



МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ В МАШИНОСТРОЕНИИ

УДК 621.762:621.921.34

В.Т. СЕНЮТЬ, канд. техн. наук, доц.

ведущий научный сотрудник лаборатории наноструктурных и сверхтвердых материалов НТЦ «Технологии машиностроения и технологическое оборудование»¹

E-mail: vsenyut@tut.by

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

начальник управления аэрокосмической деятельности²

E-mail: vitiazpresidium@bas-net.by

В.И. ЖОРНИК, д-р техн. наук, проф.

начальник отделения технологий машиностроения и металлургии – заведующий лабораторией наноструктурных и сверхтвердых материалов НТЦ «Технологии машиностроения и технологическое оборудование»¹

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

И.В. ВАЛЬКОВИЧ

старший научный сотрудник лаборатории наноструктурных и сверхтвердых материалов НТЦ «Технологии машиностроения и технологическое оборудование»¹

E-mail: valigvl@ Rambler.ru

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

главный научный сотрудник лаборатории литосферной мантии и алмазных месторождений³

E-mail: avp-diamond@mail.ru

И.Е. ГРИГОРЬЕВ

аспирант⁴

E-mail: grig_igorok@mail.ru

¹Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь

²Национальная академия наук Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь

³Институт геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация

⁴Белорусский государственный технологический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 20.02.2024.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА КОМПОЗИТОВ, СОДЕРЖАЩИХ ИМПАКТНЫЕ АЛМАЗЫ, НА ИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКЕ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

В работе представлены результаты стойкостных испытаний инструментальных композиционных материалов (КМ), содержащих наноструктурные импактные алмазы, в сравнении с композициями на основе синтетических сверхтвердых материалов (СТМ) — алмаз и кубический нитрид бора (КНБ) — и твердого сплава ВК-8 (WC + 8 % Co) при лезвийной обработке заготовок из латуни ЛС-59 (57–60 % Cu) и алюминиевого сплава АК-7 (Al 92–94 %, Si 6–8 %). Образцы КМ для исследований износостойкости были получены методом термобарического спекания в аппарате высокого давления. Оценка работоспособности композитов проводилась по износу задней поверхности реза, а также по специально разработанной методике исследования эксплуатационных характеристик композиционных СТМ, основанной на определении их удельной производительности. В результате проведенных испытаний установлено, что наиболее высокой стойкостью при

точении сплавов цветных металлов обладают композиты на основе импактных алмазов. В частности, износостойкость КМ, содержащего импактные алмазы с КНБ, превышает износостойкость резцов из композита 02 (белбор) в 1,5–3 раза, а резцов из твердого сплава ВК-8 — в 8–10 раз. Добавки импактного алмаза в твердый сплав в количестве 6,25 и 12,5 об.% повышают относительную износостойкость твердосплавного композита по сравнению с исходным сплавом ВК-8 на 10–15 и 20–25 % соответственно.

Ключевые слова: лезвийная обработка, импактные алмазы, твердый сплав, композиционные материалы, износостойкость

DOI: <https://doi.org/10.46864/1995-0470-2024-2-67-69-78>

Введение. Сегодня наличие производства и уровень применения СТМ являются одними из важнейших показателей состояния промышленности технически развитых стран. Широкое применение СТМ в современном промышленном производстве обуславливает возможность высокоэффективной механической обработки изделий из наиболее высокопрочных и труднообрабатываемых конструкционных и функциональных материалов, удельное использование которых в новой технике непрерывно возрастает. Это, прежде всего, относится к автомобиле- и станкостроению, производству авиатехники, созданию ракетно-космических конструкций, изготовлению ювелирных украшений, изделий из высокопрочных абразивных строительных материалов — камня, композиционных материалов [1–3].

Для развития современного производства особое значение имеет дальнейшее совершенствование технологий механической обработки, т. к. на долю этого процесса приходится до 40 % общей трудоемкости изготовления машин. По мере совершенствования техники объем механической обработки будет увеличиваться, при этом основное внимание станет уделяться инструментам из СТМ для финишной обработки [4].

В настоящее время лезвийный инструмент на основе алмазов и КНБ широко используют для предварительной и окончательной обработки чугунов, получистой и чистовой обработки закаленных сталей, твердых и труднообрабатываемых сплавов, сплавов цветных металлов взамен традиционных твердосплавных и минералокерамических инструментов, а также вместо абразивных кругов при шлифовании. При этом улучшается качество обработанной поверхности, т. к. исключается появление микротрещин, прижогов, шаржирование абразивом; повышается производительность обработки за счет резкого увеличения скорости резания [5]. Повышение физико-механических свойств и производительности лезвийного инструмента на основе СТМ может быть достигнуто за счет перехода к нанометровому диапазону зернистостей (структурных составляющих) инструментальных материалов [6, 7].

Использование наноструктурированных алмазов импактного происхождения Попигаевского месторождения (импактных алмазов) [8–10] позволило совместить преимущества нано- и микроструктурных природных и синтетических алмазов и повысить износостойкость и производительность инструмента для абразивной обработки хрупких неметаллических материалов [11, 12], камня [13], карбида кремния (SiC) [14].

Целью работы является изучение эксплуатационных характеристик (износостойкости) лезвийного инструмента со вставками из высокотвердых (твердый сплав ВК-8) и сверхтвердых (КНБ) КМ, содержащих импактные алмазы, предназначенного для механической обработки сплавов на основе меди (латуни) и алюминия (силумина).

Анализ методик определения стойкости лезвийного режущего инструмента из СТМ для металлообработки. В настоящее время существует достаточное количество прямых и косвенных методов измерения размерного износа инструмента и определения стойкости. Существует несколько методов определения стойкости лезвийного режущего инструмента.

