФЭ	3,0–4,0	2,16
ПТФЭ–П	4,0–5,0	2,26
ПТФЭ–ПП	7,0–8,0	2,42
ПТФЭ–ППП	6,0–7,0	2,31

Эксплуатационные параметры изготовленных из данных КАМ абразивных инструментов приведены в таблице 4 [6].

Таблица 4. Влияние дисперсности ППА на параметры работоспособности алмазного инструмента на основе КАМ состава ПТФЭ–ППА при обработке минерала нефрит [6].

Зернистость ППА, мкм	Удельный расход алмазов		Шероховатость обработанной поверхности $R_a$ , мкм		Производительность, $\text{см}^3/\text{мин}$
	$q_v$ , $\text{мг/см}^3$	$q_p$ , $\text{мг/г}$	начальная	конечная	
–40	78	26	1,31	0,50–0,55	0,003
80/63	24,9	8,3	1,31	0,45–0,50	0,01
125/100	32,4	10,8	1,31	0,60–0,72	0,015

Инструменты из КАМ с содержанием шлифпорошка зернистостью 80/63 также более износостойкие (низкий удельный расход алмаза), эффективные и стабильные (высокие производительность и качество обработанной поверхности) по сравнению с инструментами из КАМ, содержащими шлифпорошки мелкой и крупной зернистости.

РЭМ-фотографии поверхностей трения исследованных композиционных материалов показаны на рис. 1.

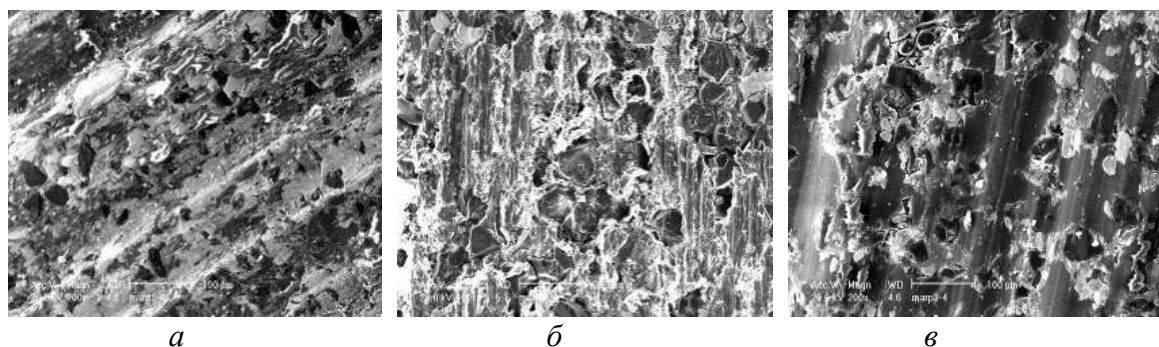


Рис. 1. РЭМ-фотографии поверхности трения композиционных материалов ПТФЭ - шлифпорошки из природных алмазов: а) ПИ; б) ПИИ; в) ПИИИ

При трении зерна мелкодисперсных шлифпорошков чаще всего погружаются в материал связующего (рис.1, а), в результате чего происходит процесс зашлифовки алмазных зерен, наиболее выраженный для зерен синтетических алмазов вследствие гладкой поверхности их граней, что объясняет наблюдаемое снижение их концентрации на поверхности инструмента.

Снижение концентрации АЗ крупнодисперсных шлифпорошков из природных алмазов объясняется их выкрашиванием при трении (рис.1, в), в том числе в результате хрупкого скалывания. С увеличением размера зерен этот процесс становится более выраженным: усилия, приходящиеся на каждое зерно, возрастают, а отношение площади поверхности зерна к его объему, определяющее удельные физико-механические силы, которые обеспечивают прочность удержания частиц в связке, уменьшается.

Поверхность трения композиционных материалов, содержащих шлифпорошки зернистостью 80/63, характеризуется насыщенностью АЗ с равномерным распределением целых и сколотых зерен (рис.1, б).

