

УДК 621.921.34-2:622.24.05

Н. В. Новиков, акад. НАН Украины; **Г. Д. Ильницкая**, канд. техн. наук;
И. Н. Зайцева; **Н. А. Бондаренко**, д-р.техн.наук.; **А. И. Игнатуша**, канд. техн. наук;
В. Н. Ткач, д-р физ.-мат. наук; **А. М. Исонкин**, канд. техн. наук;
Ю. П. Ущাপовский, **Г. С. Грищенко**

*Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины,
г. Киев, Украина*

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗДЕЛЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНЫХ ШЛИФПОРОШКОВ СИНТЕТИЧЕСКИХ АЛМАЗОВ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ БУРОВОГО ИНСТРУМЕНТА

Приведены результаты исследования влияния термической обработки алмазов на их физико-механические характеристики и износостойкость бурового инструмента. Показано, что термическая обработка алмазов, синтезированных в ростовых системах Fe–Co–C и Fe–Ni–C, при температуре 0,6 температуры плавления сплава-растворителя влияет на прочность шлифпорошков алмазов. Установлено, что нанесение ферромагнитных частиц на дефектные участки поверхности зерен алмазов, синтезированных в системе Fe–Co–C, немагнитной фракции после их термической обработки повышает селективность их разделения, увеличивая выход высокопрочных шлифпорошков более чем на 25 %, что способствует повышению однородности порошков алмазов по прочности. При оснащении бурового инструмента алмазами, предварительно подвергнутыми термической обработке в инертной среде при температуре 0,6 температуры плавления сплава-растворителя 800 °C, его интенсивность изнашивания снижается до 20 %.

Ключевые слова: термическая обработка, буровой инструмент, внутрикристаллические примеси и включения, интенсивность изнашивания, прочность.

Введение

Во многих отраслях промышленности широкое распространение нашли синтетические алмазы и инструменты из них, ставшие важным фактором научно-технического прогресса в этих отраслях. Однако возможности экстенсивного роста применения алмазов в промышленности в настоящее время практически исчерпаны, необходимо резкое повышение эффективности их использования.

Известно, что работоспособность любого алмазосодержащего инструмента в значительной мере определяется свойствами алмазов. Свойства алмазных порошков, в свою очередь, обуславливаются технологиями синтеза, извлечения, обработки, классификации по размерам и форме, сортировки по физико-химическим свойствам, модифицирования поверхности, обеспечивающим получение порошков с заданными свойствами. Развитие прогрессивных технологий применения породоразрушающего и металлообрабатывающего инструмента требует применения для его оснащения алмазных порошков с контролируемыми прочностными и геометрическими характеристиками качества [1; 2].

В процессе бурения прилагаемая к алмазной коронке осевая нагрузка перераспределяется на рабочем торце между наиболее выступающими алмазами. Уменьшить усилия на алмазы можно при обеспечении равных высот их выступания из тела матрицы за счет применения алмазов, однородных по прочностным характеристикам и линейным размерам зерен [3].

Для изготовления высокоэффективного бурового инструмента необходимо использовать термически прочные зерна шлифпорошков алмаза, так как при нагреве синтетических алмазов до

температуры 900°С и выше имеет место образование микротрещин зерен алмаза. На стадии изготовления инструмента это существенно снижает технико-экономическую эффективность его использования. Термическая прочность зерен алмазов, тесно связана с их термостабильностью и с содержанием внутрикристаллических включений и примесей в кристаллах алмаза [4]. Обычно шлифпорошки синтетических алмазов даже высокого качества содержат дефектные кристаллы. Специфические особенности синтетических алмазов определяются главным образом скоростью роста кристаллов алмаза во время их синтеза, что влияет не только на внешнюю, но и внутреннюю морфологию кристаллов, в которых содержание металлических включений в виде объемных дефектов может достигать нескольких весовых процентов [5]. Объемные дефекты в основном связаны с содержанием в кристалле алмаза включений сплава-растворителя и поэтому количественно тесно связаны с физико-механическими характеристиками [6].

В этой связи для повышения эффективности работы бурового инструмента необходимо использование для его изготовления алмазных шлифпорошков, однородных по прочностным и геометрическим характеристикам, полученных в процессе их разделения. Поэтому улучшение качества шлифпорошков алмаза за счет их эффективного разделения является актуальной задачей.