Метод определения износа по задней поверхности резца. Для инструмента, оснащенного композиционными пластинами на основе алмазов и КНБ, наиболее удобным при испытаниях является критерий износа по задней поверхности, а именно ширина фаски износа на задней поверхности инструмента h_3 . Достоинством рассматриваемого критерия является легкость его измерения с помощью простых приборов. Величина износа по задней поверхности резца характеризует его стойкость, выражаемую в минутах.

Передние и задние углы у резцов следует назначать с учетом обеспечения необходимой прочности лезвия. Передний угол (–10...10°) назначают в зависимости от свойств материала заготовки, задний $\alpha = 5...12^\circ$. Критерий затупления материала резца h_3 принимается равным 0,4 мм.

Величина износа резцов на основе сверхтвердых композитов измеряется с точностью до 0,1 мм, а при исследованиях, требующих большей точности, — до 0,02...0,05 мм. Дополнительной мерой величины износа является глубина h

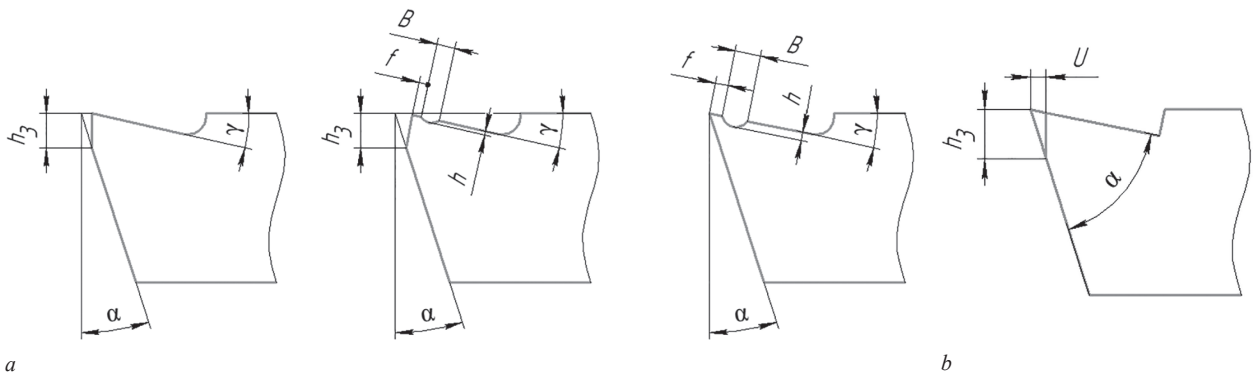


Рисунок 1 — Износ реза: а — виды износа; б — параметры износа
 Figure 1 — Cutter wear: a — wear types; b — wear parameters

и ширина B лунки на передней поверхности инструмента. Измеряется также расстояние от лунки до режущего лезвия f (рисунок 1 а). Износ измеряется с помощью инструментального микроскопа, а глубина лунки — индикатором с игольчатым наконечником.

Для токарных резцов он обусловлен износом по задней поверхности (см. рисунок 1 б) и связан с ним следующим соотношением:

$$U = h_3 \operatorname{tg} \alpha, \quad (1)$$

где h_3 — ширина площадки износа по задней поверхности реза.

Метод определения зависимости размерного износа реза от пути резания. Определение относительного износа реза. Для более точной характеристики износа и для упрощения расчетов точности механической обработки в технологии машиностроения размерный износ измеряется в зависимости от пути, пройденного лезвием инструмента в металле (путь резания L в км).

Достаточно часто кривые износа инструмента (следовательно и его стойкость) определяют в зависимости от пути, пройденного режущим инструментом в материале заготовки. При этом часто не разделяют понятия «длина резания» и «путь резания». При прямолинейной форме главного движения (рисунок 2 а) эти понятия совпадают. При вращательной форме главного движения (см. рисунок 2 б) путь резания значительно превосходит длину резания.

Метод определения зависимости объемного износа реза от пути резания. Определение относительного износа реза. Сложнее учитывается в расчетах начальный размерный износ режущего инструмента, когда обработка поверхности начинается вновь заточенным инструментом. Также нужно отметить, что изнашивание происходит по передней и задней поверхностям реза одновременно. Изменение условий работы приводит к неравномерному изнашиванию поверхностей резцовой вставки. Так, при низких скоростях резания и малых толщинах среза, а также при точении труднообрабатываемых

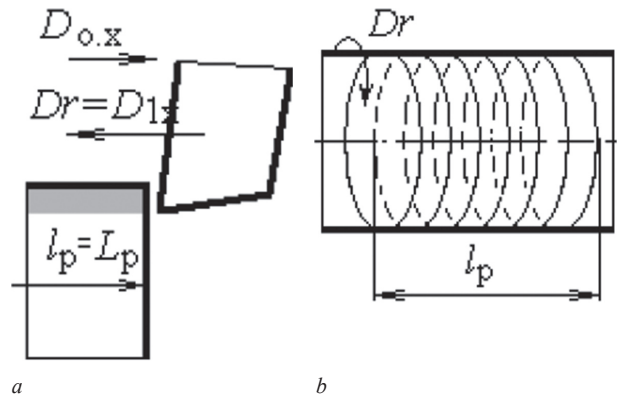


Рисунок 2 — Длина l_p и путь L_p резания при обработке:
 а — с прямолинейной формой главного движения; б — круговой формой главного движения (путь резания показан тонкой линией)
 Figure 2 — Cutting length l_p and path L_p during processing:
 а — with a straight-linear mode of the main motion; б — with a circular mode of the main motion (the cutting path is shown as a thin line)

материалов (например чугуна, износостойких сплавов) износ будет наблюдаться только на задней поверхности вставки. При высоких скоростях и больших толщинах среза, при обработке вязких металлов без охлаждения, т. е. когда имеются большое удельное давление на переднюю грань и высокая температура резания, изнашивается только передняя поверхность. Таким образом, измерением высоты площадки износа на задней поверхности реза не всегда удается характеризовать его стойкость. Суммарный износ можно определить путем взвешивания резцовой вставки при ее изнашивании с последующим вычислением объемного износа.

