

УДК 549.211.002.61:546.26.162

**В. П. Афанасьев**<sup>1</sup>, д-р геол.-мин. наук; **О. А. Заневский**<sup>2</sup>, канд. хим. наук;  
**С. А. Ивахненко**<sup>2</sup>, д-р техн. наук, **Г. Д. Ильницкая**<sup>2</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup>Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (ИГМ СО РАН)

<sup>2</sup>Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины

## ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА ШЛИФ- И МИКРОПОРОШКОВ ИМПАКТНЫХ АЛМАЗНО-ЛОНСДЕЙЛИТОВЫХ АБРАЗИВОВ

Получены шлиф- и микропорошки из сырья природных импактных абразивов Попигайской астроблемы. Исследованы их фазовый состав и свойства. Установлено, что частицы порошков состоят из алмаза и лонсдейлита в соотношении  $66 \div 77 \%$  и  $23 \div 33 \%$ , соответственно. Определена статическая прочность шлифпорошков для зернистостей 50/40 – 250/200 мкм. Показано, что абразивная способность шлиф- и микропорошков алмазно-лонсдейлитовых абразивов (АЛА) в 1,7 – 2,0 раза выше по сравнению с порошками, изготовленных из синтетических алмазов.

**Ключевые слова:** алмаз, лонсдейлит, структура, абразивная способность.

Сырье импактных алмазно-лонсдейлитовых абразивов Попигайской астроблемы позволяет получать шлиф- и микропорошки с уникальными характеристиками для использования в прецизионной обработке металлов, керамических материалов, а также в качестве сырья для поликристаллов [1, 2].

В настоящей работе путем дробления предварительно классифицированных частиц АЛА зернистостью 315/160 мкм получены шлиф- и микропорошки, изучены их структурные свойства и абразивная способность.

Изучение образцов шлифпорошков показало, что они представляют собой смесь зерен, которые при изучении в оптическом микроскопе визуально можно разделить по цвету на три группы – темные, светлые и прозрачные (рис. 1).

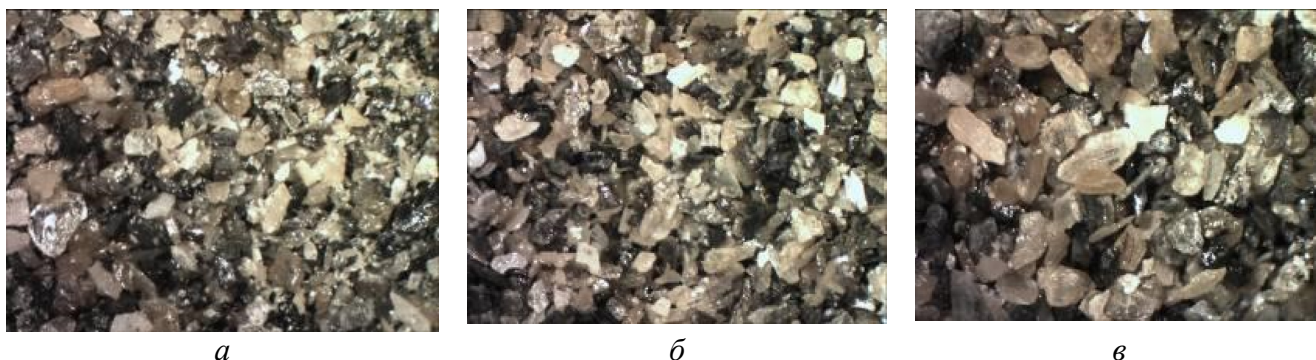


Рис. 1. Исходные порошки сырья АЛА зернистостью 250/160 при различных увеличениях:  
а –  $\times 30$ ; б –  $\times 30$ ; в –  $\times 40$

Результаты фазового анализа порошков позволили сделать заключение, что они состоят из алмаза (66–67% С) и лонсдейлита (33–31% С); присутствует также малое

количество неидентифицированной фазы, которой является, по-видимому, графит. Типичная дифрактограмма, получаемая при фазовом анализе образцов, представлена на рис. 2.