Цель настоящей работы – оценка возможности повышения износостойкости бурового инструмента путем использования методов получения порошков синтетических алмазов, синтезированных в разных ростовых системах, с высокой степенью однородности по прочностным и геометрическим характеристикам.

Методика эксперимента

Для исследования выбрали алмазные шлифпорошки зернистостью 400/315 разных марок, синтезированные в системах Fe–Co–C и Fe–Ni–C. Порошки алмазов разделяли по содержанию в них металлических примесей и внутрикристаллических включений, а также дефектности поверхности, затем для снятия внутренних напряжений в кристаллах алмаза подвергали термической обработке [7]. Термическую обработку проводили в инертной среде в течение 15 мин при температуре не более 0,6 температуры плавления сплава-растворителя, используемого при синтезе алмазов.

Содержание и элементный состав включений в образцах алмаза измеряли рентгенофлуоресцентным интегральным анализом с использованием растрового электронного микроскопа «BS-340» и энергодисперсного анализатора рентгеновских спектров «Link-860» [8]. Магнитные свойства порошков алмаза в образцах оценивали по удельной магнитной восприимчивости [9]. Определяли механические характеристики порошков: статическую прочность до температурной обработки (P , Н) и после нее $P_{т.о.}$, Н) [10; 11], а также термостабильность ($K_{тс}$, %) [12]. Кроме того, определялись дефектность поверхности алмазных порошков по коэффициенту дефектности поверхности K_a , % [13], коэффициенты однородности по прочности $K_{одн.пр.}$ [14] и по линейным размерам ($K_{одн.л.р.}$).

Кроме того, определялся состав алмазных порошков по прочности и линейным размерам единичных зерен и рассчитывали коэффициенты однородности по прочности $K_{одн.пр.}$ и линейным размерам $K_{одн.л.р.}$ [9; 10]. В порошках по [7] определяли средний размер $d_{ср}$, коэффициент формы зерен K_f и определяли содержание основной фракции.

Шлифпорошки алмаза исходные и после их сортировки с предварительной высокотемпературной обработкой использовали для изготовления буровых коронок. Эксплуатационные характеристики алмазного бурового инструмента при лабораторных испытаниях определяли по разработанным критериям оценки при бурении горных пород [15].

Результаты исследования и их обсуждение

У изготовленных для исследования образцов алмазов (1, 2 и 3), синтезированных в системах Fe–Co–C и Fe–Ni–C, определяли также общий и элементный состав внутрикристаллических

примесей и включений, удельную магнитную восприимчивость χ , прочность P , (Н). Результаты измерений представлены в табл. 1 и 2.

Из данных табл. 1, 2 следует, что алмазы, синтезированные в системах Fe–Co–C и Fe–Ni–C, различаются содержанием внутрикристаллических примесей и включений, а также магнитными и прочностными характеристиками. При этом элементы сплава-растворителя преобладают и составляют 93,7–66,1 % общего содержания примесей и включений в порошках алмазов этих систем. Кристаллы алмазов всех систем, содержащих меньше внутрикристаллических примесей и включений, более прочные.

Таблица 1. Элементный состав внутрикристаллических примесей и включений в алмазных шлифпорошках различных ростовых систем

Но- мер образ- ца	Элементный состав, масс. %									Общее содержание включений, масс. %
	Si	Ca	Ti	Cr	Fe	Co	Ni	Mn	Cu	
Fe–Co–C										
1	–	0,002	–	0,014	0,253	0,211	0,010	–	0,005	0,495
2		0,005	0,008	0,052	0,297	0,243	0,031	–	0,007	0,643
3	0,008	0,014	0,019	0,086	0,368	0,347	0,043	–	0,008	0,893
Fe–Ni–C										
1	–	0,010	–	–	0,154	0,012	0,117	0,003	0,025	0,321
2	–	0,028	–	–	0,210	0,037	0,129	0,006	0,039	0,449
3	–	0,046	0,016	0,065	0,292	0,051	0,182	0,010	0,055	0,717

Таблица 2. Физико-механические характеристики алмазов, синтезированных в различных ростовых системах