Влияние введения наполнителей в виде алмазных шлифпорошков на надмолекулярную структуру ПТФЭ исследовали с помощью растрового электронного микроскопа. Исследуемые поверхности представляли собой изломы ПТФЭ, полученные методом холодного скола (разрушением материала при температуре 196 °С). В результате было установлено, что введением в ПТФЭ алмазных шлифпорошков существенно надмолекулярная структура полимера не изменяется (рис. 2).

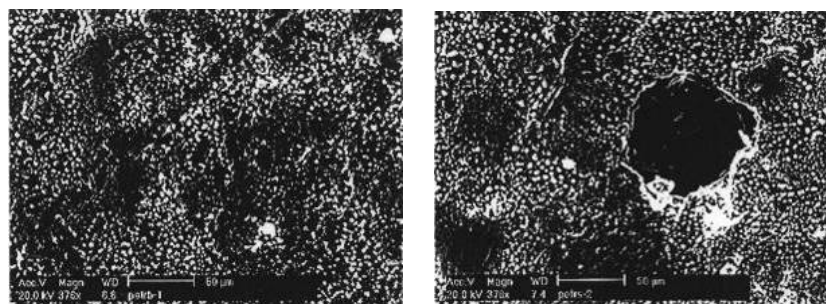


Рис. 2. Электронные микрофотографии: а – ПТФЭ; б – ПТФЭ–ПИИ

Следовательно, прочность удержания алмазных зерен в полимерной связке определяется в основном степенью уплотнения композиционного материала и отношением площади

поверхности зерна к его объему, которое зависит от размеров, формы и шероховатости поверхности АЗ. Более высокая прочность удержания алмазных зерен шлифпорошков зернистостью 80/63 объясняется однородностью структуры композиционного материала, достигаемой в процессе его изготовления: размеры частиц порошка ПТФЭ и алмазных зерен близки по размерам (около 80 мкм). Из исследованных материалов эти композиции имеют наибольшую плотность, твердость и износостойкость (низкий удельный расход алмаза), а стабильность концентрации в них АЗ обеспечивает эффективность и стабильность (высокую производительность и качество обработанной поверхности) работы опытных инструментов, изготовленных из этих композиционных материалов.

### **Выводы**

На основании изучения стабильности режущих свойств алмазно-абразивных инструментов методом определения количества активных компонентов можно существенно повысить производительность и ресурс, изготовленных спеканием алмазных абразивных инструментов.

### **Литература**

1. Верещагин В.А., Журавлев В.В. Определение количества зерен, приходящихся на единицу поверхности // Композиционные алмазосодержащие материалы и покрытия. – Минск: Наука и Техника, 1991. – 208 с.
2. Щиголев А. Г., Полупан Б. И., Коломиец В. В. Определение количества зерен по глубине рабочего поверхностного слоя алмазного инструмента // Синтет. алмазы. – 1979. – № 3. – С. 19–25.
3. Бакуль В.Н. Определение числа частиц в одном карате алмазного порошка. – К.: ИСМ АН УССР, 1966.
4. Сафонова М. Н., Сыромятникова А. С., Шиц Е. Ю. Расчетно-экспериментальный метод определения количества активных зерен а абразивном композиционном материале // Трение и износ. – 2007. – № 5. – С. 471– 476.
5. Новиков Н. В., Никитин Ю. И., Петасюк Г. А. Компьютерное диагностическое сито для идентификации зернистости и зернового состава микроскопических проб алмазных шлифпорошков // Сверхтвердые матер. – 2003. – № 3. – С. 71– 83.
6. Шиц Е. Ю. Исследование и разработка полимерных композиционных материалов с использованием природных алмазных порошков. – Дис. ...канд. техн. наук. – Якутск, 2000.

*Поступила 09.06.09*

УДК 621.921

**Я .О. Подоба**

*Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев*

### **ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ИНТЕНСИВНОГО ЭЛЕКТРОСПЕКАНИЯ С ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

*The theoretical, GTN-type potential based model has been suggested of metal powder densification in a closed die at elevated teperature. The obtained analytical, closed form solution of the model problem shows satisfactory correlation with experimental data for the cobalt powder com-*