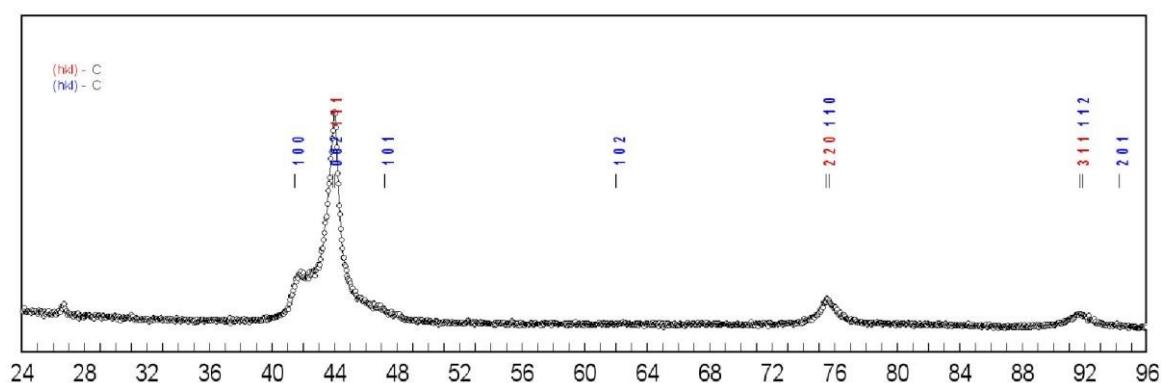


Рис. 2. Типичная дифрактограмма образца АЛМ зернистостью 160/100 мкм

Детальное изучение морфологии исходных и дробленых частиц в оптическом микроскопе позволило установить, что прозрачная светлая поверхность частиц (или светлые зерна) относится к кубической фазе, а темная – к гексагональной фазе.

Исходные порошки были исследованы на сканирующем электронном микроскопе ZEISS EVO50; электронно-микроскопические изображения представлены на рис. 3, из которого видно, что поверхность образца сильно развита; элементный состав согласно рентгеноспектрального анализа представляет собой 100 % углерод. Сильно развитая поверхность частиц предопределяет их высокую абразивную способность при шлифовании и полировании.