Номер образца	Удельная магнитная восприимчивость $\chi \cdot 10^{-8}$, м ³ /кг	Статическая прочность P, Н	Содержание примесей и включений		
			сплава-растворителя		общее, масс. %
			масс. %	% в примеси	
Fe–Co–C					
1	39,5	230,0	0,464	93,7	0,495
2	61,2	179,0	0,540	84,0	0,643
3	89,6	140,0	0,715	80,1	0,893
Fe–Ni–C					
1	3,2	414,2	0,271	84,4	0,321
2	10,2	358,0	0,339	75,5	0,449
3	24,7	305,5	0,474	66,1	0,717

Алмазы образцов (1, 2 и 3), синтезированные в системах Fe–Co–C и Fe–Ni–C с различным содержанием внутрикристаллических примесей и включений, подвергали термической обработке в инертной среде при температуре 0,6 от температуры плавления сплава-растворителя. Температура плавления сплава Fe–Co от 1300 °C до 1500 °C в зависимости от количественного содержания входящих элементов. Температура в данном конкретном примере $T_{пл}=1400$ °C, поэтому температура термообработки алмазов $T_{т.о.}=840 \pm 10$ °C. Температура плавления сплава Fe–Ni от 1300 °C до 1400 °C в зависимости от количественного содержания входящих элементов. Температура в данном конкретном примере $T_{пл}=1350$ °C, поэтому температура термообработки алмазов $T_{т.о.}=810 \pm 10$ °C. У

всех образцов алмазов различных систем после термической обработки определяли статическую прочность и термостабильность ($K_{тс}$, %) [12]. Результаты экспериментов приведены в табл. 3.

Как следует из данных табл. 2 и 3, после термической обработки в алмазах образцов 3 обеих исследуемых систем с более высоким содержанием внутрикристаллических примесей и включений снижается прочность кристаллов алмазов. В алмазах образцов 1 и 2 с меньшим содержанием внутрикристаллических примесей и включений за счет снижения внутреннего напряжения незначительно повышается прочность кристаллов алмазов (не более 7,5 %). Графически изменения прочности алмазов, синтезированных в системах Fe–Co–C и Fe–Ni–C от содержания в них внутрикристаллических включений и примесей представлена на рис. 1, 2.

Таблица 3. Изменение прочностных характеристик алмазов, синтезированных в различных ростовых системах, при термической обработке при разных температурах

Номер образца	Статическая прочность алмазов P , Н		Коэффициент термостабильности, $K_{тс}$, %
	до термообработки P , Н	после термообработки $P_{т.о.}$, Н	
Fe–Co–C			
1	230,0	247,9	95
2	179,0	187,2	80
3	140,0	115,8	62
Fe–Ni–C			
1	414,2	441,1	97
2	358,0	361,6	84
3	305,5	301,3	65

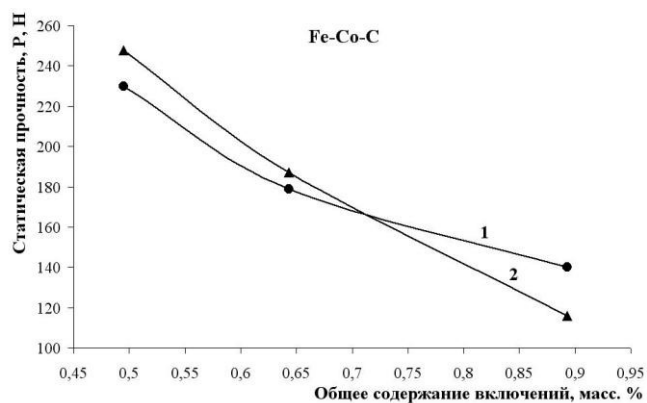


Рис. 1. Зависимость прочности алмазов, синтезированных в системе Fe–Co–C от содержания в них внутрикристаллических включений и примесей: 1 – до термообработки, 2 – после термообработки

