УДК 539.893.621.317.4

В.И. Лавриненко, д-р техн. наук, **Г.Д. Ильницкая,** канд. техн. наук,
В.В. Смоквина, И.Н. Зайцева
Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Украина
Тел.: +38 (044) 4675831; E-mail: izaitseva@ukr.net

ВЛИЯНИЕ ТЕРМОСТОЙКОСТИ АЛМАЗНЫХ ШЛИФПОРОШКОВ МАРКИ АС6 НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ШЛИФОВАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА

В настоящей работе было проведено исследование влияния термостойкости шлифпорошков синтетических алмазов марки АС6 зернистости 160/125, синтезированных в ростовых системах Ni–Mn–C и Fe–Si–C, на износостойкость шлифовального инструмента. Показано, скорость окисления порошков алмаза взаимосвязана с удельным расходом алмазов при выполнении операции шлифования образцов твердого сплава марки ВК8. Характер данной взаимосвязи таков, что меньший удельный расход обеспечивают порошки алмаза, синтезированные в системе Fe–Si–C, с более высоким содержанием внутрикристаллических включений и примесей за счет снижения степени графитизации зерен алмаза. Удельный расход алмазов марки АС6, синтезированных в системе Ni–Mn–C значительно выше.

Ключевые слова: *синтетические алмазы, термостойкость, внутрикристаллические включения, скорость окисления, прочность, содержание включений и примесей*

1. Введение

В инструментальном производстве широко применяются порошки синтетического алмаза марки АС6 при обработке твердого сплава, керамики, стекла и других хрупких материалов. Синтез таких алмазов, как правило, кратковремен и происходит при больших скоростях роста. Для снижения необходимых высоких параметров (р, Т) синтеза применяют сплавы-растворители углерода. При этом обычно кристалл алмаза при своем росте захватывает примеси и включения сплава-растворителя, присутствующие в реакционной камере, и которые оказывают сильное влияние на эксплуатационные характеристики порошков алмаз, прежде всего, на прочностные характеристики, какие как прочность и термостойкость [1, 2].

Под термостойкостью шлифпорошков синтетического алмаза подразумевается стойкость алмазов к окислению в инертной среде при определенной температуре. В этом случае термостойкость алмазов характеризуется или температурой начала окисления по дериватографическим кривым или величиной энергии активации, рассчитанной по уравнению Аррениуса на основании кинетических зависимостей потерь массы порошка от температуры [2, 3], а также по потери массы порошков в процессе окисления.

Процессу окисления алмазных порошков статического синтеза посвящено большое количество работ [3-5]. Окисление алмаза, как и окисление углерода, является диффузионно-кинетическим процессом, состоящим из многих единичных связанных между собой процессов, главный из которых – гетерогенная химическая реакция образования оксида и диоксида углерода.

Кроме основных факторов, характеризующих процесс диффузии, – переход продуктов окисления в окружающую среду, скорость подачи окислителя к поверхности восстановителя – значительное влияние на ход процесса оказывает также диффузия в самом материале. Скорость протекания процесса зависит от большого количества входящих факторов, главным из которых являются присутствующие в алмазах примесей и включений.

Широкие исследования и многочисленные работы по изучению процесса синтеза алмазов, в основном выполнены с применением сплавов-растворителей системы Ni–Mn. Свойства алмазных порошков, полученных при синтезе с применением растворителя углерода в виде сплава Ni–Mn, широко и разносторонне исследованы. Было установлено, что содержание примесей азота, бора и внутрикристаллических включений сплава-растворителя в шлифпорошках синтетических алмазов зависит от термодинамических параметров процесса синтеза, скорости роста кристаллов, количества центров кристаллизации, типа растворителя углерода и от других технологических факторов [6, 7]. В последние годы при синтезе алмаза марки АС6 используется сплав-растворитель Fe–Si [8].

