



# МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

УДК 539.2: 658.562

**В.Т. СЕНЮТЬ**, канд. техн. наук

ведущий научный сотрудник лаборатории наноструктурных и сверхтвердых материалов<sup>1</sup>

E-mail: vsenyut@tut.by

**П.А. ВИТЯЗЬ**, акад. НАН Беларуси, д-р техн. наук, проф.

главный научный сотрудник отделения технологий машиностроения и металлургии<sup>1</sup>

руководитель аппарата НАН Беларуси<sup>2</sup>

E-mail: vitiaz@presidium.bas-net.by

**В.И. ЖОРНИК**, д-р техн. наук, проф.

начальник отделения технологий машиностроения и металлургии — заведующий лабораторией наноструктурных и сверхтвердых материалов<sup>1</sup>

E-mail: zhornik@inmash.bas-net.by

**И.В. ВАЛЬКОВИЧ**

научный сотрудник лаборатории наноструктурных и сверхтвердых материалов<sup>1</sup>

E-mail: valigvl@gambler.ru

**В.П. АФАНАСЬЕВ**, д-р геол.-минерал. наук

главный научный сотрудник лаборатории литосферной мантии и алмазных месторождений<sup>3</sup>

E-mail: avp-diamond@mail.ru

<sup>1</sup>Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Президиум НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>3</sup>Институт геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск, Россия

Поступила в редакцию 24.06.2021.

## ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ СПЕЧЕННОГО ИМПАКТНОГО АЛМАЗА НА ИХ ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ПРИ ОБРАБОТКЕ КАРБИДА КРЕМНИЯ

*В статье представлены результаты сравнительных испытаний на износостойкость спеченных в условиях высоких давлений и температур композиционных материалов (КМ) на основе импактного алмаза (алмаз-лонсдейлитового абразива — АЛА) при обработке карбида кремния (SiC). Для оценки работоспособности КМ на основе импактных алмазов разработана методика определения износостойкости, основанная на определении удельной производительности КМ. Показано, что для КМ на основе импактного алмаза в качестве связующего целесообразно применять SiC. Для КМ на основе импактного алмаза с добавкой 40 об.% SiC удельная производительность при обработке круга из SiC на 25–30 % выше, чем для составов, содержащих плотные фазы BN — wBN и cBN. Снижение удельной производительности КМ «импактный алмаз — cBN» относительно КМ «импактный алмаз — SiC» определяется более высокой дисперсностью кристаллов плотных фаз BN по сравнению с SiC, что в целом ухудшает абразивную способность материала. При этом добавка в состав шихты крупной фракции импактного алмаза 100/63 мкм не приводит к росту удельной производительности абразивного элемента по сравнению с КМ на основе АЛА с размером частиц менее 40 мкм. Предварительная механоактивация исходной шихты также снижает абразивную способность КМ вследствие формирования высокодисперсной структуры материала.*

**Ключевые слова:** *импактные алмазы, высокие давления и температуры, спекание, карбид кремния, кубический нитрид бора, износостойкость*

DOI: <https://doi.org/10.46864/1995-0470-2021-4-57-63-70>

**Введение.** Современное производство предъявляет к инструментам и инструментальным материалам растущие требования по обеспечению работоспособности в условиях больших скоростей резания и динамических нагрузок, интенсивного теплового и химического взаимодействия с обрабатываемыми материалами. Необходима все более высокая производительность при соблюдении точности геометрии и размеров деталей, качества их рабочих поверхностей. Наиболее полно указанным требованиям отвечают инструментальные сверхтвердые материалы (СТМ) на основе алмаза и кубического нитрида бора (КНБ) [1].

Основными направлениями выполняемых в различных странах исследований по созданию СТМ и инструмента на их основе является повышение физико-механических, теплофизических и эксплуатационных характеристик, увеличение размеров композиционных СТМ и создание композитов специального назначения.

Значительного повышения уровня механических свойств поликристаллических СТМ можно добиться за счет использования алмазных порошков с высокодисперсной зеренной структурой. Взаимосвязь твердости материала с уровнем дисперсности описывается соотношением Холла–Петча [2]. Применение порошков наноалмазов либо их композиций с микроалмазными порошками позволяет получать на их основе поликристаллический алмазный материал с повышенными физико-механическими свойствами, что обеспечивает улучшенные эксплуатационные характеристики изделий на его основе [3, 4].

Использование алмаз-лонсдейлитового углерода импактного происхождения (АЛА, импактных алмазов), сочетающего преимущества нано- и микроалмазных порошков и обладающего повышенной термостойкостью по сравнению с синтетическими нано- и микропорошками алмаза, является перспективным направлением в области создания и производства новых алмазных материалов и инструмента.