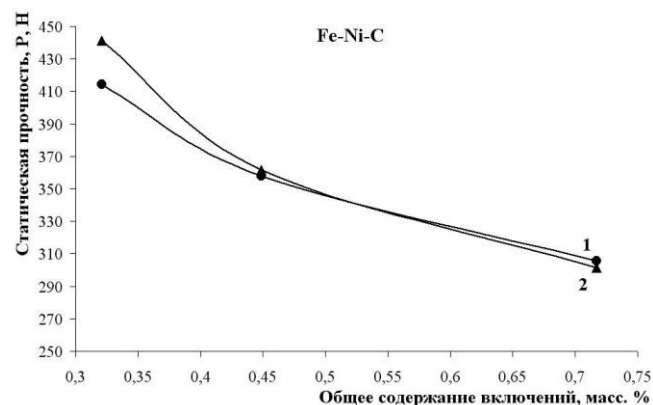


Рис. 2. Зависимость прочности алмазов, синтезированных в системе Fe–Ni–C от содержания в них внутрикристаллических включений и примесей: 1 – до термообработки, 2 – после термообработки

Термостабильность алмазов всех исследуемых систем, представленная в виде коэффициента термостабильности, с увеличением содержания в кристаллах алмазов внутрикристаллических примесей и включений снижается.

Таким образом, предварительная термическая обработка алмазов в инертной среде при температуре до 800 °С нормализует внутреннее напряжение и незначительно способствует повышению прочности кристаллов алмазов, синтезированных в ростовых системах Fe–Co–C и Fe–Ni–C.

Алмазы немагнитной фракции (продукт разделения № 1, таблица 1), синтезированные в системе Fe–Co–C исходные и после термической обработки подвергались адгезионно-магнитной сортировке. На дефектные участки зерен алмазов наносили ферромагнитные частицы с размерами не более 1000 нм, что обеспечило разделение зерен в магнитном поле на группы с разной степенью дефектности поверхности и прочности. В полученных после разделения порошках алмаза определяли выход порошков, дефектность их поверхности (K_a), измеряли прочность (P , Н), однородность по прочности $K_{одн.пр.}$. Результаты разделений представлены в таблицах: исходных порошков (табл. 4), предварительно термообработанных (табл. 5).

Таблица 4. Результаты адгезионно-магнитной сортировки алмазов немагнитной фракции, синтезированные в системе Fe–Co–C

№ продукта разделения	Выход, %	K_a , %	P , Н	$K_{одн.пр.}$, %	Марка*
1	8,4	0,11	305,7	57,1	АС200
2	25,2	0,25	280,1	59,2	АС160
3	47,3	0,47	211,6	57,3	АС160
4	19,1	0,61	195,6	45,4	АС160
Исходный	100	–	230,0	52,2	АС160

Таблица 5. Результаты адгезионно-магнитной сортировки алмазов немагнитной фракции предварительно термообработанных, синтезированные в системе Fe–Co–C

№ продукта разделения	Выход, %	K_a , %	P , Н	$K_{одн.пр.}$, %	Марка*
1	10,5	0,10	334,7	79,3	АС200
2	27,5	0,23	311,8	75,4	АС200
3	40,4	0,56	251,1	69,4	АС160
4	21,6	0,78	200,8	60,5	АС125
Исходный	100,0	-	247,9	52,2	АС160

*марку порошков алмаза определяли по ДСТУ 3292-95 «Порошки алмазные синтетические. Общие технические условия ТУ У 28.5–05417377–072–2003 «Шлифпорошки синтетических алмазов марок АС200, АС250, АС300, АС350, АС400»

Как следует из таблиц 4 и 5, нанесение на дефектные участки поверхности зерен алмазов немагнитной фракции после их термической обработки, синтезированных в системе Fe–Co–C, ферромагнитных частиц повышает эффективность разделения порошков алмаза по дефектности их поверхности. При этом, K_a термообработанных порошков алмаза после сортировки изменяется от 0,10 % до 0,78 %, а исходных порошков без термической обработки от 0,11 % до 0,61 %. Благодаря усилению селективности разделения, увеличивается выход порошков алмаза с высокой прочностью (продукты немагнитной фракции после их термической обработки № 1 и № 2), а выход алмазов с низкой прочностью уменьшается, что способствует повышению однородности порошков алмазов по прочности по сравнению с разделением порошков алмазов немагнитной фракции без термической обработки.