Поэтому целью настоящей работы было исследование влияния термостойкости шлифпорошков синтетических алмазов марки АС6 на износостойкость шлифовального инструмента

2. Методика исследований и исходные материалы

Исследования проводили на шлифпорошках алмаза марки АС6 зернистости 160/125, синтезированные в системах Ni–Mn–C и Fe–Si–C. Алмазы разделяли в магнитном поле разной напряженности на магнитные фракции, различающиеся между собой по величине удельной магнитной восприимчивости. В полученных порошках определяли прочность (Р, Н) по разрушающей нагрузке при статическом сжатии зерен [9]. Измерения магнитной восприимчивости ($\chi\cdot 10^{-8}$ м^3/кг) производили по методике, разработанной в ИСМ НАН Украины [10]. С помощью растровой электронной микроскопии (РЭМ) проводили оценку содержания в алмазах с различной магнитной восприимчивостью примесей и включений [11]. Методом комплексного дифференциального термического анализа были проведены исследования процесса окисления в воздушной среде шлифпорошков синтетического алмаза марки АС6 зернистости 160/125. Порошки алмазы с разным содержанием включений и разной термостойкостью использовали для изготовления шлифовальных кругов. В процессе испытания этих кругов по методикам [12] были исследованы эксплуатационные показатели работоспособности в виде удельного (q_v) расхода алмазов. При этом удельный расход алмазов выступал критерием износостойкости кругов.

3. Результаты экспериментов и их обсуждение

Алмазы, синтезированные в системах Ni–Mn–C и Fe–Si–C, были разделены в магнитном поле разной напряженности на четыре фракции, отличающиеся между собой по величине удельной магнитной восприимчивости. Из алмазов этих фракций были изготовлены образцы № 1, № 2, № 3 и № 4. Результаты измерений удельной магнитной восприимчивости всех образцов и расчетов значений удельной магнитной восприимчивости внутрикристаллических включений для образцов № 1 и № 4 представлены в таблице 1.

Как следует из табл. 1, алмазы, синтезированные в системах Ni–Mn–C и Fe–Si–C, различаются между собой по магнитным свойствам. Алмазы образцов № 1 и № 4 обеих систем отличаются по величине удельной магнитной восприимчивости примерно в 10 раз.

Таблица 1. Характеристики магнитных свойств алмазов зернистости 160/125, синтезированных в системе Ni–Mn–C и Fe–Si–C

Ростовая система	Наименование фракций разделения	Номер образца	Удельная магнитная восприимчивость, χ, х10^{-8}, $м^3$/кг	Прочность, P, H
Ni–Mn–C	1 - магнитная	№ 1	90,3	7,2
	2 - магнитная	№ 2	60,5	–
	3 - магнитная	№ 3	22,1	–
	немагнитная	№ 4	8,8	6,1
	исходный		18,6	5,8
Fe–Si–C	1 - магнитная	№ 1	1327,0	12,7
	2 - магнитная	№ 2	871,0	–
	3 - магнитная	№ 3	425,0	–
	немагнитная	№ 4	132,0	6,0
	исходный		462	6,9

Анализ данных (табл.1) показывает, что прочность алмазов образцов № 1 обеих систем выше по сравнению с прочностью образцов № 4. Так, прочность алмазов, полученных в системе Ni–Mn–C, (образец № 1) в 1,2 раза выше по сравнению с прочностью образца № 4. Прочность алмазов, синтезированных в системе Fe–Si–C, образца № 1 увеличивается в 2,1 раза по сравнению с прочностью образца № 4.

С помощью растровой электронной микроскопии (РЭМ) выполнили оценку содержания примесей и включений и их элементный состав в алмазах образцов № 1 - № 4, синтезированных в обеих ростовых системах. Результаты представлены в таблицах 2.

Таблица 2. Общий и элементный состав примесей и внутрикристаллических включений в порошках алмаза зернистости 160/125, синтезированных в системе Ni–Mn–C и Fe–Si–C (при содержании Si в сплаве 7 %)

Ростовая система	Номер образца	Общее содержание примесей и включений, масс. %	Элементный состав примесей и включений в алмазе, масс.%	
			всего	сплава-растворителя
Ni–Mn–C	№ 1	3,631	3,427	3,337
	№ 2	3,102	2,870	2,806
	№ 3	2,643	2,643	2,340
	№ 4	2,014	2,014	1,569
Fe–Si–C	№ 1	7,360	6,866	6,828
	№ 2	2,864	2,513	2,470
	№ 3	2,356	2,074	2,007
	№ 4	2,129	1,794	1,733

Из таблиц 2, 3 следует, что элементы сплава-растворителя во включениях преобладают и составляют 77,9–84,0 % от общего количества имеющихся включений в порошках алмаза образцах № 4, а в образцах № 1 несколько выше и составляют 94,5–93,1 % для алмазов обеих ростовых систем.