Обработка результатов испытаний методом определения зависимости объемного износа реза от пути резания. Путь резания при точении вычисляли по формуле:

$$L = \frac{\pi D n \cdot Q}{10^6}, \quad (2)$$

где L — путь резания, км; D — диаметр обработки, мм; n — частота вращения шпинделя, мин^{-1} ; Q — время обработки, мин.

Далее определяли относительный износ режущего инструмента:

$$U_0 = \frac{\Delta M}{L \cdot \gamma}, \quad (3)$$

где U_0 — относительный износ, мм³/км; ΔM — весовой износ режущего инструмента, мг; γ — плотность материала режущей вставки инструмента, мг/мм³; L — путь резания, км.

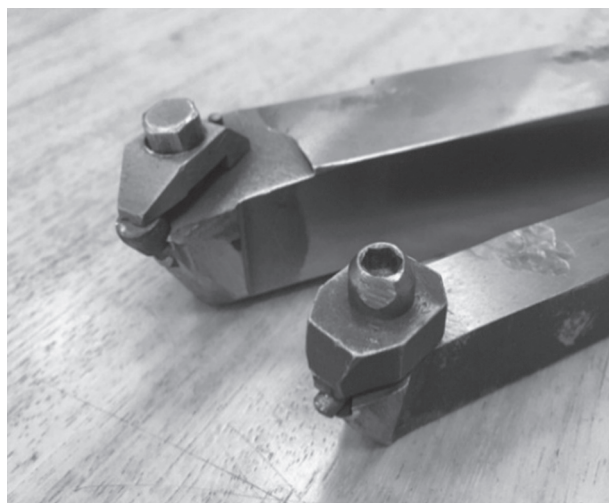
Экспериментальная часть. Стойкостные испытания лезвийного инструмента из КМ на основе алмазов и КНБ проводили на экспериментальном участке синтеза СТМ Объединенного института машиностроения НАН Беларуси на токарно-винторезном станке ГС 526У. Испытания резцов проводили методом точения металлических цилиндрических заготовок по наружному диаметру. Для испытаний использовали резцы с механическим креплением режущих вставок в стальную державку (рисунок 3).

Испытания резцов проводили методом точения по наружному диаметру без охлаждения. Для испытаний использовали заготовки:

- из сплава алюминиевого литейного марки АК-7 (ГОСТ 1583-93), диаметр заготовки 35 мм;



a



b

Рисунок 3 — Внешний вид КМ и металлообрабатывающего инструмента: *a* — спеченные образцы КМ с импактным алмазом; *b* — державки резцов с закрепленными механическим способом режущими элементами

Figure 3 — Appearance of composite materials and metalworking tools: *a* — sintered composite materials samples with impact diamond; *b* — cutter holders with mechanically fixed cutting elements

- из латуни марки ЛС 59-1 (ГОСТ 15527-2004), диаметр заготовки 62 мм.

Силумины относятся к высокотвердым сплавам из-за присутствия в их составе кремния, а латуни с содержанием цинка более 35–40 % обладают повышенной хрупкостью. Все это затрудняет обработку указанных сплавов режущими элементами из инструментальных сталей и вызывает необходимость применения новых сверхтвердых инструментальных материалов.

Режимы испытания резцов и обрабатываемый материал приведены в таблице 1.

Проведение исследований эксплуатационных параметров композитов. В качестве режущих элементов использовали композиты, составы которых приведены в таблице 2.

Режущие элементы получали из цилиндрических заготовок \varnothing 3,5–4,0 мм и высотой 5–6 мм. Рабочую поверхность композитов затачивали по переднему углу $\gamma = -5^\circ$, заднему углу $\alpha = 10^\circ$. Радиус при вершине $r = 0,6$ мм.

Таблица 1 — Режимы испытания резцов и обрабатываемые материалы

Table 1 — Test modes for cutters, and processed materials

Обрабатываемый материал	Режим резания		
	Частота вращения шпинделя, мин ⁻¹	Подача S , мм/об.	Глубина резания t , мм
Сплав алюминиевый литейный марки АК-7, диаметр 35 мм	1200	0,2	0,5
Латунь марки ЛС 59-1, диаметр 62 мм	1000	0,2	0,5

Таблица 2 — Составы композитов для резцовых вставок

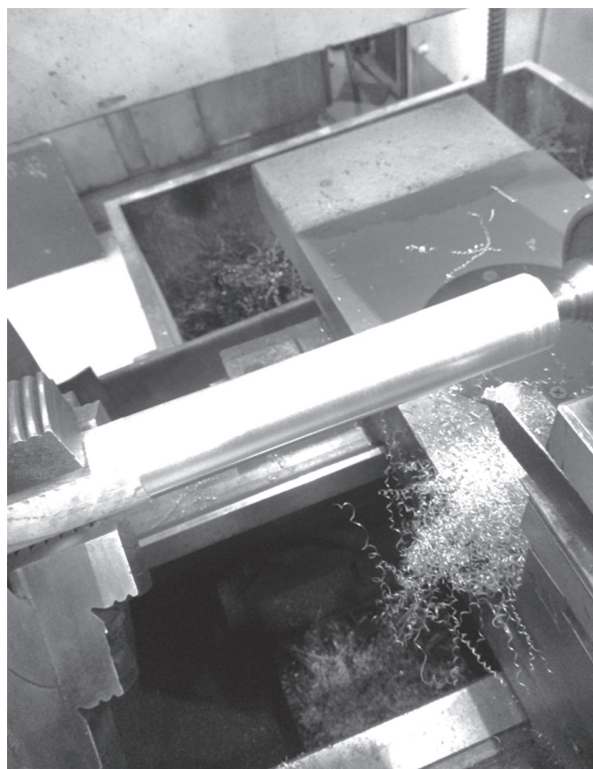
Table 2 — Composite proportions for tool inserts