При этом перспективные сферы применения АЛА будут дополнять и расширять существующие области использования природных технических алмазов и синтетических алмазов. Дополнение и расширение в данном случае предполагает использование схожих технологий и производство аналогичной по свойствам, функциям и качеству современного алмазного инструмента. Импактные алмазы способны частично замещать технические и синтетические алмазы в технологиях и изделиях, для которых использование импактных

алмазов экономически и технологически более эффективно. Это связано с тем, что уникальные физико-механические (прежде всего, абразивные) свойства импактных алмазов качественно превосходят аналогичные свойства других сверхтвердых материалов [5, 6].

Но для того, чтобы оценить рыночную перспективу импактных алмазов, необходимо в первую очередь провести исследования по определению наиболее перспективных направлений использования данного вида алмазного сырья, изучить физико-механические и технологические свойства КМ на их основе, провести анализ эксплуатационных параметров разработанного алмазного инструмента.

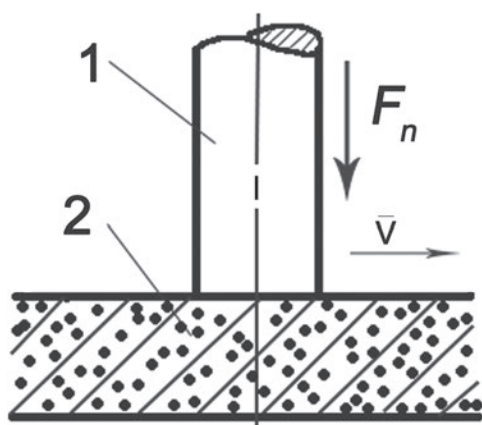
Проведенные ранее исследования показали перспективность использования импактных алмазов в качестве полировального материала в процессах формирования нанорельефа прецизионных поверхностей хрупких неметаллических материалов (оптического стекла, полупроводникового кремния), циркониевых сплавов, что позволяет значительно повысить производительность обработки и качество деталей электронной, оптической и атомной техники [7].

Перспективным направлением применения импактных алмазов является разработка камнеобрабатывающего и бурового инструмента нового поколения с повышенной абразивной способностью. В этой связи важной задачей является разработка рецептур композитов на основе импактных алмазов, обеспечивающих возможность обработки широкого класса труднообрабатываемых материалов (горных пород средней и высокой твердости, труднообрабатываемых машиностроительных материалов, абразивных кругов на основе корунда и SiC).

Цель работы — изучение износостойкости композитов на основе спеченных с различными добавками в условиях высоких давлений и температур импактных алмазов при обработке SiC.

**Методики исследований и исходные материалы.** Внешний вид спеченных КМ до и после проведения испытаний исследовали на оптическом микроскопе МБС-9 (Россия). Морфологию спеченных образцов КМ изучали на атомно-силовом микроскопе (АСМ) NT-206 (ОДО «Микротестмашины», Беларусь) в контактном режиме. Рентгеновские исследования порошков выполнены на дифрактометре фирмы Bruker (Швейцария) D8 ADVANCE в Cu-K $\alpha$  излучении в автоматическом режиме съемки.

Микротвердость наноструктурных композитов определялась на микротвердомере Micromet-II



**Рисунок 1 — Принципиальная схема метода испытания алмазных КМ на абразивное изнашивание при трении о жестко закрепленные абразивные частицы: 1 — испытуемый КМ; 2 — абразивный материал (жестко закрепленные абразивные частицы — круг шлифовальный марки 63С 60 ГОСТ 2424-83)**  
**Figure 1 — Schematic diagram of the method of testing diamond CM for abrasive wear during friction on rigidly fixed abrasive particles: 1 — tested CM; 2 — abrasive material (rigidly fixed abrasive particles — grinding wheel grade 63C 60 GOST 2424-83)**

фирмы Buehler (Швейцария) алмазным индентором по шкале Виккерса с нагрузкой на индентор 100 г.

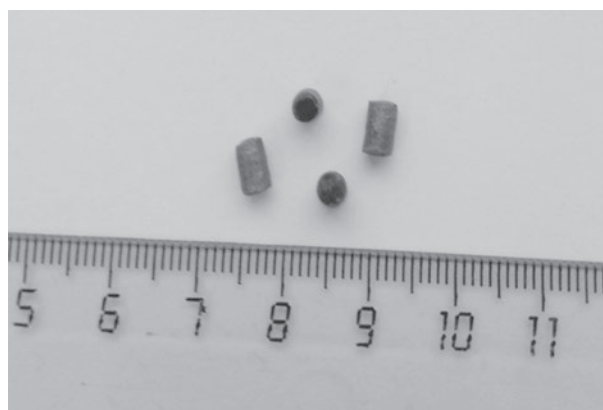
Методика оценки износостойкости КМ на основе импактных алмазов для камнеобработки. На первом этапе работ в соответствии с ГОСТ 30480-97 [8] была разработана методика для оценки износостойкости КМ на основе импактных алмазов.