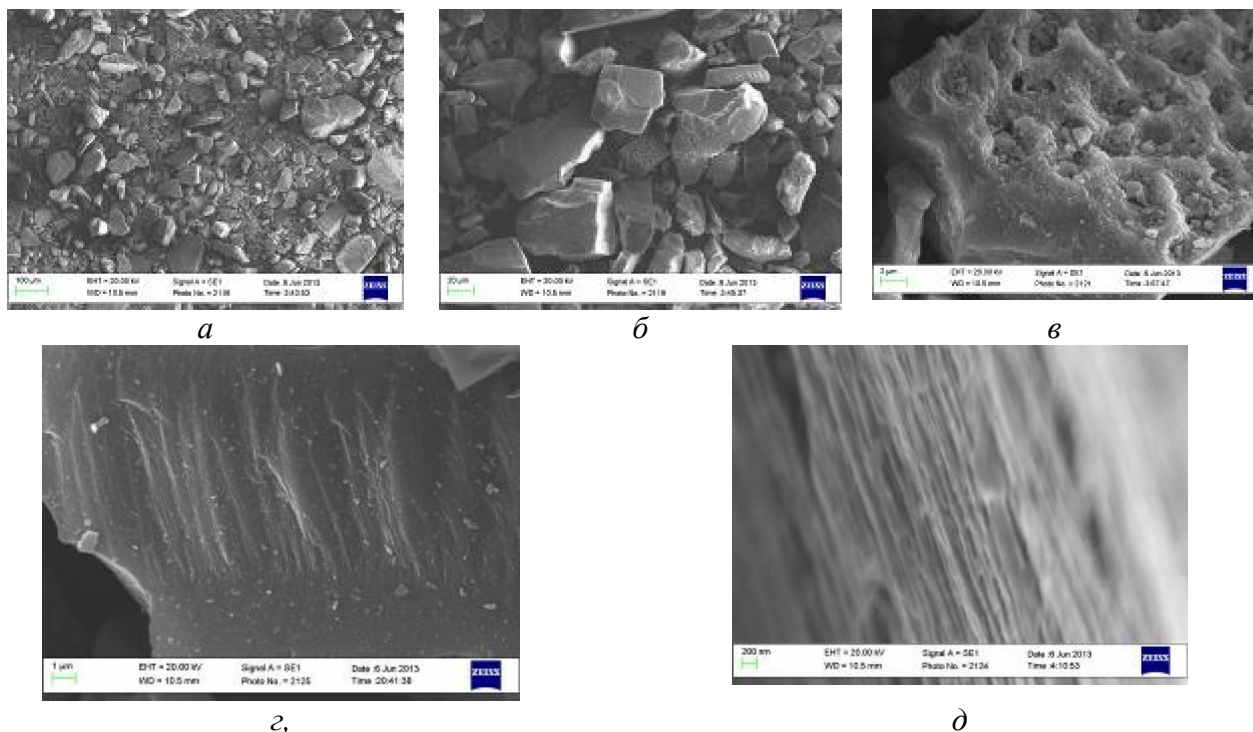


Рис. 3. Электронно-микроскопические изображения исходного порошка при различных увеличениях. а – 250; б –  $\times 1000$ ; в –  $\times 10000$ ; г –  $\times 15000$ ; д – 50000

После дробления были определены прочностные характеристики алмазно-лонсдейлитовых порошков по методике согласно ГОСТ 9206-80; данные по прочности полученных порошков приведены в табл. 1. Из полученных данных следует, что средняя прочность шлифпорошков из импактных алмазов соответствует значениям марок синтетических алмазов AC15 – AC80.

Таблица 1. Показатель прочности при статическом сжатии, Н, для порошков АЛА различной зернистости, прибор DDA-33, предел усилия 2000 Н

Зернистость, мкм	250/200	200/160	160/125	125/100	100/80	80/63	63/50	50/40
Прочность*, Н	89,9	47,4	24,0	21,2	15,5	10,7	8,7	5,2

\* значения прочности получены при испытании 50 зерен каждой зернистости по 2 раза

Показатель прочности порошков АЛА при статическом сжатии, в зависимости от зернистости, может соответствовать, согласно ГОСТ 9206-80, значениям марок синтетических алмазов AC15–AC80 при содержании основной фракции для конкретной зернистости не менее 74%, а крупной – не более 13%.

Определение фазового состава дробленных импактных порошков с помощью рентгеновского фазового анализа показало, что они представляют собой смесь алмазной структуры (74 + 4 %) с лонсдейлитом (26–4 %) и очень малым содержанием (< 0,2–0,4 %) неидентифицированной фазы; это позволяет заключить, что в результате дробления сырья для шлифпорошков соотношение между алмазной и лонсдейлитовой фазой может меняться в пределах  $\pm 2\%$ ; для зернистости -40 мкм после дробления изменение этого соотношения может достигать  $\pm 3\%$ .

Для получения микропорошков фракции -40 мкм из АЛА они были измельчены в планетарной мельнице. Установлено, что процесс дробления такого сырья для получения фракций широкого диапазона зернистостей  $+60 \div -3$  мкм, табл. 2, при оптимизированных характеристиках процесса дробления требует временных затрат в 1,5–2 раза больших, чем для измельчения синтетических алмазов.