№ п/п	Характеристика композита	Состав
1	КМ на основе импактного алмаза	60 об.% импактного алмаза, остальное — SiC
2	КМ на основе импактного алмаза	60 об.% импактного алмаза, остальное — КНБ
3	КМ на основе КНБ	80 масс.% КНБ, остальное — тугоплавкая керамика (AlB ₂ , AlN)
4	Композит 02 (белбор)	95 об.% КНБ
5	Твердый сплав марки ВК-8	WC + 8 % Co
6	Твердый сплав марки ВК-8 + 12,5 об.% импактного алмаза фракции 100/80 мкм	WC + 8 % Co + импактный алмаз
7	Твердый сплав марки ВК-8 + 6,25 об.% импактного алмаза фракции 100/80 мкм	WC + 8 % Co + импактный алмаз

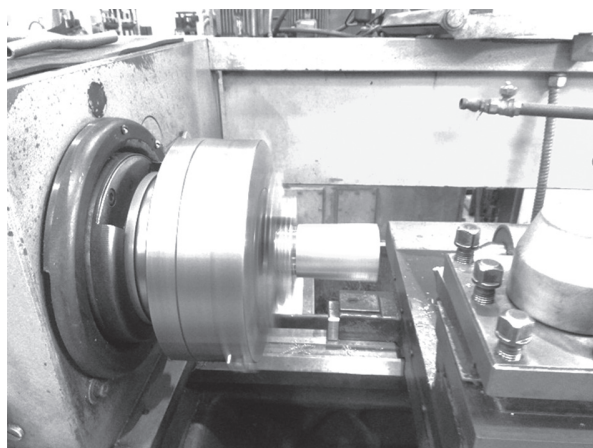
На рисунке 3 *a* показан внешний вид режущих элементов, а на рисунке 3 *b* — державки с закрепленными механическим способом режущими элементами сверхтвердых композиционных материалов (СТКМ).

На рисунке 4 показаны стадии лезвийной обработки заготовок материалов во время испытания.

Результаты сравнительных испытаний стойкости режцовых вставок из полученных КМ методом определения зависимости объемного износа резца от пути резания (определение относительного износа резца) представлены в таблицах 3 и 4.



a



b

Рисунок 4 — Стадии лезвийной обработки заготовок материалов во время испытания: *a* — заготовка сплава АК-7 после обработки в течение 3,5 мин; *b* — заготовка из латуни ЛС 59-1 после обработки в течение 2,5 мин

Figure 4 — Stages of blade processing of material blanks during testing: *a* — АК-7 alloy blank after processing for 3.5 min; *b* — brass blank made of grade LS 59-1 after processing for 2.5 min

Также проводили испытания режущих свойств композитов методом определения износа по задней поверхности резца согласно ГОСТ 18097-93 по методике и [15].

На рисунке 5 представлены результаты испытаний металлообрабатывающих инструментов на основе полученных композитов по критерию площади износа при обработке алюминиевого литейного сплава АК-7 (рисунок 5 *a*) и латуни ЛС-59 (см. рисунок 5 *b*).

В результате проведенных испытаний было установлено следующее.

1. При обработке заготовки из латуни ЛС 59-1 относительный износ образца КМ со связкой SiC изменяется в пределах 10,25–12,91 мм³/км; для образца КМ со связкой КНБ относительный износ составил 7,87–11,73 мм³/км. Относительный износ резца из СТКМ на основе КНБ — 14,68–16,91 мм³/км; композита 02 — 11,77–14,49 мм³/км. Для резцов из спеченного твердого сплава ВК-8 относительный износ изменяется в пределах 14,89–17,34 мм³/км.

2. При обработке заготовки из сплава АК-7 относительный износ образца КМ с добавкой SiC составляет 10,59–13,61 мм³/км; для КМ со связкой КНБ — 8,06–12,37 мм³/км. Износостойкость СТКМ на основе КНБ и композита 02 составляет 15,79–17,83 и 12,37–15,28 мм³/км соответственно. Для резцов из спеченного твердого сплава ВК-8 относительный износ изменяется в пределах 15,92–17,99 мм³/км.

3. Износостойкость резцов из спеченного твердого сплава при обработке латуни и сплава алюминия увеличивается на 10–15 и 20–25 % при введении импактного алмаза в количестве 6,25 и 12,5 об.% соответственно. Результаты испытаний металлообрабатывающих инструментов по критерию площади износа при обработке сплава алюминиевого литейного марки АК-7 также показали более высокую износостойкость для всех типов композитов, содержащих импактный алмаз.

4. Более высокая стойкость резцов на основе импактного алмаза с добавкой КНБ по сравнению с композитом на основе импактного алмаза с добавкой SiC обусловлена более высокими твердостью и износостойкостью КНБ [16].

5. Результаты испытаний показали, что обе методики позволяют получить качественно схожие результаты и могут использоваться на практике при определении работоспособности сверхтвердых (в т. ч. твердосплавных) композитов для лезвийной обработки труднообрабатываемых сплавов цветных металлов.