Методика по определению износостойкости КМ основана на распознавании удельной производительности КМ, которая характеризуется отношением объема (см<sup>3</sup>) абразивного материала (шлифовального круга), снятого образцом композита за цикл испытания к величине потери массы КМ (мг) при его взаимодействии с абразивным материалом. Удельная производительность оценивается в см<sup>3</sup>/мг. Данная методика может быть рекомендована в качестве экспресс-метода определения износостойкости алмазных и других сверхтвердых поликристаллических и композиционных материалов и устанавливает метод их испытаний на абразивное изнашивание при трении о жестко закрепленные абразивные частицы.

Принципиальная схема метода испытания представлена на рисунке 1. Тестирование КМ на износостойкость проводили на испытательной установке, содержащей привод, обеспечивающий вращение вокруг горизонтальной оси испытуемого образца 1, и рычаг, прижимающий образец к абразивному материалу 2. Испытания образцов осуществляли на сверлильном станке Bench Top Mini Drill Press 5 Speed (Китай).

**Таблица 1 — Марка и технические характеристики абразивного круга**  
**Table 1 — Brand and technical characteristics of the abrasive wheel**

Тип	Размеры, мм	Абразив	Зернистость	Твердость	Структура	Связка	Скорость, м/с	Класс точности	Класс неуравновешенности
1	Ф175×20×32	63С	100	L	7	V	35	Б	2



**Рисунок 2 — Внешний вид спеченных образцов на основе импактного алмаза**  
**Figure 2 — Appearance of sintered samples based on impact diamond**

В качестве абразивного материала выбран круг шлифовальный марки 63С 100 ГОСТ 2424-83 производства Лужского абразивного завода (Россия). Выбор абразивного материала на основе SiC осуществлен согласно рекомендациям ГОСТ 19.301-79. Технические характеристики абразивного материала представлены в таблице 1.

В соответствии с рекомендациями и техническими возможностями оборудования устанавливали режим испытания образцов КМ на износостойкость:

- скорость сверления — 515 об/мин;
- усилие прижима державки с образцом к абразивному кругу — (10 ± 0,25) Н;
- длительность — 10 с.

Обработка результатов испытаний. По результатам взвешивания образцов до и после испытаний определяли потерю массы образцов  $\Delta m$  по формуле:

$$\Delta m = m_1 - m_2, \quad (1)$$

где  $m_1$  — масса исследуемого образца до испытаний, мг;  $m_2$  — масса исследуемого образца после испытаний, мг.

По результатам замеров диаметра и высоты лунки в абразивном круге определяли объем абразивного материала (шлифовального круга), снятого образцом КМ по формуле:

$$V_{\text{шл. кр.}} = 0,785 \cdot D^2 \cdot H, \quad (2)$$

где  $V_{\text{шл. кр.}}$  — объем шлифовального круга, см<sup>3</sup>;  $D$  — диаметр лунки, см;  $H$  — глубина лунки, см.

Определяли износостойкость (удельную производительность, см<sup>3</sup>/мг) КМ  $q$  по формуле:

$$q = V_{\text{шл. кр.}} / \Delta m. \quad (3)$$

Исходные образцы для исследований. Материалы для исследований получали методом спекания

Таблица 2 — Состав, технология получения и микротвердость КМ  
Table 2 — CM composition, production technology and microhardness