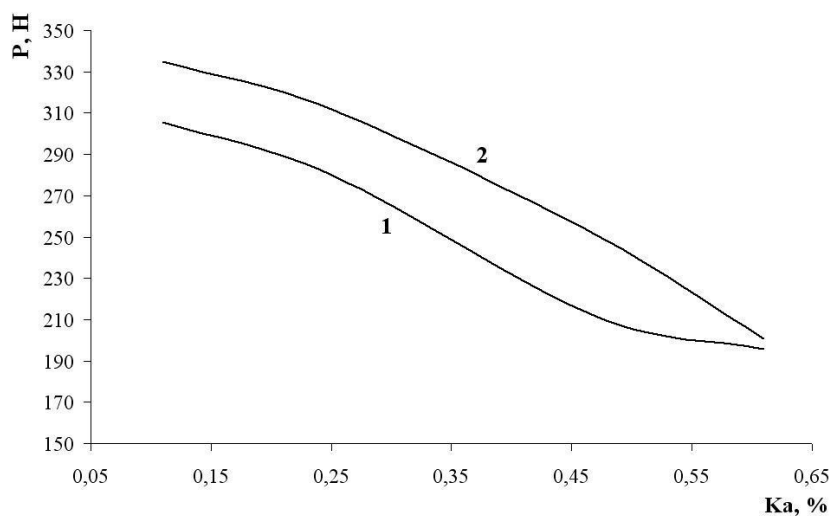


Рис. 3. Изменение прочности алмазов, синтезированных в системе Fe-Co-C, немагнитной фракции до (1) и после термической обработки (2) в зависимости от изменения их дефектности поверхности

На рис. 3 графически показано изменение прочности алмазов, синтезированных в системе Fe-Co-C, немагнитной фракции до (1) и после термической обработки (2) в зависимости от изменения их дефектности поверхности.

Порошки алмазов марок АС200-АС125 (табл. 5) для выделения однородных порошков по линейным размерам узкой зернистости 400/355 дополнительно классифицировали на ситах ряда R-20. После классификации определяли геометрические характеристики порошков: средний размер зерна $d_{ср}$, коэффициент формы зерен $K_{ф}$, содержание узкой

фракции 400/355 [10] и коэффициент однородности по линейным размерам $K_{одн.л.р.}$ (табл. 6).

Таблица 6. Геометрические характеристики порошков алмаза зернистостью 400/355

Номер продукта разделения	$d_{ср}$, мкм	$K_{ф}$, усл.ед.	Содержание основной фракции 400/355, %	$K_{одн.л.р.}$, %	Марка порошка*
1	374	1,11	95	77	АС200-Э
2	378	1,15	85	75	АС200-Э
3	381	1,25	83	75	АС160-Э
4	373	1,35	79	70	АС125
Исходный	373	1,24	71	34	АС160

*марку порошков алмаза определяли по ТУ У 26.8-05417377-221-2010 «Шлифпорошки из синтетических алмазов элитные для бурового и камнеобрабатывающего инструмента»

Как видно из данных табл. 6, дополнительная классификация по размерам и выделение узкой фракции 400/355 обеспечили повышение содержания основной фракции порошков алмазов марок АС200 и АС125 на 24÷8 % и увеличение коэффициента однородности по линейным размерам этих порошков приблизительно в 2 раза по сравнению с исходным порошком марки АС160. Шлифпорошки алмазов марок АС200 и АС160 с высокими коэффициентами однородности по прочности ($K_{одн.пр.}$) и линейным размерам $K_{одн.л.р.}$ можно отнести к элитным маркам.

Из исходных порошков алмазов и алмазов после термической обработки и сортировки (табл. 6), синтезируемых в системе Fe-Co-C, были изготовлены опытные буровые коронки типа БС-06 диаметром 76 мм. Лабораторные испытания износостойкости буровых коронок проводили при бурении коростышевского гранита X категории буримости при скорости вращения 800 мин⁻¹ и подаче за оборот 63 мкм. В качестве промывной жидкости для удаления шлама разрушенной породы использовалась техническая вода. Работоспособность буровых коронок оценивали по интенсивности изнашивания как отношению их линейного износа по высоте к проходке скважины (I , мм/м). Результаты лабораторных испытаний буровых коронок показаны на рис. 4.

