

УДК 621.922.02

Т.М. Дуда, канд. техн. наук

*Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев***СВОЙСТВА И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫХ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ АЛМАЗНЫХ И КУБОНИТОВЫХ ПОРОШКОВ**

The effect of the metallization of finely dispersed synthetic diamond and cBN powders with nickel on their physical and operation properties and grain composition has been studied. It has been shown that finely dispersed metallized powders of superhard materials can be successfully used in production of tools for machining natural diamonds, hard alloys, and stones.

Инструменты из металлизированных алмазов и кубического нитрида бора (КНБ) применяются для обработки широкого класса материалов практически во всех областях промышленного производства. Однако основную долю промышленного производства составляют инструменты из шлифпорошков, металлизированных никелем, медью, титаном и сплавами на их основе [1–3].

Объемы производства инструментов из металлизированных тонкодисперсных порошков алмаза и КНБ зернистостью от 40–100 нм до 3–10 мкм значительно меньше объемов производства инструментов из шлифпорошков. Это объясняется сложностью получения тонкодисперсных порошков с покрытиями, зерновой состав которых несущественно отличался бы от исходного, или, строго говоря, степень закругления металлизированных зерен должна быть минимальной, так как инструмент с использованием таких зерен должен качественно работать на операциях окончательной обработки: шлифовании и полировании.

Цель настоящей работы состояла в определении различных свойств (зернового состава, физических свойств, абразивной способности) тонкодисперсных порошков алмаза и КНБ, металлизированных никелем, а также изучении их применения в инструментах, предназначенных для окончательной обработки природного алмаза, твердого сплава и камня.

Металлизацию никелем осуществляли методом химического восстановления из гипофосфитных термодинамически устойчивых растворов в присутствии ПАВ [4].

Зернистость и фракционный состав рассеянных порошков определяли методом ретроэлектронной микроскопии и рентгеноспектральным микроанализом с программно-цифровой обработкой изображения на современном микроскопе ZEISS ULTRA-SS (разрешение – 1 нм) модернизированного аналогового микроскопа BS-390 [5].

В результате изучения зернового состава металлизированных никелем ультрадисперсных алмазов (УДА) выявили, что порошки представляют собой капсулы, которые согласно квалификации синтетических алмазов относятся к смеси субмикро- и микропорошков низкой зернистости (рис. 1 и 2).

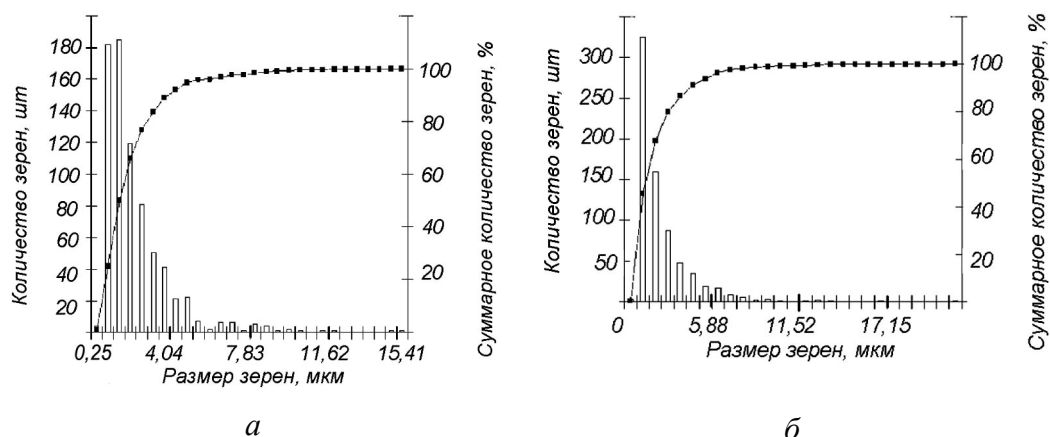


Рис. 1. Распределение частиц УДА по зерновому составу со степенью металлизации никелем: а – 5 %; б – 10 % (по массе)