Образец	Состав исходной шихты	Технология получения	Фазовый состав композитов	Микротвердость, ГПа
1. Импактный алмаз — добавка (SiC+Si)	Импактный алмаз — 60 об.%; добавка (SiC+Si) — 40 об.%	химико-термическое модифицирование + спекание в условиях высоких давлений и температур	алмаз кубический; алмаз гексагональный (лонсдейлит); SiC; Si	49–52
2. ПСТМ (поликристаллический сверхтвердый материал) синтетический алмаз АСМ — титан	Синтетический алмаз АСМ — 95 мас.%; титан — 5 мас.%	химико-термическое модифицирование + спекание в условиях высоких давлений и температур	алмаз кубический; графит; TiB <sub>2</sub> ; TiO <sub>2</sub>	65–70
3. Композит 02 (белбор)	Кубический BN — 95 мас.%; алюминий — 5 мас.%	термобарический синтез	cBN; AlN; AlB <sub>2</sub>	42–45
4. Импактный алмаз — добавка вюрцитного BN	Импактный алмаз — 60 об.%; вюрцитный BN — 40 об.%	механоактивация + спекание в условиях высоких давлений и температур	алмаз кубический; алмаз гексагональный (лонсдейлит); wBN; cBN;	свыше 60
5. Импактный алмаз — добавка КНБ	Импактный алмаз — 60 об.%; КНБ — 40 об.%	механоактивация + спекание в условиях высоких давлений и температур	алмаз кубический; алмаз гексагональный (лонсдейлит); cBN	свыше 70
6. КМ КНБ — добавка тугоплавкого связующего	КНБ — 80 мас.%; связка (вюрцитный BN, AlN, AlB <sub>2</sub> ) — 20 мас.%	спекание в условиях высоких давлений и температур	cBN; wBN; AlN; AlB <sub>2</sub>	30–32
7. Твердый сплав ВК15	Твердый сплав ВК15	спекание в условиях высоких давлений и температур	WC-Co	16–18
8. ПСТМ синтетический алмаз АСМ — титан	Синтетический алмаз АСМ — 98 мас.%; титан — 2 мас.%	химико-термическое модифицирование + спекание в условиях высоких давлений и температур	алмаз кубический; TiB <sub>2</sub> ; TiO <sub>2</sub>	свыше 70
9. КМ импактный алмаз — добавка вюрцитного BN — добавка 30 об.%, импактного алмаза фракции 100/63 мкм	Импактный алмаз — 60 об.%; вюрцитный BN — 10 об.%; импактный алмаз фракции 100/63 мкм — 30 об.%	спекание в условиях высоких давлений и температур	алмаз кубический; алмаз гексагональный (лонсдейлит); wBN	свыше 60

реакционных шихт на основе АЛА в условиях высоких давлений и температур в аппарате высокого давления «наковальня с углублением». Технологические режимы спекания образцов композитов выбирали, исходя из проведенных ранее исследований [7, 9, 10]. Критерием являлись максимальные физико-механические характеристики (микротвердость, плотность) образцов композитов, полученных при давлении спекания 5,5 ГПа. Температура спекания КМ находилась в пределах 1850–1950 °С, время изотермической выдержки составляло 30–50 с. В результате спекания под давлением были получены образцы КМ Ø 3,75–4 мм и высотой 5 мм (рисунок 2).

Для сравнительных испытаний были изготовлены эталонные образцы композитов на основе микропорошка КНБ с тугоплавким связующим сложного состава (таблица 2), синтетического алмаза марки

АСМ, твердого сплава ВК-15. Также в качестве эталонного материала был использован сверхтвердый композит 02 (белбор) на основе КНБ, синтезированный в условиях высоких давлений и температур путем прямого превращения из графитоподобного BN.

В таблице 2 представлены составы испытываемых композиционных материалов, их фазовый состав и микротвердость.

**Экспериментальная часть и обсуждение результатов.** На рисунке 3 представлены величины удельной производительности образцов КМ базовых составов.

В результате проведенных испытаний установлено, что для КМ на основе импактных алмазов АЛА для обработки высокотвердых хрупких материалов в качестве связующего целесообразно использовать SiC. Для КМ на основе АЛА с добавками SiC и Si (состав № 1, см. таблицу 2) удельная про-

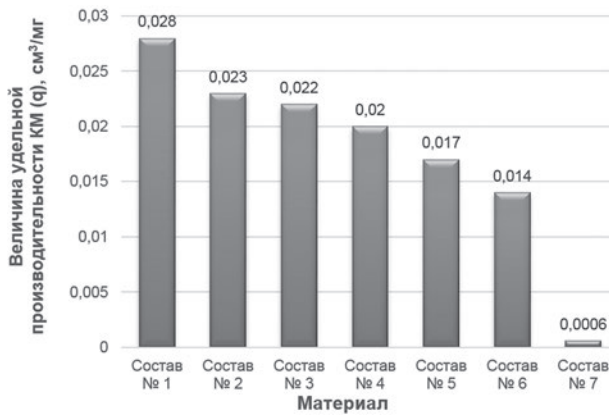


Рисунок 3 — Результаты сравнительных испытаний образцов КМ на износостойкость  
 Figure 3 — Results of comparative tests of CM samples for wear resistance

изводительность находится на уровне 0,028 см³/мг, что на 15–20 % выше, чем у КМ № 2 (ПСТМ на основе синтетического алмаза АСМ) и № 3 (композит 02 «белбор») и существенно (на 25–39 %) превосходит износостойкость КМ АЛА-вюрцитный BN (wBN) (состав № 4) и АЛА-кубический BN (cBN) (состав № 5) (см. рисунок 3).

Дополнительное введение 1 мас.% бора в состав № 1 способствует повышению хрупкости связки материала и увеличивает потерю массы КМ в процессе испытаний до значений 0,020–0,022 см³/мг, что на 20–28 % ниже, чем для базового состава АЛА-SiC-Si.