Проведенными экспериментами установлено, что содержание элементов сплава-растворителя во включениях и примесях: Ni и Mn для алмазов, синтезированных в системе Ni–Mn–C и Fe для алмазов, полученных в системе Fe–Si–C, образцов № 1, больше чем в образцах № 4. Это обеспечивается разделением зерен алмаза в магнитном поле по содержанию в алмазе внутрикристаллических включений элементов сплава-растворителя.

Алмазные шлифпорошки исходные и после разделения в магнитном поле с разным содержанием внутрикристаллических включений и примесей образцы № 1 и № 4 обеих ростовых систем подвергались окислению в воздушной среде. Результаты дериватографических исследований представлены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты дериватографических исследований алмазов марки АС6 зернистости 160/125, синтезированных в системах Ni–Mn–C и Fe–Si–C

№ образца	Температура начала окисления, °С	Эндо-эффекты, °С	Экзо-эффекты, °С
Ni-Mn-C			
№1	780	530	-
№4	820	510	420
Исходный	800	590	-
Fe–Si–C			
№1	910	570	-
№4	950	590	-
Исходный	930	540	410

В таблице 3 приведены температуры начала окисления алмазов, и температуры, при которых появляются эндо- и экзо-эффекты для алмазов, синтезированных в системах Ni–Mn–C и Fe–Si–C. Из таблицы 3 следует, что для алмазных шлифпорошков, синтезированных в системе Fe–Si–C, температуры начало окисления выше, чем для порошков, синтезированных в системе Ni–Mn–C. Для алмазов обеих ростовых систем характерно, наличие эндо-эффектов. Это свидетельствует о том, что эндо-эффект связан с затратой энергии на сложный процесс начала окисления, включающий в себя такие этапы, как адсорбция кислорода, графитизация, образование монооксида углерода и десорбция его с поверхности. Экзо-эффекты могут, по-видимому, могут быть связаны с образованием двуоксида углерода.

Показано, что процесс термоокисленния алмазных шлифпорошков кислородом воздуха имеет диффузионно-кинетический механизм с каталитической составляющей. Влияние каталитического эффекта металлических включений оказывает влияние на образование монооксида углерода и окисление его двуоксид углерода. Включения сплава-растворителя железа и в окислительной редакции активнее, чем включения сплава никель-марганец - оксиды никеля отсюда и начало реакции окисления у них ниже.

Потеря массы алмазов марки АС6 зернистости 160/125 обеих ростовых систем показана на рис.1 (для алмазов, синтезированных в системе Ni-Mn-C) и рис. 2 (для алмазов, синтезированных в системе Fe-Si–C).

Как следует из рис. 1 кривые потери массы алмазов, синтезированных в системе Ni–Mn–C: исходных и с большим содержанием внутрикристаллических включений и примесей (образец № 1) и с меньшим содержанием внутрикристаллических включений и примесей (образец № 4) имеют одинаковую форму и близки между собой. Максимальная потеря массы алмазов составляет 10, 11 масс. %.

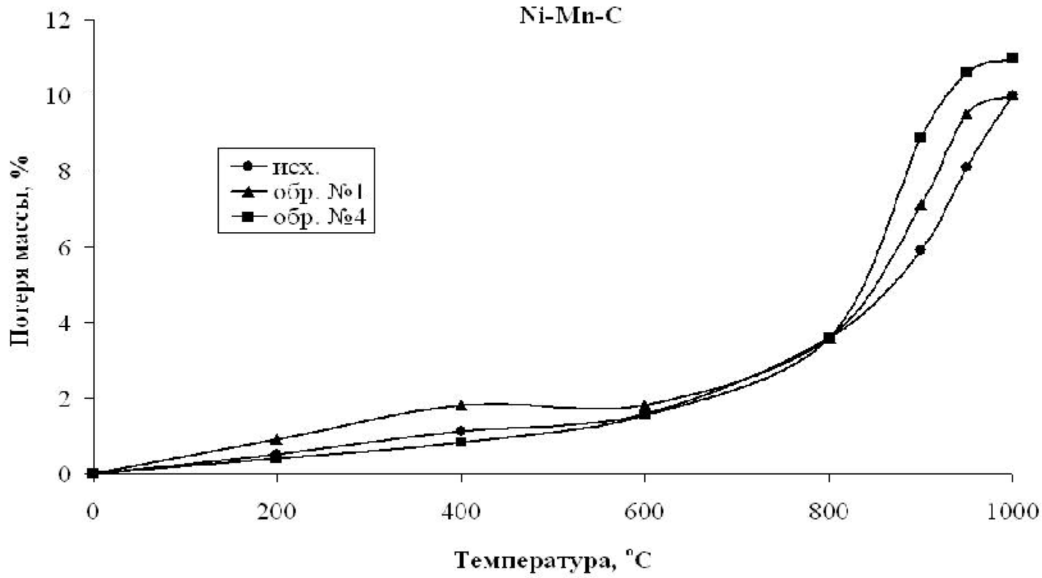

Рис. 1. Потеря массы алмазов марки АС6 зернистости 160/125, синтезированных в системе Ni–Mn–C