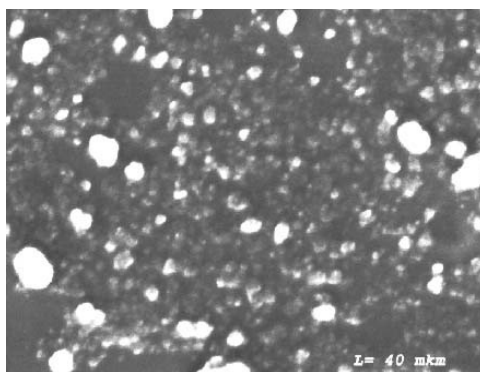


Рис. 2. Общий вид УДА, капсулированных никелем (5 % по массе)

Основная фракция для степени металлизации 5 и 10 мас. % составляет 66–68 % с размером капсул соответственно 0,79–1,87 и 1,05–1,86 мкм. С увеличением степени металлизации пропорционально увеличивается толщина покрытия капсул: 5 мас. % – 137–165 Å; 10 мас. % – 215–248 Å. С повышением скорости восстановления металла размеры капсул увеличиваются не только за счет увеличения толщины покрытия, но и за счет резкого возрастания захвата количества частиц (агрегатов) УДА в единичные капсулы.

Разработанный в ИСМ НАН Украины технологический процесс химической металлизации тонкодисперсных порошков, предусматривает регулирование скорости восстановления металла, обеспечивая тем самым возможное минимальное агрегирование (сращивание) отдельных зерен, а последующий их рассев обеспечивает в большинстве случаев получение единичных зерен с равномерной по толщине и поверхности металлической оболочкой (рис. 3).

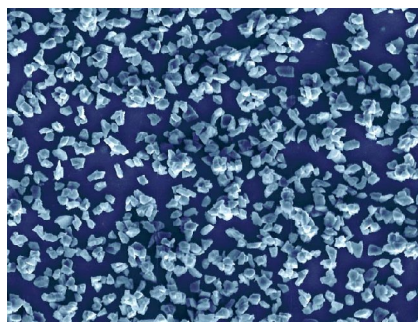


Рис. 3. Общий вид алмазных микропорошков с никелевым покрытием

С увеличением массы и соответственно толщины никелевого покрытия повышается вероятность изменения геометрических параметров зерен [6]. Как показали результаты измерений металлизация алмазных микропорошков зернистостью 3/2 – 10/5 практически не изменяет коэффициентов формы и изометричности зерен. Для этих порошков без покрытия указанные коэффициенты составляют соответственно 1,31–1,33 и 0,752–0,763, а для металлизированных (10–100 мас. %) – соответственно 1,28–1,39 и 0,719–0,781, что подтверждает равномерность формирования покрытия.

Металлизированные алмазные микропорошки приобретают ряд полезных свойств (табл. 1): снижается удельное электросопротивление, увеличиваются магнитные свойства зерен.

Таблица 1. Физические и эксплуатационные свойства алмазных микропорошков с покрытиями

Зернистость микропорошков	Степень металлизации, %	Свойства металлизированных никелем алмазных микропорошков				
		Толщина, мкм	Удельное электросопротивление, Ом·м	Удельная магнитная восприимчивость, м ³ ·кг, x10 ⁻⁵	Абразивная способность согласно ГОСТ 9206–80	Шероховатость обработанной поверхности R _a , мкм
3/2	*	–	6,4·10 ¹²	–	–	–
	10	0,011	1,64·10 ⁶	–	–	–
	20	0,023	2,4·10 ⁵	–	–	–
	50	0,047	3,6·10 ⁴	–	–	–
5/3	–	–	7·10 ¹²	–	2,6	0,050
	10	0,026	1,3·10 ⁸	–	2,9	0,063
	20	0,054	1,1·10 ⁷	–	2,8	0,060
	50	0,106	1,46·10 ⁶	–	2,6	0,058
7/5	–	–	0,8·10 ¹²	0,005	2,7	0,063
	12	0,05	1,6·10 ⁹	0,689	3,5	0,075
	25	0,10	3,3·10 ⁹	2,755	3,0	0,070
	50	0,20	–	3,294	2,6	0,065
10/5	–	–	–	–	4,2	–
	12	0,07	5·10 ¹¹	–	4,6	0,080
	25	0,14	5,3·10 ¹⁰	–	4,6	0,093
	50	0,28	4,6·10 ⁹	–	4,0	–

* без покрытия

Тенденция увеличения абразивной способности наблюдается только при малых степенях металлизации (10–12 мас. %). Увеличение удельной нагрузки на испытываемые порошки при доводке поверхности, как правило, способствует увеличению съема материала [6].