Снижение удельной производительности КМ АЛА-wBN и АЛА-cBN относительно КМ АЛА-SiC-Si обусловлено более высокой дисперсностью кристаллов плотных фаз BN (рисунок 4) на уровне 0,05–1,5 мкм по сравнению с фазой SiC (1–5 мкм), что, несмотря на более высокую твердость КМ АЛА-wBN/cBN, ухудшает их абразивную способность.

Другая возможная причина снижения удельной производительности КМ заключается в повышенном абразивном износе вследствие адгезии (схватывания) wBN и cBN с обрабатываемым материалом (SiC), а также химическим взаимодействием между BN и Si в условиях повышен-

ных температур и механических нагрузок [11], что приводит к деградации механических свойств композитов.

Предварительная механоактивация добавок на основе плотных фаз BN (wBN, cBN) также может служить причиной снижения абразивной способности спеченных КМ вследствие формирования высокодисперсной структуры компонентов КМ (см. рисунок 4 *b, c*). При этом КМ на основе АЛА с добавками плотных фаз BN (wBN и cBN) и SiC (составы № 1, 4 и 5) существенно (в 40–50 раз) превосходят образцы материала из сплава твердо-го спеченного марки ВК15 (состав № 7).

На рисунке 5 представлен внешний вид рабочих торцов КМ после проведения испытаний. Поверхность образца КМ АЛА-SiC-Si достаточно однородная, на ней не видно глубоких царапин, других признаков сильного абразивного износа (см. рисунок 5 *a*). Наиболее сильный износ наблюдается у КМ на основе составов АЛА-wBN и АЛА-cBN (см. рисунок 5 *b, c*).

Добавка в шихту для получения КМ АЛА-wBN (состав № 4) крупной фракции АЛА 100/63 мкм в количестве 30 об.% не приводит к росту удельной производительности материала, полученного при тех же параметрах спекания, при этом картина износа рабочей поверхности КМ по сравнению с другими образцами, содержащими фазы BN, практически не изменяется (см. рисунок 5 *d*).

Использование в КМ более высоких концентраций АЛА (80–100 об.%) при данных параметрах термобарического спекания приводит к повышению хрупкости композитов и их повышенному износу.

В работе также исследовали абразивную способность ПСТМ из микропорошка АСМ фракции 2/0 с более высоким (до 98 мас.%) содержанием алмаза (состав № 8). Так как микропорошок синтетических алмазов в большей степени подвержен графитизации при высоких температурах, для его спекания был выбран более высокий уровень давлений термобарической обработки — 7,0–7,7 ГПа, превышающий в 1,4–1,5 раза давле-

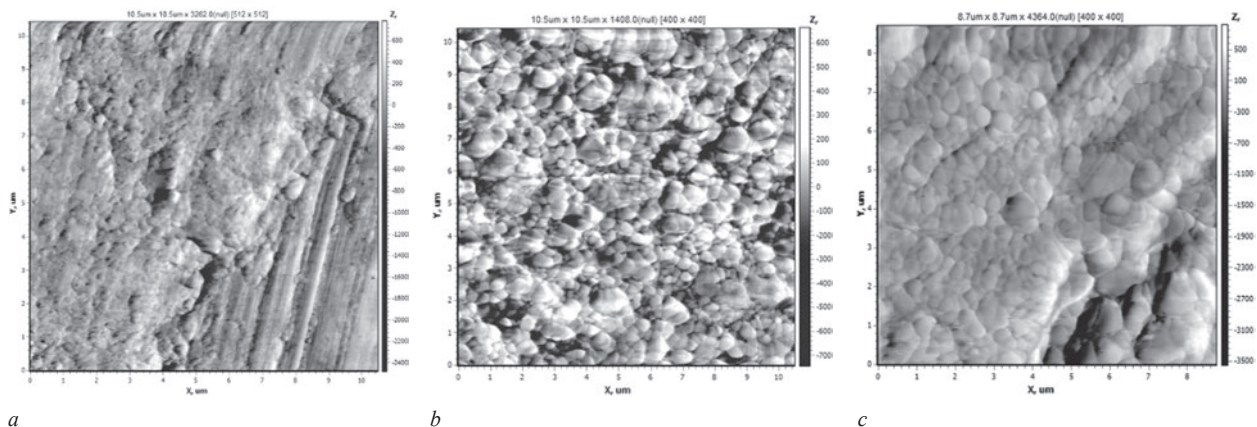


Рисунок 4 — Микроструктура КМ на основе импактного алмаза: *a* — АЛА-SiC-Si; *b* — АЛА-wBN; *c* — АЛА-cBN  
 Figure 4 — CM microstructure based on impact diamond: *a* — DLA-SiC-Si; *b* — DLA-wBN; *c* — DLA-cBN