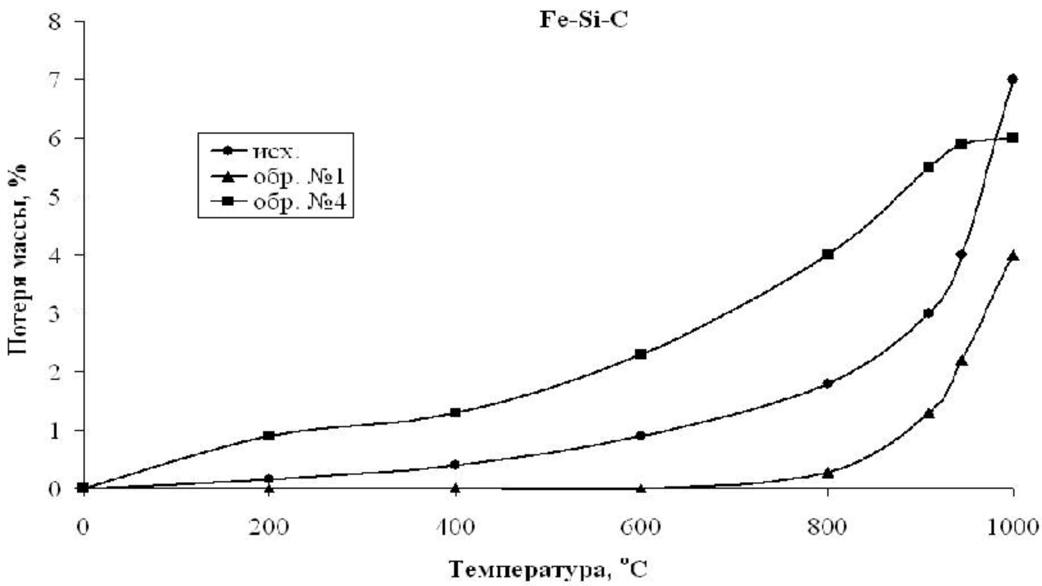

Рис. 2. Потеря массы алмазов марки АС6 зернистости 160/125, синтезированных в системе Fe–Si–C

На рис. 2 показано изменение потери массы алмазов, синтезированных в системе Fe–Si–C: исходных и с большим содержанием внутрикристаллических включений и примесей (образец № 1), и с меньшим содержанием внутрикристаллических включений и примесей (образец № 4). Для алмазов с большим содержанием внутрикристаллических включений и примесей (образец № 4) скорость окисления меньше, а общие потери при окислении составили 4 мг.

Таким образом, показано, что скорость окисления порошков алмазов, синтезированных в системе Fe–Si–C, с большим содержанием внутрикристаллических включений и примесей (образец № 1) в сравнении с порошками алмаза с меньшим содержанием внутрикристаллических включений и примесей (образец № 4) возрастает в 1,2–1,5 раз. Как следует из выше приведенных данных, термостойкость к окислению на воздухе алмазных порошков зависит от концентрации в них металлических примесей. Чем выше количество металлических примесей содержится в алмазных порошках, синтезированных в системе Fe–Si–C, тем термостойкость к окислению выше. Процесс термоокисленния алмазных шлифпорошков кислородом воздуха имеет диффузионно-кинетический механизм с каталитической составляющей. Влияние каталитического эффекта металлических включений оказывает влияние на образование монооксида углерода и окисление его в диоксид углерода.

Порошки алмаза марки АС6 зернистости 160/125, синтезированные в обеих системах, (образцы № 1 и № 4), полученные после разделения в магнитном поле разной напряженности, с различной термостойкостью, были использованы для изготовления экспериментальных шлифовальных кругов на металлической связке марки М1-10 формы 12А2-45° 100х5х3х32. Испытания этих кругов проводились на базе модернизированного универсального заточного станка модели 3В642 при шлифовании образцов твердого сплава марки ВК8 размером 63х15х7. Производительность обработки была 200 мм^3/мин. Исследовались износостойкость экспериментальных кругов по удельному (q_v) расходу алмазов.