Экспериментально установлено, что использование резцов на основе наноструктурированного импактного алмаза либо содержащих импактный алмаз, позволяет осуществлять лезвийную обработку изделий с ударом без разрушения режущей кромки резцов, что является важным

Таблица 3 — Результаты испытания стойкости резцов при обработке заготовок из латуни ЛС 59-1 (диаметр 62 мм)
Table 3 — Results of testing the durability of cutters when processing blanks made of brass LS 59-1 (diameter 62 mm)

Параметр	Время работы резца от начала опыта Q , мин			
	2,5	5,0	7,5	10
КМ на основе импактных алмазов (композит с 60 об.% импактного алмаза + 40 об.% связка SiC). Начальный вес резцовой вставки 203,0 мг. Плотность материала резцовой вставки 3,5 мг/мм ³ .				
Путь резания от начала опыта L , км	0,487	0,970	1,449	1,924
Весовой износ резца от начала опыта ΔM , мг	22	38	53	69
Относительный износ U_o , мм ³ /км	12,91	11,19	10,45	10,25
КМ на основе импактных алмазов (композит с 60 об.% импактного алмаза + 40 об.% связка КНБ). Начальный вес резцовой вставки 238,0 мг. Плотность материала резцовой вставки 3,5 мг/мм ³ .				
Путь резания от начала опыта L , км	0,487	0,970	1,449	1,924
Весовой износ резца от начала опыта ΔM , мг	20	32	42	53
Относительный износ U_o , мм ³ /км	11,73	9,43	8,28	7,87
СТКМ на основе КНБ (80 масс.%). Начальный вес резцовой вставки 258,5 мг. Плотность материала резцовой вставки 3,4 мг/мм ³ .				
Путь резания от начала опыта L , км	0,487	0,970	1,449	1,924
Весовой износ резца от начала опыта ΔM , мг	28	51	73	96
Относительный износ U_o , мм ³ /км	16,91	15,46	14,82	14,68
Композит 02 (белбор). Начальный вес резцовой вставки 228,5 мг. Плотность материала резцовой вставки 3,4 мг/мм ³ .				
Путь резания от начала опыта L , км	0,487	0,970	1,449	1,924
Весовой износ резца от начала опыта ΔM , мг	24	42	59	77
Относительный износ U_o , мм ³ /км	14,49	12,74	11,98	11,77
Твердый сплав ВК-8. Начальный вес резцовой вставки 1487,5 мг. Плотность материала резцовой вставки 14,8 мг/мм ³ .				
Путь резания от начала опыта L , км	0,487	0,970	1,449	1,924
Весовой износ резца от начала опыта ΔM , мг	125	228	325	424
Относительный износ U_o , мм ³ /км	17,34	15,88	15,15	14,89
Твердый сплав ВК-8 + 12,5 об.% импактного алмаза фракции 315/200 мкм. Начальный вес резцовой вставки 1301,6 мг. Плотность материала резцовой вставки 12,95 мг/мм ³ .				
Путь резания от начала опыта L , км	0,487	0,970	1,449	1,924
Весовой износ резца от начала опыта ΔM , мг	84	152	217	282
Относительный износ U_o , мм ³ /км	13,32	12,10	11,56	11,32
Твердый сплав ВК-8 + 6,25 об.% импактного алмаза фракции 315/200 мкм. Начальный вес резцовой вставки 1394,1 мг. Плотность материала резцовой вставки 13,87 мг/мм ³ .				
Путь резания от начала опыта L , км	0,487	0,970	1,449	1,924
Весовой износ резца от начала опыта ΔM , мг	104	190	271	353
Относительный износ U_o , мм ³ /км	15,39	14,12	13,48	13,24

преимуществом разработанных керамических и металлокерамических инструментальных материалов по сравнению с другими типами используемых в работе сверхтвердых композитов.

Также показано, что применение импактного алмаза в композитах позволяет улучшить качество обработанной поверхности.

Заключение. 1. В результате проведенных испытаний установлено, что наиболее высокой стойкостью при точении сплавов цветных металлов обладают композиты, в которых используются импактные алмазы. Выявлено, что при обработке заготовки из латуни марки ЛС 59-1 износостойкость КМ на основе импактных алмазов

Таблица 4 — Результаты испытания стойкости резцов при обработке заготовок из сплава алюминиевого литейного марки АК-7 (диаметр 35 мм)

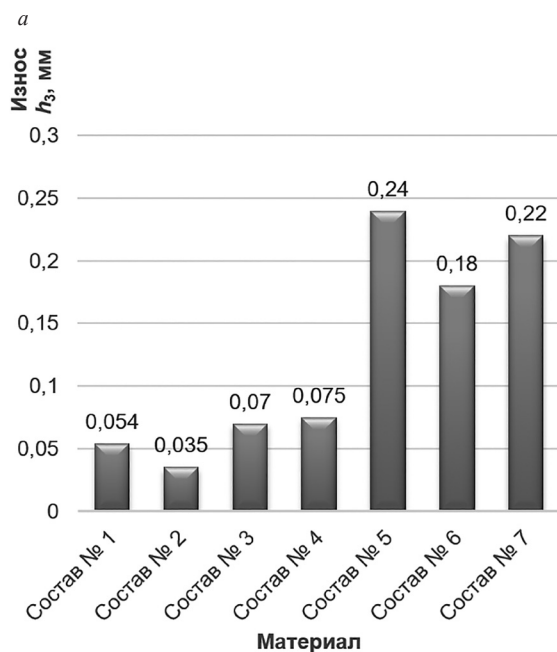
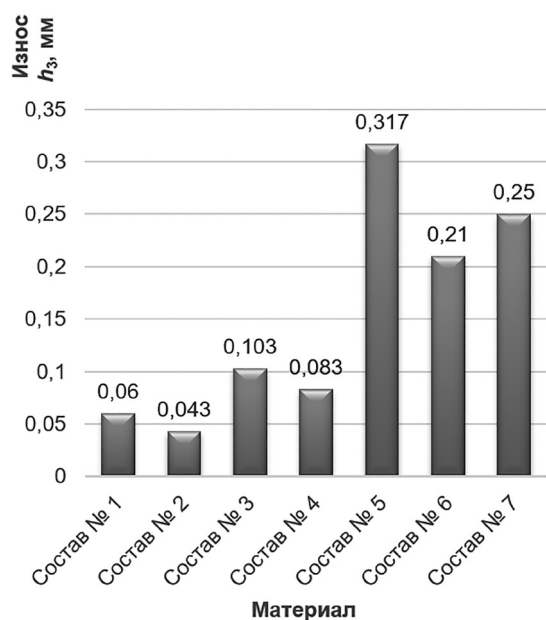
Table 4 — Results of testing the durability of cutters when processing blanks made of brass aluminum casting alloy AK-7 (diameter 35 mm)