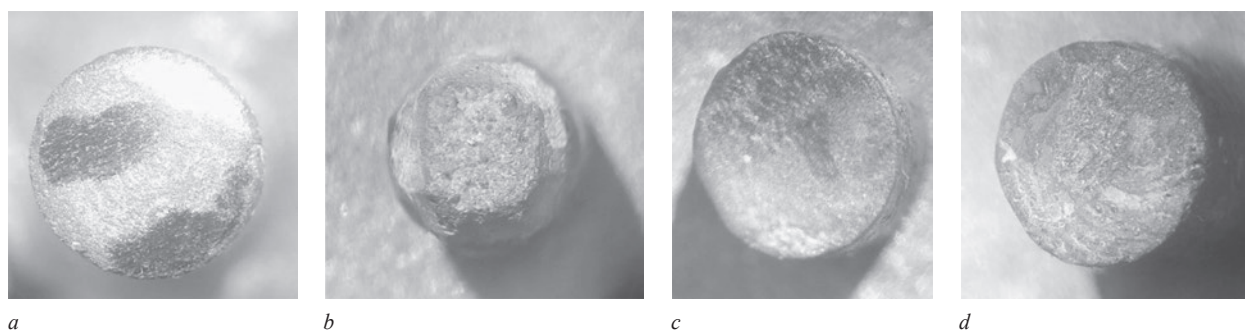


Рисунок 5 — Внешний вид торцевых поверхностей КМ на основе импактного алмаза после испытаний:  
 a — АЛА-SiC-Si; b — АЛА-wBN; c — АЛА-cBN; d — АЛА-wBN-30 об.% АЛА 100/63  
 Figure 5 — Appearance of the CM end surfaces based on impact diamond after testing:  
 a — DLA-SiC-Si; b — DLA-wBN; c — DLA-cBN; d — DLA-wBN-30 vol.% DLA 100/63

ние спекания КМ на основе АЛА. В этом случае у алмазного ПСТМ (поликристаллического СТМ) была достигнута высокая абразивная способность (0,035–0,050 см<sup>3</sup>/мг), которая обусловлена как более высоким содержанием алмазной фазы, так и снижением пористости материала, а также отсутствием в ПСТМ графита.

Поэтому дальнейшие перспективы развития КМ для обработки износостойких материалов связаны с разработкой КМ на основе составов, содержащих импактный алмаз АЛА с добавкой микропорошков синтетического алмаза. В данном случае для достижения высоких физико-механических и абразивных свойств композитов на основе АЛА и синтетических алмазов АСМ их спекание необходимо осуществлять при давлениях, препятствующих графитизации синтетического алмазного порошка.

**Заключение.** 1. Износостойкость разработанных алмазных КМ на основе АЛА зависит от ряда факторов, наиболее важными из которых являются вид и содержание связующего, зернистость используемого АЛА, использование механоактивации и химико-термической обработки в процессе приготовления реакционной шихты. Показано, что при обработке высокотвердых хрупких материалов (в частности SiC) в качестве связующего предпочтительным является применение SiC по сравнению с плотными фазами BN — wBN и cBN.

2. Для КМ на основе АЛА с добавкой 40 об.% SiC и Si удельная производительность при обработке круга из SiC достигает наиболее высокого значения 0,028 см<sup>3</sup>/мг, что на 25–30 % выше, чем для составов, содержащих плотные фазы BN — wBN и cBN.

3. Снижение удельной производительности КМ АЛА с добавками wBN и cBN относительно КМ АЛА-SiC-Si определяется более высокой дисперсностью кристаллов плотных фаз BN по сравнению с SiC, что снижает абразивную способность материала. Другая возможная причина снижения удельной производительности заключается в повышенном абразивном износе КМ из-

за повышенной адгезии частиц плотных фаз BN к обрабатываемому материалу (SiC) и химического взаимодействия между BN и SiC в условиях повышенных температур и механических нагрузок.

4. Введение в шихту крупной фракции АЛА 100/63 мкм не приводит к росту удельной производительности режущего элемента по сравнению с КМ на основе АЛА с размером частиц менее 40 мкм.

5. Дальнейшие перспективы развития КМ на основе АЛА для обработки износостойких материалов связаны с повышением содержания алмаза в КМ и оптимизацией параметров термобарического спекания материала, а также с разработкой композитов, содержащих импактный алмаз АЛА с добавкой микропорошков синтетического алмаза.