Качественные наблюдения при определении абразивной способности микропорошков за поверхностью испытуемых образцов показали, что в случае применения металлизированных алмазов поверхность образцов обладает повышенным блеском. При определении согласно ГОСТ 9206-80 чистоты поверхности установили, что металлизация не только придает блеск обработанной поверхности, но и способствует повышению ее чистоты на один-два класса.

На основании полученных данных разработаны пасты на водорастворимой основе для окончательной обработки изделий из твердого сплава и камня (гранита, мрамора), которые обладают высокими абразивными свойствами, полировальным и блескообразующим эффектами.

Практически во всех технологических операциях превращения кристалла природного алмаза в сверкающий бриллиант используются различные алмазные инструменты. Две первые – распиливание и обточка – являются подготовительными операциями цикла изготовления бриллиантов. Завершающей операцией превращения алмаза в бриллиант является шлифование, включающее огранку и полирование [7]. В результате драгоценный камень приобретает эстетическую форму, высокий световой эффект и блеск.

В дальнейшем исследовали влияние металлизации никелем алмазных микро- и ультрадисперсных порошков на показатели процессов изготовления шлифовальных дисков, огранки и полирования ими вставок из ювелирных алмазов и, следовательно, на эффективность производства бриллиантов.

Сравнительные испытания шлифовальных дисков с металлизированными алмазами и без покрытия проводили на Киевском государственном предприятии «Изумруд» при обработке полуфабрикатов природного алмазного сырья размером 1,7 – 3 мм.

Для огранки и полирования вставок использовали чугунные диски, шаржированные алмазами, и алмазно-гальванические диски, рабочая поверхность которых донапылялась алмазными порошками.

Для шаржирования чугунных дисков применяли алмазные микропорошки марок АСМ и АСН зернистостью 10/7 и 7/5 без металлизации и металлизированные никелем, а также комбинацию металлизированных микропорошков и УДА.

Шаржирование (укатку) алмазами чугунных дисков выполняли механическим способом. Массу, состоящую из алмазов и клеевой основы, равномерным слоем распределяли на рабочей поверхности диска, втирая ее круговыми движениями пластинкой из твердого сплава или специальной пластинкой из композиционного шлифматериала.

Донапыление алмазно-гальванических дисков алмазами осуществляли на клеевой основе по принятой на предприятии технологии.

При проведении производственных сравнительных испытаний серийных и двух видов опытных партий дисков шлифование павильонов («низов») вставок выполняли на шаржированных алмазами чугунных дисках, шлифование коронок («верхов») вставок – преимущественно на алмазно-гальванических дисках, донапыленных алмазами.

Результаты нескольких этапов проведенных на предприятии «Изумруд» опытно-промышленных испытаний приведены в табл. 2.

В результате испытаний, наблюдений технологов и рабочих-огранщиков, установлено, что укатываемость порошков и эластичность готовых к работе дисков при использовании металлизированных порошков значительно выше, чем у серийных дисков. Благодаря высокому алмазоудержанию повысилась изностостойкость инструмента, что позволило обработать на опытных дисках существенно большее количество сырья. В 1,5–1,8 раза повысилась режущая способность инструмента. При этом следует отметить, что максимальное повышение режущей способности дисков и эффективности обработки полуфабрикатов природного алмаза достигнуты при применении комбинации из металлизированных алмазных микро- и ультрадисперсных порошков.