Из данных рис. 4 следует, что при оснащении бурового инструмента алмазами, предварительно подвергнутыми термической обработке в инертной среде при температуре 800 °С, интенсивность изнашивания бурового инструмента снижается от 7 до 20 % по сравнению с интенсивностью изнашивания бурового инструмента оснащенного алмазами марки АС160

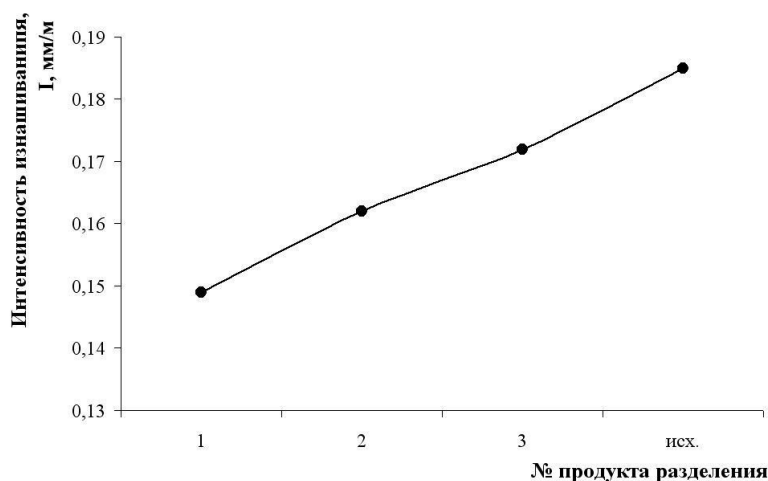


Рис. 4. Изменение интенсивности изнашивания буровых коронок, оснащенных алмазами, синтезированными в системе Fe–Co–C (исходные марка АС160) и предварительно термообработанными, разделенными в результате сортировки на продукты марок: 1 – АС200-Э; 2 – АС200-Э; 3 – АС160-Э

температуре 0,6 температуры плавления сплава-растворителя влияет на прочность шлифпорошков алмазов. При содержании внутрикристаллических примесей и включений менее 0,6 масс. % за счет снижения внутреннего напряжения незначительно (не более чем на 7,5%) повышается прочность кристаллов алмазов, при более 0,6 масс. % прочность шлифпорошков снижается.

Установлено, что нанесение ферромагнитных частиц на дефектные участки поверхности зерен алмазов немагнитной фракции после их термической обработки, синтезированных в системе Fe–Co–C, повышает селективность их разделения, увеличивая выход высокопрочных шлифпорошков марки АС200 более чем на 25 % и, способствует повышению однородности порошков алмазов по прочности.

Показано, что дополнительная классификация по размерам алмазов немагнитной фракции после их термической обработки, синтезированных в системе Fe–Co–C, и выделение узкой фракции 400/355 обеспечили повышение содержания основной фракции порошков алмазов марок АС200 и АС125 на 24÷8 % и увеличение коэффициента однородности по линейным размерам этих порошков приблизительно в 2 раза по сравнению с исходным порошком марки АС160.

Показано, что при оснащении бурового инструмента алмазами после их сортировки по дефектности поверхности и по линейным размерам, предварительно подвергнутыми термической обработке в инертной среде при температуре 800 °С, его интенсивность изнашивания снижается до 20 %.

Наведено результати дослідження впливу термічної обробки алмазів на їх фізико-механічні характеристики та зносостійкість бурового інструменту. Показано, що термічна обробка алмазів, синтезованих в ростових системах Fe–Co–C і Fe–Ni–C, при температурі 0,6 температури плавлення сплаву-розчинника впливає на міцність шліфпорошків алмазів. Встановлено, що нанесення ферромагнітних частинок на дефектні ділянки поверхні зерен алмазів, синтезованих в системі Fe–Co–C, немагнітної фракції після їх термічної обробки підвищує селективність їх розділення, збільшуючи вихід високоміцних шліфпорошків більш ніж на 25 %, що сприяє підвищенню однорідності порошків алмазів по міцності. При оснащенні бурового інструменту алмазами, попередньо підданими термічній обробці в інертному середовищі при температурі 0,6 температури плавлення сплаву-розчинника 800 °С, його інтенсивність зношування знижується до 20 %.