Изменение удельного расхода алмазов (q_v) для образцов № 1 и № 4, синтезированных в системах Ni–Mn–C и Fe–Si–C показано в таблице 4.

Таблица 4. Механические и эксплуатационные характеристики образцов алмаза зернистости 160/125, синтезированные в системах Ni–Mn–C и Fe–Si–C

Ростовая система	Номер образца	Прочность, P, Н	Потеря массы алмазов, масс. %	Удельный расход алмазов, Q, мг/г
Ni–Mn–C	№ 1	7,2	11	2,25
	№ 4	6,1	10	2,33
	Исходный	5,8	10	
Fe–Si–C	№ 1	12,7	4	1,1
	№ 4	6,0	7	1,4
	Исходный	6,9	6	

Как видно из табл.4, удельный расход алмазов марки АС6, синтезированных в системе Fe–Si–C образца № 1 при обработке твердого сплава марки ВК8 приблизительно на 25 % ниже по сравнению с удельным расходом алмазов АС6 образца № 4. Удельный расход алмазов марки АС6, синтезированных в системе Ni–Mn–C значительно выше. Так, удельный расход образца № 1 при обработке твердого сплава марки ВК8 составляет q_v = 2,25 мг/г, а образца № 4 q_v = 2,33 мг/г. Если связать этот факт со скоростью окисления порошков алмаза, то можно констатировать, что эти характеристики взаимосвязаны с удельным расходом алмазов. Характер данной взаимосвязи таков, что меньший удельный расход обеспечивают порошки алмаза, синтезированные в системе Fe–Si–C, с более высоким содержанием внутрикристаллическим содержанием включений и примесей за счет снижения степени графитизации зерен алмаза. Все это приводит к снижению потерь алмазов при обработке образцов твердого сплава ВК8 и, как следствие, способствует повышению износостойкости инструмента.

4. Выводы

Установлено, что для порошков алмаза, синтезированных в системе Fe–Si–C, температуры начало окисления выше, чем для порошков, синтезированных в системе Ni–Mn–C. Для алмазов обеих ростовых систем характерно, наличие эндо-эффектов.

Показано, что скорость окисления порошков алмаза взаимосвязана с удельным расходом алмазов. Характер данной взаимосвязи таков, что меньший удельный расход обеспечивают порошки алмаза, синтезированные в системе Fe–Si–C, с более высоким содержанием внутрикристаллическим содержанием включений и примесей за счет снижения степени графитизации зерен алмаза. Удельный расход алмазов марки АС6, синтезированных в системе Ni–Mn–C значительно выше.

Показано для алмазов обеих систем, что элементы сплава-растворителя во включениях преобладают и составляют 77,9–84,0 % от общего количества имеющихся включений в порошках алмаза немагнитной фракции, а в магнитной фракции несколько выше и составляют 94,5–93,1 %.

Список литературы

1. Богатырева Г.П., Маевский В.М., Ильницкая Г.Д. и др. Примеси и включения в порошках синтетических алмазов марок АС4 и АС6 // Сверхтвердые материалы. – 2006. - №4. – С. 62–69. ISBN 0203-3119.

2. Физические свойства алмаза. Справочник. – Киев: Наукова думка, 1987. – С. 85–89.

3. Богатырева Г.П., Ильницкая Г.Д., Маринич М.А., Невструев Г.Ф., Ткач В.Н., Цапюк Г.Г., Панова А.Н. Влияние физико-химических воздействий на процесс окисления низкопрочных алмазних шлифпорошков. Международный сборник научных трудов. Синтез, спекание и свойства сверхтвердых материалов / Ин-т сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины; редкол.: Н.В. Новиков (гл. ред.) и др. – К.: Логос. 2010. – С. 35–40. ISBN 978-966-171-256-9.

4. Богатырева Г.П., Ильницкая Г.Д., Маринич М.А., Билоченко В.А., Исонкин А.М., Лещенко О.В., Барановская Е.А.. Влияние дисперсности алмазов, синтезированных в разных ростовых системах, на процесс их газофазного окисления. Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів» у 2-х т. / Спецвипуск журналу «Фізико-хімічна механіка матеріалів». – №8. – Львів: Фізико-механічний інститут ім. В.Г. Карпенка НАН України, 2010. – №1. – Т. 1. - 418 с. - С. 168–172. ISBN 0430-6252.