Таблица 2. Сравнительные показатели работоспособности ограночных дисков

Тип шлифовально-го диска диаметром 300 мм	Характеристика алмазного порошка в диске	Количество напыленного на диск порошка		Размер обрабатываемого алмаза, мм	Количество изделий, обрабатываемых одним диском	Примечание
		%	карат			
Шаржированные чугунные диски	АСН 10/7	50	2,5	1,9–2,6	90 «низов»	Режущие и полирующие свойства хорошие
	АСН 7/5				30 «верхов»	
	АСН 10/7–Н1D11%			1,9–2,6	150 «низов»	
	АСН 7/5–Н1D11%					
	АСН 10/7	50	2,5	До 2	80 «низов»	Режущие и полирующие свойства хорошие
	АСН 7/5				110 «низов»	
	АСН 10/7–Н1D12%			2,0–2,4	120 «низов»	
	АСН 7/5–Н1D12%					
	АСН 10/7	50	2,5	2,0–2,4	150 «низов»	Режущие и полирующие свойства хорошие
	АСН 7/5					
	АСН 10/7–Н1D11,5%			150 «низов»		
	АСН 7/5–Н1D11,5%					
Алмазно-гальванические диски	АСН 10/7	1,5	1,5	1,7–3,0	190 «верхов»	Рабочее полотно эластичное, плотное, с хорошей укачиваемостью, зерно не выкрашивается
	АСН 10/7–Н1D12% (донапыление)			1,7–3,0	410 «верхов»	
				1,7–3,0	305 «верхов»	
				2,7–3,0 (крупное)	150 «верхов»	
				Кристаллы с сучками и сколами	20 «верхов»	Режущие свойства стабильные и хорошие
				2,7–3,0	25 «верхов»	
				2,2–2,7	30 «верхов»	
Шаржированные чугунные диски (4 шт.)	АСМ 10/7	50	2,5	Сырье различных весовых групп	100 «низов»	Наиболее высокая ре-
	АСМ 7/5					
	АСМ 10/7–Н1D12%+У		1,5		160 «низов»	

	ДА АСМ 7/5– Н1D12%+У ДА					жущая спо- собность
Алмазно- гальваниче- ские диски (7 шт.)	АСМ 10/7				160 «вер- хов»	
	АСМ 10/7– Н1D12%+У ДА (донапыле- ние)	1,5	2,0–2,7		250 «вер- хов»	Режущие и поли-рующие свойства зна- чительно выше, чем у серийных дисков

Полирующие свойства опытных дисков соответствовали стандартам и уровню серийных дисков.

Тонкодисперсные порошки КНБ (КМ) металлизировали химическим никелем по той же технологии, что и алмазы из электролитов средней концентрации по основной соли в присутствии специального ПАВ. Металлизировали КМ зернистостью 0,5/0; 1/0; 2/1; 3/1 и 3/2.

Снимки КМ, металлизированных никелем показаны на рис. 4.