зернистости 400/315 без предварительной термической обработки.

Таким образом, при предварительной термической обработке алмазов в инертной среде при температуре до 800 °С нормализуется внутреннее напряжение, что приводит к незначительному повышению прочности кристаллов алмазов, синтезированных в различных ростовых системах Fe–Co–C и Fe–Ni–C, и способствует снижению интенсивности изнашивания и повышению работоспособности бурового инструмента.

Выводы

Установлено, что термическая обработка алмазов, синтезированных в ростовых системах Fe–Co–C и Fe–Ni–C, при

Ключові слова: термічна обробка, буровий інструмент, внутрішньокристалічні домішки і включення, інтенсивність зношування, міцність.

Results of research of influence of thermal processing of diamonds on their physico-mechanical characteristics and wear resistance of the drilling tool are resulted. It is shown, that thermal processing of the diamonds synthesized in growth systems Fe-Co-C and Fe-Ni-C, at temperature of 0,6 temperatures of fusion of alloy - solvent influences strength grinding diamonds. It is established, that drawing of ferromagnetic particles on defective sites of a surface of grains of the diamonds synthesized in system Fe-Co-C, not magnetic fraction after their thermal processing raises selectivity of their division, increasing exit high-strength grinding more than on 25 % that promotes increase of uniformity of powders of diamonds on strength. At equipment of the drilling tool by the diamonds preliminary subjected to thermal processing in the inert environment at temperature of 0,6 temperatures of fusion of alloy - solvent 800 °C, its intensity of wear process is reduced up to 20 %.

Key words: thermal processing, the drilling tool, intracrystalline impurities and inclusions, intensity of wear process, durability.

Литература

1. Сверхтвердые материалы. Получение и применение: монография: в 6 т. – Т. 6. Алмазно-абразивный инструмент в технологиях механообработки / Под ред. А.А. Шепелева; Под общ. ред. Н.В. Новикова. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, ИПЦ «АЛКОН», 2007. – 340 с.
2. Исонкин А.М., Богданов Р.К., Загора А.П. Эффективность разрушения горной породы буровыми коронками, оснащенными синтетическими алмазами разной прочности // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2006. – Вып. 9. – С. 21–24.
3. Новиков Н.В., Богатырева Г.П., Богданов Р.К., Ильницкая Г.Д., Исонкин А.М. Влияние прочностных характеристик алмазных шлифпорошков на работоспособность бурового инструмента // Сверхтв. материалы. – 2009. - № 6. – С. 75–80.
4. Новиков Н. В., Богатырева Г. П., Богданов Р. К., Ильницкая Г. Д., Невструев Г.Ф., Загора А. П., Исонкин А .М., Ткач В.Н., Зайцева И. Н. Повышение износостойкости бурового инструмента, оснащенного синтетическими алмазами // Сверхтв. материалы. – 2009. - № 1. – С. 83–92.
5. Природные и синтетические алмазы / Г.Б. Бокий, Г.Н. Безруков, Ю.А. Клюев и др. – М.: Наука, 1986. – 222 с.
6. Н .В. Новиков, Г. П. Богатырева, Г.Д. Ильницкая и др. Включения в кристаллах синтетических алмазных высокопрочных порошков // Физика и техника высоких давлений. - 2009. - № 2. – С. 48–53.
7. Ильницкая Г. Д., Богатырева Г. П., Невструев Г. Ф. Получение высококачественных алмазных шлифпорошков // Синтез, спекание и свойства сверхтвердых материалов: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2005. – С. 63–71.
8. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализатор. – М.: Мир, 1979. – 582 с.
9. М88 Украины 90.256–2004. Методика определения удельной магнитной восприимчивости порошков сверхтвердых материалов (СТМ). – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2004. – 9 с.
10. ДСТУ 3292–95. Порошки алмазные синтетические. Общие технические условия. Введ. 01.01.96. – К.: Госстандарт Украины, 1995. – 71 с.
11. ТУ У 28.4-05417344–2003. Шлифпорошки синтетических алмазов марок АС200, АС250, АС300, АС350, АС400. Технические условия. Введ. 01.09.03. – К.: Госстандарт Украины, 2003. – 10 с.
12. СТП 28.5–05417377. Метод определения коэффициента термостойкости шлифпорошков сверхтвердых материалов. Стандарт предприятия. – Впервые; Введ. 01.05.2005. – К.: Изд-во ИСМ НАН Украины, 2004. – 11 с.