Полученный после дробления материал подвергали химической очистке в «царской водке» (смесь соляной и азотной концентрированных кислот в соотношении 3:1) для растворения металлических частиц, образовавшихся в результате намола рабочих тел при дроблении, а затем обработке в растворе гидроокиси натрия с добавлением перекиси водорода. Процесс очистки дробленого сырья АЛА требует увеличения химических реагентов в  $\sim 2$  раза больше, чем при обработке синтетических алмазов.

Таблица 2. Результаты классификации микропорошков из алмазно-лонсдейлитового сырья массой 1992 карата

Зернистость, мкм	Выход,	
	карат	%
+60	1035	51,95
60/28	325	16,32
40/20	177	8,89
28/14	116	5,82
14/7	118	5,92
10/5	72	3,61
7/3	49	2,46
5/2	38	1,91
-3	28	1,41
Всего	1958	98,29
Потери	34	1,71
Итого:	1992	100

Общий вид формы частиц микропорошков зернистостей 40/20 и 7/3 представлен на рис. 4.

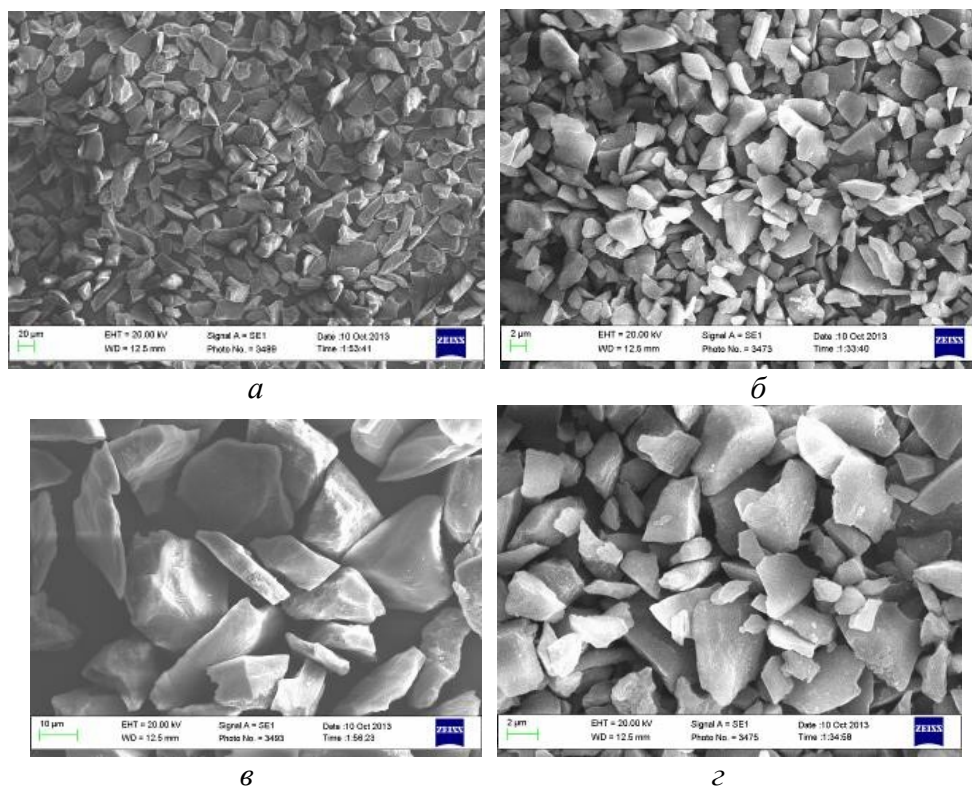


Рис. 4. Электронно-микроскопические изображения микропорошков АЛД зернистостью 40/20 (слева) и 7/3 (справа) при различных увеличениях: а –  $\times 500$ ; б –  $\times 5000$ ; в –  $\times 2500$ ; г –  $\times 10000$

В процессе переработки сырья АЛА установлено, что последовательность технологических операций при изготовлении микропорошков из них не отличается от технологического цикла переработки синтетического сырья. Морфологический анализ зерен показывает, что по количеству частиц удлиненной и пластинчатой форм это сырье содержит таких частиц в 3–5 раз меньше, чем сырье из синтетических алмазов; это, наряду с низкой долей примесей в виде несгораемого остатка (0,45–0,50%), позволяет сделать вывод о возможности разработки технологического процесса получения микропорошков из алмазно-лонсдейлитового сырья.