Параметр	Время работы резца от начала опыта Q , мин			
	3,5	7,0	10,5	14
КМ на основе импактных алмазов (композит с 60 об.% импактного алмаза + 40 об.% связка SiC). Начальный вес резцовой вставки 213,6 мг. Плотность материала резцовой вставки 3,5 мг/мм ³ .				
Путь резания от начала опыта L , км	0,462	0,917	1,365	1,807
Весовой износ резца от начала опыта ΔM , мг	22	37	53	67
Относительный износ $U_{\text{о}}$, мг/км	13,61	11,53	11,09	10,59
КМ на основе импактных алмазов (композит с 60 об.% импактного алмаза + 40 об.% связка КНБ). Начальный вес резцовой вставки 223,2 мг. Плотность материала резцовой вставки 3,5 мг/мм ³ .				
Путь резания от начала опыта L , км	0,462	0,917	1,365	1,807
Весовой износ резца от начала опыта ΔM , мг	20	31	40	51
Относительный износ $U_{\text{о}}$, мг/км	12,37	9,66	8,37	8,06
СТКМ на основе КНБ (80 масс.%). Начальный вес резцовой вставки 243,4 мг. Плотность материала резцовой вставки 3,4 мг/мм ³ .				
Путь резания от начала опыта L , км	0,462	0,917	1,365	1,807
Весовой износ резца от начала опыта ΔM , мг	28	52	74	97
Относительный износ $U_{\text{о}}$, мг/км	17,83	16,68	15,94	15,79
Композит 02 (белбор). Начальный вес резцовой вставки 213,4 мг. Плотность материала резцовой вставки 3,4 мг/мм ³ .				
Путь резания от начала опыта L , км	0,462	0,917	1,365	1,807
Весовой износ резца от начала опыта ΔM , мг	24	41	58	76
Относительный износ $U_{\text{о}}$, мг/км	15,28	13,15	12,50	12,37
Твердый сплав ВК-8. Начальный вес резцовой вставки 1842,1 мг. Плотность материала резцовой вставки 14,8 мг/мм ³ .				
Путь резания от начала опыта L , км	0,462	0,917	1,365	1,807
Весовой износ резца от начала опыта ΔM , мг	123	226	323	426
Относительный износ $U_{\text{о}}$, мг/км	17,99	16,65	15,99	15,92
Твердый сплав ВК-8 + 12,5 об.% импактного алмаза фракции 315/200 мкм. Начальный вес резцовой вставки 1300,0 мг. Плотность материала резцовой вставки 12,95 мг/мм ³ .				
Путь резания от начала опыта L , км	0,462	0,917	1,365	1,807
Весовой износ резца от начала опыта ΔM , мг	82	151	215	284
Относительный износ $U_{\text{о}}$, мм ³ /км	13,71	12,69	12,18	12,14
Твердый сплав ВК-8 + 6,25 об.% импактного алмаза фракции 315/200 мкм. Начальный вес резцовой вставки 1391,2 мг. Плотность материала резцовой вставки 13,87 мг/мм ³ .				
Путь резания от начала опыта L , км	0,462	0,917	1,365	1,807
Весовой износ резца от начала опыта ΔM , мг	103	188	269	355
Относительный износ $U_{\text{о}}$, мм ³ /км	16,07	14,78	14,21	14,16

с добавкой SiC превышает износостойкость сверхтвердого КМ на основе КНБ в 1,5–2 раза, композита 02 — в 1,3–1,8 раза, а твердого сплава ВК-8 — в 5–7 раз. Износостойкость КМ на основе импактных алмазов с добавкой КНБ превышает износостойкость СТКМ на основе КНБ

в 3–4 раза, композита 02 — в 2–3 раза, а твердого сплава ВК-8 — в 8–10 раз.

2. При обработке заготовки из сплава алюминиевого литейного марки АК-7 износостойкость КМ на основе импактных алмазов с добавкой SiC превышает износостойкость СТКМ на основе КНБ



b

Рисунок 5 — Результаты испытаний металлообрабатывающих инструментов по критерию площадки износа: *a* — обработка алюминиевого сплава АК-7; *b* — обработка латуни ЛС 59-1
Figure 5 — Results of tests of metalworking tools according to the criterion of wear area: *a* — АК-7 aluminum alloy processing; *b* — LS 59-1 brass processing

в 1,5–2 раза, композита 02 — в 1,3–1,6 раза, твердого сплава ВК-8 — в 6–7 раз. Износостойкость КМ на основе импактных алмазов с добавкой КНБ превышает износостойкость сверхтвердого КМ на основе КНБ в 2–3 раза, композита 02 — в 1,5–2,5 раза, твердого сплава ВК-8 — в 9–10 раз.

3. Добавки импактного алмаза в твердый сплав в количестве 6,25 и 12,5 об.% повышают относительную износостойкость твердосплавного композита при обработке латуни и сплава алюминия

по сравнению с исходным сплавом ВК-8 на 10–15 и 20–25 % соответственно.

Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ по договору № Т23КИТГ-001.