### Список литературы

1. Витязь, П.А. Синтез и применение сверхтвердых материалов / П.А. Витязь, В.Д. Грицук, В.Т. Сенюль. — Минск: Беларус. наука, 2005. — 359 с.
2. Андриевский, Р.А. Наноматериалы: концепция и современные проблемы / Р.А. Андриевский // Российский химический журнал. — 2002. — Т. XLVI, № 5. — С. 50–56.
3. Наноалмазы детонационного синтеза: получение и применение / П.А. Витязь [и др.]; под ред. П.А. Витязя. — Минск: Беларус. навука, 2013. — 381 с.
4. Наноалмазные композиты / А.В. Ножкина [и др.] // Наноструктурные материалы: технологии, свойства, применение: сб. науч. ст. — Минск, 2017. — С. 108–121.
5. Афанасьев, В.П. Минералогические и технологические свойства импактных алмазов попирайской астроблемы / В.П. Афанасьев, Н.П. Похиленко // Углерод: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, технология: X Междунар. конф., 2016, Москва, Троицк. — С. 42.
6. Афанасьев, В.П. Попирайские импактные алмазы: новое российское сырье для существующих и будущих технологий / В.П. Афанасьев, Н.П. Похиленко // Инноватика и экспертиза. — 2013. — Вып. 1(10). — С. 8–15.
7. Синтез наноструктурного алмаз-лондейлитного инструментального композита для абразивной обработки / П.А. Витязь [и др.] // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: С.Н. Поддубко [и др.]. — Минск, 2019. — Вып. 8. — С. 352–356.
8. Обеспечение износостойкости изделий. Методы испытаний на износостойкость. Общие требования: ГОСТ 30480-97. — Введ. РФ 01.07.98. — М.: Изд-во стандартов, 1998. — 12 с.
9. Получение композитов на основе алмаз-лондейлитового абразива для финишной обработки износостойких материалов / П.А. Витязь [и др.] // Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композицион-

- ные материалы, защитные покрытия, сварка: материалы 14-й междунар. науч.-техн. конф., Минск, 9–11 сент. 2020 г. / НАН Беларуси [и др.]; редкол.: А.Ф. Ильюшенко (гл. ред.) [и др.]. — Минск: Беларус. навука, 2020. — С. 338–343.
10. Сенюць, В.Т. Спекание композиционных материалов инструментального назначения на основе импактных алмазов в условиях высоких давлений и температур / В.Т. Сенюць // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. — 2021. — Т. 66, № 1. — С. 47–57.
11. Ultra-High Temperature Interaction Between h-BN-Based Composite and Molten Silicon / W. Polkowski [et al.] // Metallurgical and Materials Transactions A. — 2019. — Vol. 50, iss. 2. — Pp. 997–1008.

SENYUT Vladimir T., Ph. D. in Eng.

Leading Researcher of the Laboratory of Nanostructured and Superhard Materials<sup>1</sup>

E-mail: vsenyut@tut.by

VITYAZ Petr A., Academician of the NAS of Belarus, D. Sc. in Eng., Prof.

Chief Researcher of Department of Technologies of Mechanical Engineering and Metallurgy<sup>1</sup>

Head of the Apparatus of the NAS of Belarus<sup>2</sup>

E-mail: vitiaz@presidium.bas-net.by

ZHORNIK Viktor I., D. Sc. in Eng., Prof.

Head of the Department of Technologies of Mechanical Engineering and Metallurgy — Head of the Laboratory of Nanostructured and Superhard Materials<sup>1</sup>

E-mail: zhornik@inmash.bas-net.by

VALKOVICH Igor V.

Researcher of the Laboratory of Nanostructured and Superhard Materials<sup>1</sup>

E-mail: valigvl@rambler.ru

AFANASYEV Valentin P., D. Sc. in Geology and Mineralogy

Chief Researcher of the Laboratory of Lithospheric Mantle and Diamond Deposits<sup>3</sup>

E-mail: avp-diamond@mail.ru

<sup>1</sup>Joint Institute of Mechanical Engineering of the NAS of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>Presidium of the NAS of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

<sup>3</sup>V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of the Siberian Branch of the RAS, Novosibirsk, Russia

Received 24 June 2021.

## STUDY OF THE COMPOSITION INFLUENCE OF COMPOSITES BASED ON SINTERED IMPACT DIAMOND ON THEIR WEAR RESISTANCE DURING PROCESSING OF SILICON CARBIDE

*The article presents the results of comparative tests on the wear resistance of composite materials (CM) sintered at high pressures and temperatures based on impact diamond (diamond-lonsdaleite abrasive — DLA) when processing silicon carbide (SiC). To assess the CM performance based on impact diamonds, a method has been developed for determining the wear resistance, based on the determination of the CM specific productivity. It is shown that for CMs based on impact diamond, it is expedient to use SiC as a binder. For CMs based on impact diamond with an additive of 40 vol.% SiC, specific productivity when machining a silicon carbide wheel is 25–30 % higher than for compositions containing dense BN phases — wBN and cBN. The decrease in the specific productivity of CM “impact diamond — cBN” relative to CM “impact diamond — SiC” is determined by the higher dispersion of crystals of dense BN phases in comparison with SiC, which generally impairs the abrasive ability of the material. In this case, the addition of a coarse fraction of impact diamond 100/63 μm to the charge composition does not lead to an increase in the specific productivity of the abrasive element as compared to CM based on DLA with a particle size of less than 40 μm. Preliminary mechanical activation of the initial charge also reduces the CM abrasive ability due to the formation of a highly dispersed structure of the material.*