Определение абразивной способности шлифпорошков АЛА выполнено в сравнении с синтетическими порошками алмаза (табл. 3) с использованием методики М28.5-267:2006, разработанной в ИСМ НАН Украины, согласно которой для испытания используются такой же специальный станок УАС-2М; истираемый материал – образцы твердого сплава марки ВК-6 по ГОСТ 3882-84 в виде 3 цилиндров с площадью основания от 100 до 110 мм<sup>2</sup> и высотой не более 10 мм, планшайба – из корундовой керамики 22ХС, навеска испытуемого порошка – 0,03 г; время испытания – 20 мин.

**Таблица 3. Результаты сравнительных испытаний абразивной способности шлифпорошков, полученных из импактного алмазно-лонсдейлитового и синтетического алмазного сырья; приведенные значения абразивной способности являются средним арифметическим по результатам трех испытаний**

Шлифпорошки АЛА		Шлифпорошки из синтетического алмаза	
Зернистость порошка, мкм	Абразивная способность, отн. ед.	Зернистость порошка, мкм	Абразивная способность, отн. ед.
-40	8,01	-40	3,70
50/40	8,45	50/40	3,90
63/50	8,60	63/50	4,00
80/63	8,71	80/63	4,21
100/80	9,60	100/80	4,30
125/100	8,41	125/100	4,52
160/125	9,5	160/125	4,58
200/160	7,71	200/160	4,52
250/200	8,02	250/200	4,47

Как видно из табл. 3, шлифпорошки из алмазно-лонсдейлитового сырья имеют абразивную способность в среднем в 2 раза выше, чем шлифпорошки из синтетического алмаза.

Определение абразивной способности микропорошков проводилось по ГОСТ 9206-80. Сущность метода заключается в определении отношения массы сошлифованного материала образца к массе израсходованного на это микропорошка при установленном режиме испытания; для испытаний применяется установка УАС-2М с заданными характеристиками, планшайба из корундовой керамики марки 22ХС и фиксированными диаметром и толщиной; три образца из синтетического корунда или лейкосапфира по ГОСТ 22029-76 в виде прямоугольных призм с площадью основания от 100 до 110 мм<sup>2</sup> и высотой не более 10 мм, закрепленные в металлическом блоке.

Результаты испытаний абразивной способности микропорошков, полученных из АЛА, приведены в табл. 4, в которой для сравнения приведены также результаты определения абразивной способности синтетических алмазов аналогичной зернистости.

**Таблица 4. Результаты сравнительных испытаний абразивной способности микропорошков, полученных из импактного алмазно-лонсдейлитового и синтетического алмазного сырья**

Микропорошки АЛА		Микропорошки синтетического алмаза	
Зернистость микропорошка, мкм	Абразивная способность, отн. ед.	Зернистость микропорошка, мкм	Абразивная способность, отн. ед.
+60	5,05	+60	3,67
60/28	6,53	60/28	3,69
40/20	5,89	40/20	3,54
28/14	5,70	28/14	3,33
14/7	4,85	14/7	2,91
10/5	3,80	10/5	2,16
7/3	2,98	7/3	1,71
5/2	2,20	5/2	1,21

Как видно из сравнения, порошки из АЛА превышают абразивную способность синтетических алмазов более чем в 1,5–2 раза.

Таким образом, использование шлиф- и микропорошков АЛА перспективно для производства высокоэффективного шлифовального, режущего, полировального и бурового инструмента.