Список литературы

1. Сверхтвердые материалы: получение и применение: моногр.: в 6 т. / под общ. ред. Н.В. Новикова. — Киев: АЛКОН, 2003. — Т. 1: Синтез алмазов и подобных материалов. — 320 с.
2. Гаршин, А.П. Режущий инструмент на основе сверхтвердых материалов / А.П. Гаршин, Т.М. Связкина. — СПб.: ХИМИЗДАТ, 2019. — 104 с.
3. Сверхтвердые материалы: процессы получения и свойства сверхтвердых материалов: практикум / Н.И. Полушин [и др.]. — М.: Издат. дом НИТУ МИСиС, 2014. — 54 с.
4. Синтез и спекание сверхтвердых материалов для производства инструмента / Н.П. Беженар [и др.]; под общ. ред. П.А. Витязя, В.З. Туркевича. — Минск: Беларус. навука, 2021. — 337 с.
5. Финишная обработка поверхностей при производстве деталей / С.А. Клименко [и др.]; под общ. ред. С.А. Чижик, М.Л. Хейфец. — Минск: Беларус. навука, 2017. — 376 с.
6. Инструменты из сверхтвердых материалов / Г.П. Богатырева [и др.]; под ред. Н.В. Новикова, С.А. Клименко. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 2014. — 608 с.
7. Витязь, П.А. Наноструктурные композиционные материалы инструментального назначения на основе кубического нитрида бора / П.А. Витязь, В.Т. Сенють, В.И. Жорник // Перспективные материалы и технологии: в 2 т. / А.В. Алифанов [и др.]; под ред. В.В. Клубовича. — Витебск: ВГТУ, 2017. — Т. 2. — С. 254–277.
8. Impact diamonds: types, properties and uses / V. Afanasiev [et al.] // Proc. of 14th Int. Congress on Applied Mineralogy (ICAM-2019), Belgorod, 24–27 Sept. 2019 / V.G. Shukhov Belgorod State Technological University. — Belgorod, 2019. — Pp. 179–182. — DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-22974-0_41.
9. Вишневский, С.А. Попигаевская астроблема / С.А. Вишневский. — Новосибирск: Гео, 2016. — 71 с.
10. Якутиты – импактные алмазы Попигаевской астроблемы / В.П. Афанасьев [и др.] // Руды и металлы. — 2019. — № 2. — С. 30–37. — DOI: <https://doi.org/10.24411/0869-5997-2019-10011>.
11. Синтез наноструктурного алмаз-лонсдейлитного 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.
12. Композиционный материал на основе наноструктурированных импактных алмазов для абразивной обработки / В.К. Шелег [и др.] // Машиностроение: респуб. межвед. сб. науч. тр. / БНТУ; редкол.: В.К. Шелег (гл. ред.) [и др.]. — Минск, 2020. — Вып. 32. — С. 71–79.
13. Influence of diamond-lonsdaleite abrasive additives on the structure and properties of reactional SiC ceramics / L.N. Dyachkova [et al.] // Diamante. Applizioni & Tecnologia. — 2021. — No. 103. — Pp. 33–41.
14. Исследование влияния состава спеченных композитов «твердый сплав ВК-8 — импактный алмаз» на их износостойкость / В.Т. Сенють [и др.] // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: С.Н. Поддубко [и др.]. — Минск, 2022. — Вып. 11. — С. 339–345.
15. Методические указания по ускоренным испытаниям инструментов из новых сверхтвердых материалов / Всесоюз. науч.-исслед. инструмент. ин-т; исполн. Я.А. Музыкант, С.У. Молодых. — М.: НИИмаш, 1979. — 12 с.
16. Голубев, А.С. Нитрид бора. Структура, свойства, получение / А.С. Голубев, А.В. Курдюмов, А.Н. Пилянкевич. — Киев: Навук. думка, 1987. — 200 с.

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

Leading Researcher of the Laboratory of Nanostructured and Superhard Materials of the R&D Center “Mechanical Engineering Technologies and Processing Equipment”¹
E-mail: vsenyut@tut.by

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

Head of the Aerospace Activities Department²
E-mail: vitiazpresidium@bas-net.by

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

Head of the Department of Technologies of Mechanical Engineering and Metallurgy of the R&D Center “Mechanical Engineering Technologies and Processing Equipment” – Head of the Laboratory of Nanostructured and Superhard Materials¹
E-mail: zhornik@inmash.bas-net.by

VALKOVICH Igor V.

Senior Researcher of the Laboratory of Nanostructured and Superhard Materials of the R&D Center “Mechanical Engineering Technologies and Processing Equipment”¹
E-mail: valigvl@rambler.ru

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

Chief Researcher of the Laboratory of Lithospheric Mantle and Diamond Deposits³
E-mail: avp-diamond@mail.ru

GRIGORIEV Igor E.

Ph. D. Student⁴
E-mail: grig_igorok@mail.ru

¹Joint Institute of Mechanical Engineering of the NAS of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

²National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

³V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of the Siberian Branch of the RAS, Novosibirsk, Russian Federation

⁴Belarusian State Technological University, Minsk, Republic of Belarus

Received 20 February 2024.