5. Руденко А.П., Кулакова И. И., Скворцова В. Л. и др. Влияние катализатопров на взаимодействие алмазов с газовыми и жидкими средами // Взаимодействие алмазов с газовыми и жидкими средами. – Киев, 1984. – С. 58–74.

6. Шульженко А. А., Соколов А.Н., Гаргин В.Г., Ткач В.Н., Лошак М.Г., Александрова Л.И. Влияние условий кристаллизации алмаза в системе карбид бора – углеродсодержащее вещество на содержание в нем примеси бора. В кн. Углерод: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, технология. Москва, город Троицк. – 2012. – С. 458–462.

7. Подзярей Г.А.. Начальная Т.Н., Шульженко А.А. и др. В кн. Физико-химические проблемы синтеза сверхтвердых материалов. Киев: ИСМ АН УССР. 1978. С. 23–26.

8. Боримский А.И., Делеви В.Г., Нагорный П.А. Кинетика образования и роста алмазов в системе Fe-Si-C // Сверхтвердые материалы. – 1999. - № 3. – С. 9–14. ISBN 0203-3119

9. ДСТУ 3292-95. Порошки алмазные синтетические. Общие технические условия. – Взамен ГОСТ 9206-80; Введ. 01.01.97. – К.: Госстандарт Украины, 1996. – 69 с.

10. М88 Украины 90.256–2004. Методика определения удельной магнитной восприимчивости порошков сверхтвердых материалов (СТМ). – ИСМ НАН Украины, 2004. – 9 с.

11. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ. – М.: Мир, 1984. – Т. 1. – 303 с.

12. Шепелев А.А., Дуброва А.Е. Оцінка експлуатаційних показників якості шліфувальних кругів із надтвердих матеріалів // Сучасні процеси механічної обробки інструментами із НТМ та якість поверхні деталей машин. – К., 2006. – С. 89–96.

V.I. Lavrinenko, G.D. Ilnitskaya, V.V. Smokvina, I.N. Zaitseva

INFLUENCE OF THERMOSTABILITY DIAMOND GRINDING MARKS AC6 ON WEAR RESISTANCE OF THE GRINDING TOOL

In the present work research of influence of thermostability grinding synthetic diamonds of mark AC6 of the grain 160/125, synthesized in systems Ni–Mn–C and Fe–Si–C, tool has been lead on wear resistance of the grinding. It is shown; speed of oxidation of powders of diamond is interconnected to the specific charge of diamonds at performance of operation of grinding of samples of a firm alloy of mark BK8. Character of the given interrelation is those, that the smaller specific charge is provided with the powders of diamond synthesized in system Fe–Si–C, with higher contents the intracrystal contents of inclusions and impurity due to decrease of a degree graphitization grains of diamond. The specific charge of diamonds of mark AC6 synthesized in system Ni–Mn–C is much higher.

Key words: *synthetic diamonds, thermostability, intracrystal inclusions, speed of oxidation, strength, the contents of inclusions and impurity.*

В.І. Лавріненко, Г.Д. Ільницька, В.В. Смоквина, І.М. Зайцева

ВПЛИВ ТЕРМОСТІЙКОСТІ АЛМАЗНИХ ШЛІФПОРОШКІВ МАРКИ АС6 НА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ШЛІФУВАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

У даній роботі було проведено дослідження впливу термостійкості шліфпорошків синтетичних алмазів марки АС6 зернистості 160/125, синтезованих у ростових системах Ni–Mn–C і Fe–Si–C, на зносостійкість шліфувального інструменту. Показано, що швидкість окислення порошків алмазу взаємопов'язана з питомою витратою алмазів при виконанні операції шліфування зразків твердого сплаву марки ВК8. Характер даного взаємозв'язку такий, що менша питома витрата забезпечують порошки алмазу, синтезовані в системі Fe–Si–C, з вищим вмістом внутрішньокристалічних включень і домішок за рахунок зниження ступеня графітизації зерен алмазу. Питома витрата алмазів марки АС6, синтезованих в системі Ni–Mn–C значно вище.

Ключеві слова: *синтетичні алмази, термостійкість, внутрішньокристалічні включення, швидкість окислення, міцність, вміст включень і домішок.*

Надійшла до редколегії 20.05.2013 р.