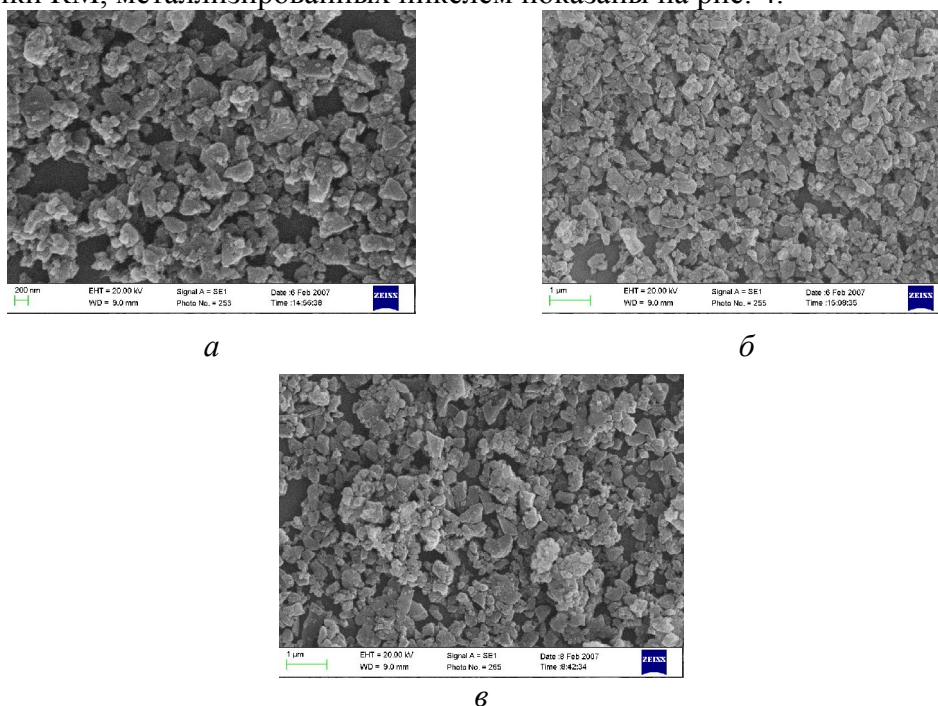


Рис. 4. Общий вид металлизированных КМ зернистостью 0,5/0 со степенью металлизации никелем: а – 5 %; б – 10 %; в – 15 % (по массе)

В основном наблюдаются единичные металлизированные зерна.

С повышением степени металлизации незначительно увеличивается количество капсулированных более мелких зерен, что наглядно прослеживается на кривых распределения (рис. 5). Для КМ зернистостью 0,5/0 увеличение массы покрытия приводит к незначительному увеличению размера зерен: 5 % никеля – основная фракция с размером зерен 0,23–0,40 (0,45) мкм; 10 % никеля – 0,24–0,44 мкм; 15 % никеля – 0,23–0,42 мкм.

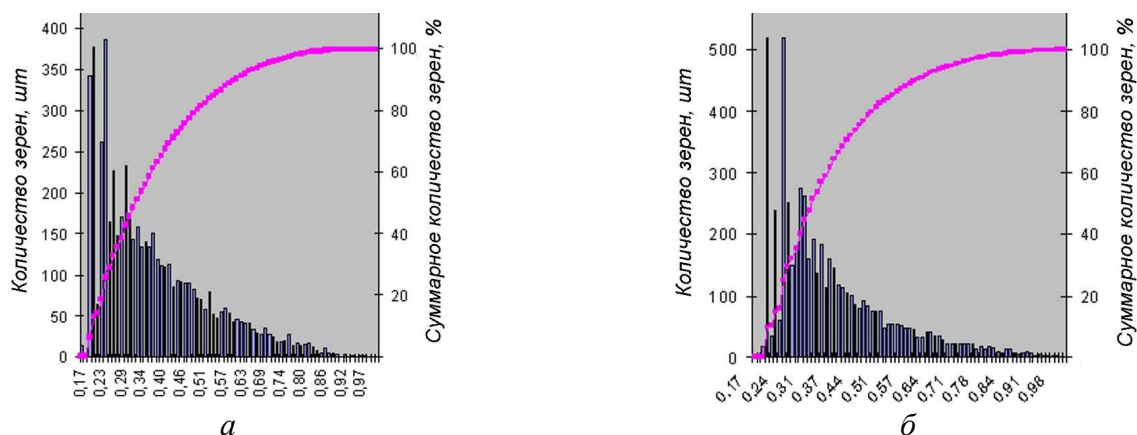
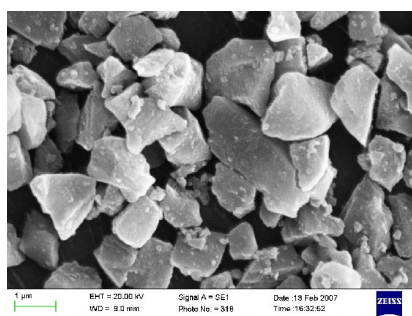
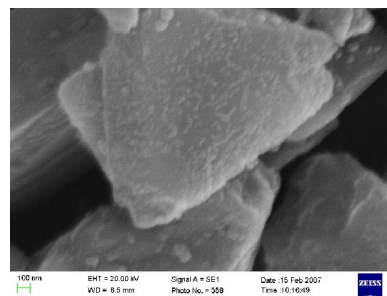
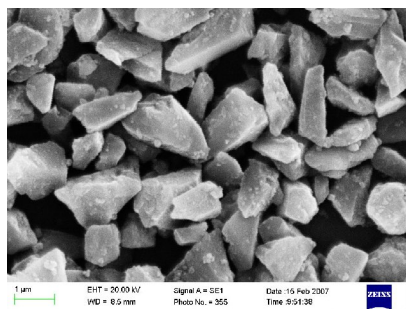