### **Выводы**

1. Исследование фазового состава исходных образцов сырья АЛА попигайского месторождения позволяет заключить, что основными фазами в материале порошков являются алмаз и лонсдейлит, соотношение между которыми в разных образцах меняется от 66/33 до 77/23 %, соответственно; По фазовому составу исследованный исходный абразивный материал импактного происхождения следует называть структурным алмазно-лонсдейлитовым композитом.

2. Исследование морфологических характеристик поверхности исходных алмазно-лонсдейлитовых порошков и после дробления, с использованием оптической и растровой электронной микроскопии и изучение состава порошков с помощью рентгенофазового анализа позволило установить, что прозрачные и светлые поверхности зерен относятся к кубической фазе (алмаз), а темные – к гексагональной фазе (лонсдейлит).

3. Сравнение массы намола рабочих тел при дроблении алмазно-лонсдейлитового сырья и синтетических алмазов свидетельствует о том, что абразивная способность порошков из АЛА значительно выше, чем синтетических алмазов.

4. Показатель прочности порошков АЛА при статическом сжатии, в зависимости от зернистости, может соответствовать значениям марок синтетических алмазов АС15 – АС80 при содержании основной фракции для конкретной зернистости не менее 74 %, а крупной – не более 13 %.

5. Изучение абразивных свойств алмазно-лонсдейлитовых шлифпорошков позволило определить, что абразивная способность для зернистостей 250/200–50/40 мкм не менее чем в два раза выше по сравнению с алмазными синтетическими порошками.

6. Исследование классифицированных алмазно-лонсдейлитовых микропорошков показало, что показатель по несгораемому остатку после обработки при 1000 °С и выдержке 15 мин составляет не более 0,45 – 0,50 %, что значительно меньше, чем регламентировано ГОСТ 9206-80 для алмазных природных и синтетических микропорошков.

7. Показатели абразивной способности алмазно-лонсдейлитовых микропорошков в 1,7–1,8 раза превышает эту характеристику для алмазных синтетических микропорошков.

*Отримані шліф- і мікропорошки із сировини природних імпактних абразивів Попігайської астроблеми. Досліджено їх фазовий склад та властивості. Встановлено, що частинки порошків складаються із алмазу і лонсдейліту у співвідношенні 66–77% і 23–33%, відповідно. Визначена статична міцність шліфпорошків для зернистостей 50/40–250/200 мкм. Показано, що абразивна здатність шліф- і мікропорошків алмазно-лонсдейлітових абразивів (АЛА) в 1,7–2,0 рази вища у порівнянні з порошками, які виготовлені із синтетичних алмазів.*

**Ключові слова:** алмаз, лонсдейліт, структура, абразивна здатність.

#### **PREPARATION AND PROPERTIES GRINDING POWDERS AND MICRO POWDERS MADE OF IMPACT DIAMOND- LONSDALEITE ABRASIVES**

*There are grinding- and micropowders from natural raw materials from the impact abrasives of the Popigaysky astrobleme are received. Their phase structure and properties are investigated. It is established that particles of powders consist diamond and a lonsdalite in the ratio of 66 ÷ 77% and 23 ÷ 33%, respectively. Static durability of grinding powder for a graininess 50/40 – 250/200 microns is determined. It is shown that abrasive ability a grinding- and the micropowders from the diamond-lonsdalite abrasive (DLA) is 1,7 - 2,0 times higher in comparison with powders made of synthetic diamonds.*

**Key words:** diamond, lonsdalite, structure, abrasive ability.

#### **Литература**

1. Импактные алмазы – новый вид минерального сырья Украины/Вальтер А.А., Гурский Д.С., Еременко Г.К., Бочко А.В.//Мінеральні ресурси України. – 1999, № 3. С. 16 – 22.
2. Технологические свойства импактных алмазов/Бочко А.В., Вальтер А.А., Гурский Д.С., Еременко Г.К.//Минералогический журнал. – 1999. 21, № 2/3. С. 8 – 12.

Поступила 25.07.16