RESEARCH OF THE COMPOSITION INFLUENCE OF COMPOSITES CONTAINING IMPACT DIAMONDS ON THEIR PERFORMANCE CHARACTERISTICS IN BLADE PROCESSING OF NON-FERROUS METALS

The paper presents the results of resistance tests of tool composite materials containing nanostructured impact diamonds, in comparison with composites based on synthetic superhard materials, diamond and cubic boron nitride (cBN), and BK-8 (VK-8) (WC + 8 % Co) hard alloy, during blade processing of workpieces made of brass LC-59 (LS -59) (57–60 % Cu) and aluminum alloy AK-7 (Al 92–94 %, Si 6–8 %). Samples of composite materials for wear resistance studies were obtained by thermobaric sintering in a high-pressure apparatus. The performance of composites was assessed by the wear of the cutter back surface, as well as by a specially developed method for studying the performance characteristics of composite superhard materials, based on determining their specific productivity. As a result of the tests, it is found that composites based on impact diamonds have the highest resistance when turning non-ferrous metal alloys. In particular, the wear resistance of a composite material containing impact diamonds with the addition of cBN exceeds the wear resistance of cutters made of composite 02 (belbor) by 1.5–3 times, and that of cutters made of hard alloy VK-8 by 8–10 times. Additions of impact diamond to hard alloy in the amount of 6.25 and 12.5 vol.% increase the relative wear resistance of the hard alloy composite compared to the original VK-8 alloy by 10–15 and 20–25 %, respectively.

Keywords: blade processing, impact diamonds, hard alloy, composite materials, wear resistance

DOI: <https://doi.org/10.46864/1995-0470-2024-2-67-69-78>

References

1. *Sverkhтвердые материалы: получение и применение. Т. 1: Синтез алмазов и подобных материалов* [Superhard materials: production and application. Vol. 1: Synthesis of diamonds and similar materials]. Kiev, ALKON Publ., 2003. 320 p. (in Russ.).
2. Garshin A.P., Svyazkina T.M. *Rezhushchiy instrument na osnove sverkhтвердых материалов* [Cutting tools based on superhard materials]. Saint Petersburg, KhIMIZDAT Publ, 2019. 104 p. (in Russ.).

3. Polushin N.I., Laptev A.I., Sorokin M.N., Ovchinnikova M.S., Maslov A.L. *Sverkhтвердые материалы: процессы получения и свойства сверхтвердых материалов* [Superhard materials: production processes and properties of superhard materials]. Moscow, Izdatelskiy Dom NITU MISiS Publ., 2014. 54 p. (in Russ.).
4. Bezhenar N.P., et al. *Sintez i spekanie sverkhтвердых материалов для производства инструмента* [Synthesis and sintering of superhard materials for the production of tools]. Minsk, Belorusskaya nauka Publ., 2021. 337 p. (in Russ.).
5. Klimenko S.A., et al. *Finishnaya obrabotka poverkhnostey pri proizvodstve detaley* [Surface finishing in the production of parts]. Minsk, Belorusskaya nauka Publ., 2017. 376 p. (in Russ.).
6. Bogatyreva G.P., et al. *Instrumenty iz sverkhтвердых материалов* [Tools made of superhard materials]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2014. 608 p. (in Russ.).
7. Vityaz P.A., Senyut V.T., Zhornik V.I. Nanostrukturnye kompozitsionnye materialy instrumentalnogo naznacheniya na osnove kubicheskogo nitrida bora [Nanostructured composite materials of tool appointment based on cubic boron nitride]. *Perspektivnye materialy i tekhnologii*, 2017, vol. 2, pp. 254–277 (in Russ.).
8. Afanasiev V., Pokhilenko N., Eliseev A., Gromilov S., Ugapieva S., Senyut V. Impact diamonds: types, properties, and uses. *Proc. 14th International congress for applied mineralogy (ICAM2019)*. Belgorod, 2019, pp. 179–182. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-22974-0_41.
9. Vishnevskiy S.A. *Popigayskaya astroblema* [Popigai astrobleme]. Novosibirsk, Geo Publ., 2016. 71 p. (in Russ.).
10. Afanasiev V.P., Ugap'eva S.S., Yelisseyev A.P., Gromilov S.A., Pavlushin A.D. Yakutity – impaktnye almazy Popigayskoy astroblemy [Yakutites are impact diamonds of the Popigai astrobleme]. *Ores and metals*, 2019, no. 2, pp. 30–37. DOI: <https://doi.org/10.24411/0869-5997-2019-10011> (in Russ.).
11. Vityaz P.A., et al. Sintez nanostrukturnogoalmaz-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.).
12. Sheleg V.K., Zhornik V.I., Senyut V.T., Kovaleva S.A., Khomich N.S. Kompozitsionnyy material na osnove nanostrukturnirovannykh impaktnykh almazov dlya abrazivnoy obrabotki [Composite material based on nanostructured impact diamonds for abrasive processing]. *Mashinostroenie*, 2020, iss. 32, pp. 71–79 (in Russ.).
13. Dyachkova L.N., Ilyushchanka A.Ph., Osipov V.A., Babura D.V. Influence of diamond-lonsdaleite abrasive additives on the structure and properties of reactional SiC ceramics. *Diamante. Applizioni & tecnologia*, 2021, no. 103, pp. 33–41.
14. Senyut V.T., Vityaz P.A., Zhornik V.I., Valkovich I.V., Pinchuk T.I., Afanasiev V.P. Issledovanie sostava spechennykh kompozitov «твердый сплав VK-8 –impaktnyy almaz» na ikh iznosostoykost [Investigation of the influence of the composition of sintered composites “hard alloy BK-8 (VK-8) – impact diamond” on their wear resistance]. *Aktualnye voprosy mashinovedeniya*, 2022, iss. 11, pp. 339–345 (in Russ.).
15. Muzykant Ya.A., Molodykh S.U. *Metodicheskie ukazaniya po uskorennyim ispytaniyam instrumentov iz novykh sverkhтвердых материалов* [Guidelines for accelerated testing of tools made of new superhard materials]. Moscow, NIImash Publ., 1979. 12 p. (in Russ.).
16. Golubev A.S., Kurdyumov A.V., Pilyankevich A.N. *Nitrid bora. Struktura, svoystva, poluchenie* [Boron nitride. Structure, properties, production]. Kiev, Nauchnaya mysl Publ., 1987. 200 p. (in Russ.).