Рис. 5. Распределение металлизированных КМ 0,5/0 по зерновому составу со степенью металлизации никелем: а – 5 %; б – 10 % (по массе)

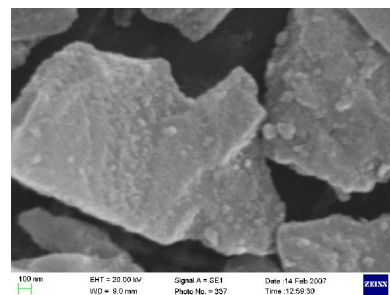
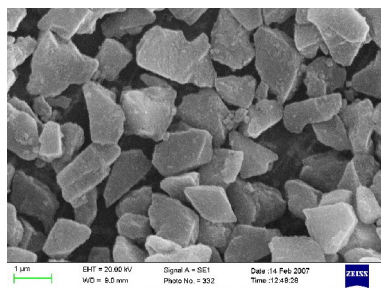
Для КМ зернистостью 2/1 (рис. 6) зерновой состав основной фракции при разных степенях металлизации никелем изменяется от 1,1 до 1,76 (1,94) мкм (рис. 7). Таким образом, разработанная технология позволяет получать однородные по фракционному составу с незначительной степенью капсулирования металлизированные порошки тонкодисперсных СТМ.



а



б



в

Рис. 6. Общий вид металлизированных КМ зернистостью 2/1 со степенью металлизации никелем: а – 5 %; б – 10 %; в – 15 % (по массе)