13. Патент України № 65129 А, МКИ G01N27/12 № 2003065196 Спосіб оцінки дефектності зерен порошкового матеріалу / Невструєв Г.Ф., Ільницька Г. Д. – Опубл. 15.03.2004, Бюл. № 3.
14. М.28.5–272:2008 «Методика аналитической оценки прочностных характеристик шлифпорошков синтетических алмаза». – К: Изд-во ИСМ НАН Украины, 2008. – 14 с.
15. Сверхтвердые материалы в геологоразведочном инструменте / Р.К. Богданов, А.П. Загора, А.М. Исонкин и др. – Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2003. – 138 с.
16. М 28.5–271:2008 «Методика оценки линейных размеров зерен порошков сверхтвердых материалов (СТМ)». – К: Изд-во ИСМ НАН Украины, 2008. – 17 с.

Поступила 05.06.15

УДК 539.216:621.921.34

А. В. Ножкина, д-р техн. наук¹, **В. И. Костиков**, член-корр. РАН², **А. И. Лаптев**²,
В. Г. Ральченко³, кандидаты физ.-мат. наук, **А. М. Хомич**³ **М. Н. Панфилова**²

¹ОАО «Научно-исследовательский институт природных, синтетических алмазов и инструмента»
(ВНИИАЛМАЗ), г. Москва, Россия

²Московский государственный институт стали и сплавов (МИСиС), Россия

³Институт общей физики им. А. М. Прохорова РАН, г. Москва

АЛЛОТРОПНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ АЛМАЗА ПОД ДЕЙСТВИЕМ НАНОРАЗМЕРНЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ

Исследовано влияние наноразмерных покрытий на аллотропные превращения алмаза под действием металлических покрытий. Впервые экспериментально установлено, что в результате термообработки в вакууме алмазов с наноразмерными покрытиями металлами VIII группы графит образуется не только на межфазной поверхности алмаза, но и поверхности покрытия.

Ключевые слова: аллотропное превращение, алмаз, термообработка, напыление, отжиг

Алмаз занимает особое место среди инструментальных материалов. Благодаря выдающимся физико-механическим свойствам алмаз незаменим при обработке сверхтвердых материалов. Однако при обработке некоторых материалов алмаз быстро теряет свойства, хотя твердость таких материалов во много раз меньше, чем алмаза. Результаты исследования взаимодействия алмаза с химически активными металлами показали, что они являются катализатором фазового превращения алмаза в неалмазные формы углерода, основной из которых является графит, причем скорость такого превращения резко повышается в присутствии кислорода, что иногда приводит случаев к потере алмазом абразивных свойств [1]. Результаты многочисленных исследований фазового перехода свидетельствуют, что лимитирующим фактором в превращении метастабильных фаз углерода в стабильные является поверхностная энергия фазы углерода $\sigma_{т-г}$. Как установлено [2], эта энергия может существенно уменьшаться под действием химически активных к углероду сред, находящихся в жидком, твердом или газообразном состоянии.

Температура начала фазового превращения на поверхности алмаза в контакте с металлами зависит от свободной поверхностной энергии алмаза на границе с металлом ($\sigma_{рт-ж}$, $\sigma_{дт-ж}$), кинетика графитизации – от природы и толщины слоя находящегося на поверхности алмаза металла, а также контактирующей с металлом среды, в частности, концентрации кислорода, если алмаз в контакте с металлом нагревается на воздухе или в вакууме [2]. Так, температура начала графитизации синтетических алмазных порошков, содержащих примеси металлов-катализаторов (Ni–Mn), начинается с $T = 700$ °С в вакууме 10^{-4} мм рт. ст., после удаления примесей алмаз можно нагревать до температур 1400–1500 °С. Алмазы, покрытые химически активными металлами (Ni, Ti и др.) толщиной более 1 мм не графитизируются и сохраняют массу при нагреве до температуры $T = 1500$ °С в вакууме 10^{-4} мм рт.