**Keywords:** impact diamonds, high pressure and temperature, sintering, silicon carbide, cubic boron nitride, wear resistance

## References

- Vityaz P.A., Gritsuk V.D., Senyut V.T. *Sintez i primeneniye sverkhverdykh materialov* [Synthesis and application of superhard materials]. Minsk, Belorusskaya nauka Publ., 2005. 359 p. (in Russ.).
- Andrievskiy R.A. Nanomaterialy: kontseptsiya i sovremennyye problemy [Nanomaterials: concept and current issues]. *Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal*, 2002, vol. XLVI, no. 5, pp. 50–56 (in Russ.).
- Vityaz P.A., Zhornik V.I., Ilyushchenko A.F., Senyut V.T., Komarov A.I., Korzhenevskiy A.P., Ivakhnik A.V. *Nanoalmazny detonatsionnogo sinteza: poluchenie i primeneniye* [Detonation synthesis nanodiamonds: production and application]. Minsk, Belorusskaya nauka Publ., 2013. 381 p. (in Russ.).
- Nozhkina A.V., Kostikov V.I., Laptev A.I., Vlasov I.I., Dudakov V.B. Nanoalmaznye kompozity [Nanodiamond composites]. *Nanostrukturnyye materialy: tekhnologii, svoystva, primeneniye*, 2017, pp. 108–121 (in Russ.).
- Afanasyev V.P., Pokhilenko N.P. Mineralogicheskie i tekhnologicheskie svoystva impactnykh almazov popigayskoy astroblemy [Mineralogical and technological properties of impact diamonds of the Popigai astrobleme]. *Materialy 10 Mezhdunarodnoy konferentsii "Uglerod: fundamentalnyye problem nauki, materialovedeniye, tekhnologiya"* [Proc. 10th International Conference "Carbon: fundamental problems of science, materials science, technology"]. Moscow, Troitsk, 2016, p. 42 (in Russ.).
- Afanasyev V.P., Pokhilenko N.P. Popigayskie impactnye almazы: novoe rossiyskoe syre dlya sushchestvuyushchikh i budushchikh tekhnologiy [Popigai impact diamonds: new Russian raw materials for existing and future technologies]. *Innovatics and expert examination*, 2013, iss. 1(10), pp. 8–15 (in Russ.).
- Vityaz P.A., Senyut V.T., Zhornik V.I., Valkovich I.V., Parnitskiy A.M., Kovaleva S.A., Afanasyev V.P. Sintez nanostrukturnogo almaz-lonsdeylitnogo instrumentalnogo kompozita dlya abrazivnoy obrabotki [Synthesis of nanostructured diamond-lonsdaleite tool composite for abrasive treatment]. *Aktualnye voprosy mashinovedeniya*, 2019, iss. 8, pp. 352–356. (in Russ.).
- State Standard 30480-97. *Obespecheniye iznosostoikosti izdeliy. Metody ispytaniy. Obshchie trebovaniya* [Ensuring the wear resistance of products. Test methods for wear resistance. General requirements]. Moscow, Standartov Publ., 1998. 12 p. (in Russ.).
- Vityaz P.A., et al. Poluchenie kompozitov na osnove almaz-lonsdeylitnogo abraziva dlya obrabotki iznosostoykikh materialov [Production of composites based on a new diamond-lonsdaleite abrasive for finishing wear-resistant materials]. *Materialy 14 Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Novyye materialy i tekhnologii: poroshkovaya metallurgiya, kompozitsionnyye materialy, zashchitnyye pokrytiya, svarka"* [Proc. 14th International Scientific and Technical Conference "New materials and technologies: powder metallurgy, composite materials, protective coatings, welding"]. Minsk, 2020, pp. 338–343 (in Russ.).
- Senyut V.T. Spekanie kompozitsionnykh materialov instrumentalnogo naznacheniya na osnove impactnykh almazov v usloviyakh vysokikh davleniy i temperatur [Sintering of composite materials for tool appointment, based on impact diamonds, under high pressure and temperatures]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physical-technical series*, 2021, vol. 66, no. 1, pp. 47–57 (in Russ.).
- Polkowski W., Sobczak N., Polkowska A., Nowak R., Kudyba A., Bruzda G., Giuranno D., Generosi A., Paci B., Trucchi D.M. Ultra-high temperature interaction between h-BN-based composite and molten silicon. *Metallurgical and materials transactions A*, 2019, vol. 50, iss. 2, pp. 997–1008.