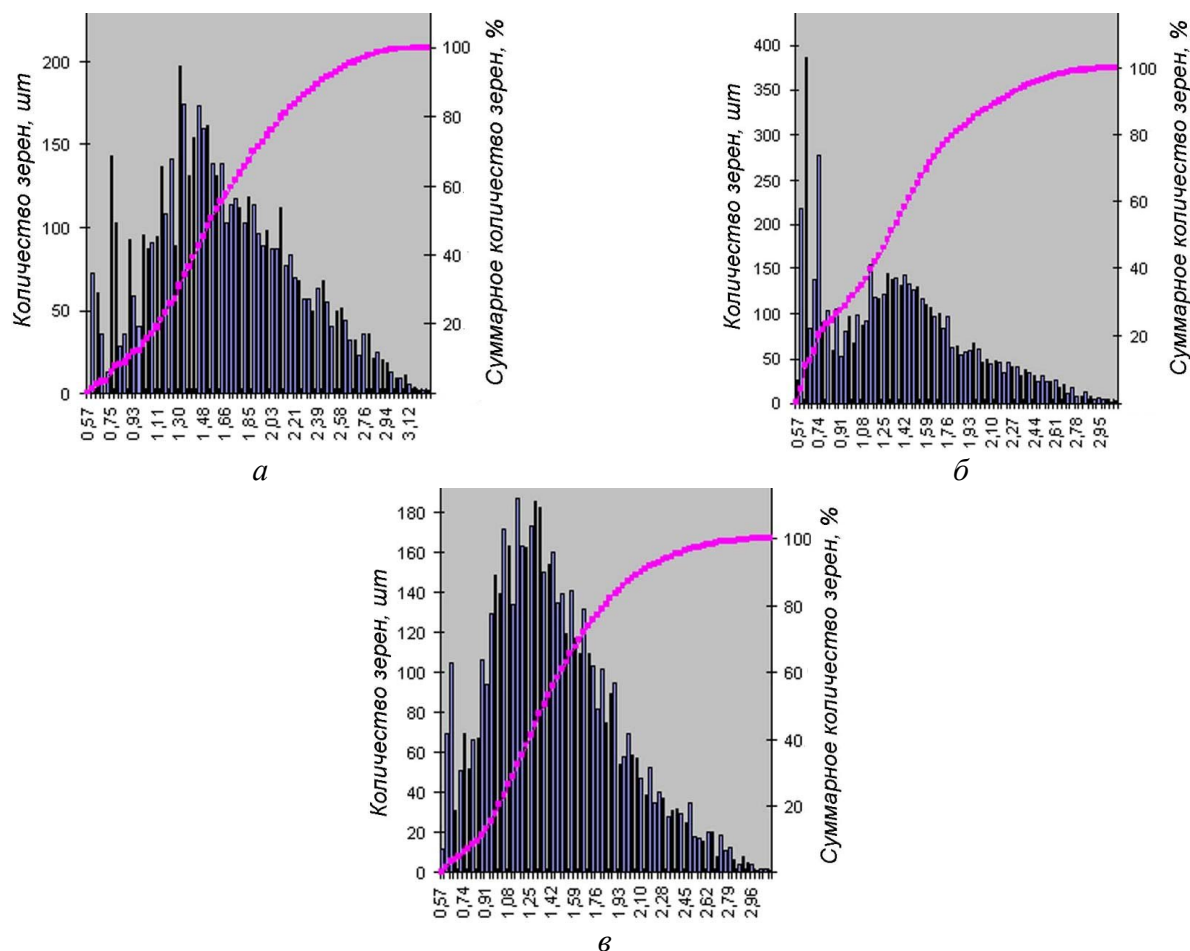


Рис. 7. Распределение металлизированных КМ 2/1 по зерновому составу со степенью металлизации никелем: а – 5 %; б – 10, в – 15 % (по массе)

Расчетные значения толщины никелевого покрытия на зернах КМ разной зернистости приведены в табл. 3.

Таблица 3. Соотношение степени металлизации (масс. %) и толщины никелевого покрытия для порошков КМ

Зернистость КМ	Толщина никелевого покрытия, нм, при степени металлизации, %								
	2,73	4,12	10,65	4,59	6,71	8,23	1,38	3,5	4,71
0,5/0	21	31	74	–	–	–	–	–	–
1/0	–	–	–	34	49	59	–	–	–
2/1	–	–	–	–	–	–	11	27	35

С целью изыскания областей практического использования тонкодисперсных порошков КМ, металлизированных никелем, в инструментальном производстве было изготовлено и испытано несколько типов полировального инструмента на каучуковых и полимерных связках следующих характеристик (рис. 8):

на каучуковой связке

АЭД 200 Р1/Р3 – 50 % – (КМ 3/1+3/2) – Н1D 17 %

АЭД 200 Р1/Р3 – 75 % – (КМ 3/1+3/2) – Н1D 17 %

АЭД 200 Р9/Р3 – 50 % – (КМ 3/1+3/2) – Н1D 17 %

АЭД 200 Р9/Р3 – 75 % – (КМ 3/1+3/2) – Н1D 17 %

на полимерной связке

ШКД100 – 8 % КМ 3/1 – Н1D 25 %
 ШКД100 – 8 % КМ 2/1 – Н1D 25 %

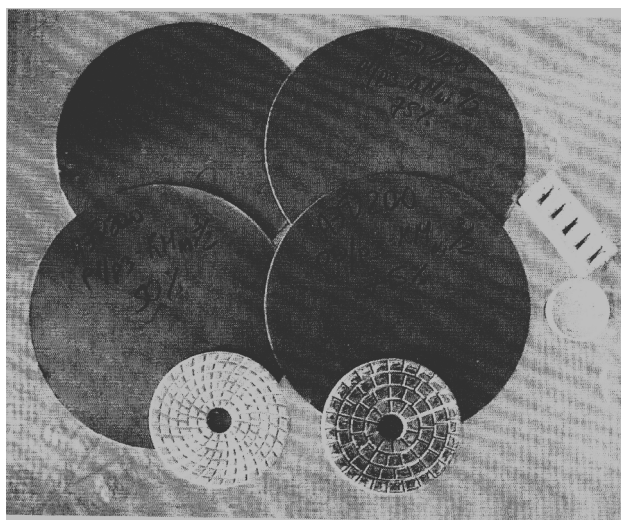


Рис. 8. Общий вид полировального инструмента с использованием металлизированных порошков КМ

Испытания проводили в промышленных условиях при операциях окончательной обработки изделий из мрамора и гранита на коленно-шлифовально-полировальных станках марки ВШ-28 в таких режимах: скорость вращения полировального диска – 650 об./мин; давление прижима диска – ручная подача; охлаждающая жидкость – вода (скорость подачи 40 л/мин) при визуальной оценке качества поверхности готовых изделий.

Установлено, что полировальники на связке Р1/Р3 с применением металлизированных никелем КМ дают высокую стойкость и высокий полирующий эффект на изделиях из мрамора, а инструмент на твердой каучуковой связке Р9/Р3 дает высокий полирующий эффект на изделиях из гранита.

Увеличение концентрации наполнения КМ с 50 до 75 % не приводит к заметному повышению стойкости и полирующей способности инструмента.

Результаты испытаний инструмента на полимерной связке с использованием металлизированных КМ показали, что оба вида инструмента в равной степени имеют высокую работоспособность и высокое качество полирования изделий из гранта и мрамора. В то же время отмечается более высокая по сравнению с идентичным алмазным инструментом жесткость полировальников.

Способность металлизации повышать полирующий и блескообразующий эффекты в наибольшей степени проявляется при обработке с охлаждением водой. Как показали микрорентгеновские исследования отработанного шлама при использовании металлизированных порошков, абразивные свойства и эффект выглаживания поверхности повышаются за счет образования между обрабатываемыми поверхностями демпферной прослойки, состоящей из шлама, который содержит абразив и мельчайшие осколки металла-покрытия [6]. В процессе полирования абразив группируется с осколками металла в отдельные шарообразные и очень мелкие структуры, которые дополнительно работают на сьем микронеровностей и выглаживание поверхности.

При увеличении длительности обработки и нагрузки наблюдается измельчение и упорядочение структуры демпферной прослойки, что способствует получению качественной поверхности.

Литература

1. Дуда Т. М. Металлизированные никелем, медью и титаном алмазные и кубонитовые шлиф- и микропорошки // Инструментальный світ. – К.: 1999. – № 4-5. – С. 28–29.
2. Инструмент из металлизированных сверхтвердых материалов / Е. М. Чистяков, А. А. Шепелев, Т. М. Дуда, В. П. Черных– К.: Наук. думка, 1982. – 204 с.
3. Дуда Т. М. Эффективные покрытия для порошков алмаза и КНБ, их структурные особенности и области промышленного применения // Синтез, спекание и свойства сверхтвердых материалов. – Киев: Изд-во ИСМ НАН Украины, 2005. – С. 86–95.
4. Дуда Т. М. Термодинамика поверхностных явлений ультрадисперсных алмазных систем // Сверхтвердые материалы. – 2001. – № 3. – С. 54–61.
5. Ткач С. В. Особливості використання растрової електронної мікроскопії при дослідженні композитних надтвердих матеріалів та багатошарових плівкових покриттів // Сверхтвердые материалы. – 2005. – № 2. – С. 45–51.
6. Дуда Т. М., Никитин Ю. И., Полторацкий В. Г. Результаты исследований физико-механических и эксплуатационных свойств исходных и металлизированных никелем алмазных шлиф- и микропорошков // Сверхтвердые материалы. – 1998. – № 6. – С. 63–70.
7. Дуда Т. М., Калайда Н. И., Гонтарь Н. П. Металлизированные алмазные микро- и ультрадисперсные порошки, повышающие эффективность обработки природного алмаза // Инструментальный світ. – 2000. – № 9. – С. 11–13.

Поступила 13.06.08