

УДК 621.921.34-2:622.24.05

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

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

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ОБРАБОТКИ АЛМАЗОВ НА ИХ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ БУРОВОГО ИНСТРУМЕНТА

Приведены результаты исследования влияния термической обработки алмазов на их физико-механические характеристики и износостойкость бурового инструмента. Показано, что с повышением температуры термической обработки алмазов, синтезированных в ростовых системах Ni–Mn–C, Fe–Co–C и Fe–Ni–C с высоким содержанием внутрикристаллических примесей и включений, прочность кристаллов алмаза уменьшается во всем исследуемом температурном диапазоне – 700–1100 °C. При повышении температуры термической обработки до 800 °C в образцах алмазов с меньшим содержанием внутрикристаллических примесей и включений за счет снижения внутреннего напряжения в кристаллах алмаза прочность повышается незначительно (не более чем на 5%). При оснащении вставок бурового инструмента алмазами, предварительно подвергнутыми термической обработке в инертной среде при температуре 800 °C, интенсивность изнашивания вставок бурового инструмента снижается с 20 до 7%.

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

Введение

На современном этапе промышленного развития основной тенденцией технического прогресса является технологическое совершенствование производства, расширение круга материалов, используемых для изготовления промышленных изделий. Развитие прогрессивных технологий применения породоразрушающего и металлообрабатывающего инструмента требует применения для его оснащения алмазных порошков с контролируемыми характеристиками высокого качества прочности и термостойкости [1; 2]. Как известно, термостойкость порошков алмазов, как и любых хрупких материалов, характеризуется их способностью выдерживать без разрушения резкие смены температуры [3]. Как правило, термостойкость порошков сверхтвердых материалов, в том числе синтетического алмаза, определяется способностью зерен этих порошков сохранять прочностные характеристики в результате термической обработки при определенной температуре. На практике термостабильность алмазов принято оценивать коэффициентом термостабильности $K_{ТС}$ (или термостойкости), который определяют по разработанной методике как соотношение прочности при статическом сжатии шлифпорошков после термообработки и алмазных зерен до термообработки [4].

Для разработки способов изготовления инструментов необходимо использовать термически прочные зерна алмазных шлифпорошков. Термическая прочность зерен алмазов, которую не будем отождествлять с понятием термостойкость, тесно связана с их термостабильностью. Известно, что термостабильность порошков алмаза тесно связана с содержанием внутрикристаллических включений и примесей в кристаллах алмаза.

Обычно синтетические алмазы 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 несколько весовых процентов [5]. Объемные дефекты в основном связаны с содержанием в кристалле алмаза включений сплава-растворителя и поэтому количественно тесно связаны с удельной магнитной восприимчивостью χ [6]. В этой связи исследование влияния термической обработки порошков алмаза, полученных в разных ростовых системах, на изменение их физико-механических и эксплуатационных характеристик является актуальным.

Цель настоящей работы – исследовать влияние температурной обработки синтетических алмазов, синтезированных в разных ростовых системах, на содержание в них внутрикристаллических примесей и включений, изменение физико-механических и эксплуатационных характеристик бурового инструмента.

Методика эксперимента

Для исследования выбрали алмазные шлифпорошки зернистостью 400/315 разных марок, синтезированные в системах Ni–Mn–C, Fe–Co–C и Fe–Ni–C. Из этих порошков изготовили образцы, различающиеся удельной магнитной восприимчивостью χ [7]. Образцы алмазов подвергали термической обработке в инертной среде при температуре 700–1100 °C в течение 15 мин. Перед началом термообработки все образцы подвергали химической обработке для удаления с поверхности зерен алмаза поверхностных примесей.

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 ($K_{тс}$, %) [4].

Порошки алмаза исходные и после температурной обработки использовали для изготовления вставок буровых коронок. Эксплуатационные характеристики алмазного бурового инструмента при лабораторных испытаниях определяли по разработанным критериям оценки при бурении горных пород [12].

Результаты исследования и их обсуждение

У изготовленных для исследования образцов алмазов (1–3), синтезированных в системах Ni–Mn–C, Fe–Co–C и Fe–Ni–C, определяли удельную магнитную восприимчивость χ , прочность P , (Н), а также общий и элементный состав внутрикристаллических примесей и включений (табл. 1, 2).

Из данных табл. 1, 2 следует, что алмазы, синтезированные в системах Ni–Mn–C, 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 93,6–58,5% общего содержания примесей и включений в порошках алмазов этих систем. Кристаллы алмаза всех систем, содержащих меньше внутрикристаллических примесей и включений, более прочные.

Алмазы образцов (1–3), синтезированные в системах Ni–Mn–C, Fe–Co–C и Fe–Ni–C с различным содержанием внутрикристаллических примесей и включений, подвергали термической обработке в инертной среде в температурном диапазоне 700–1100 °C. У всех образцов алмазов различных систем после термической обработки определяли статическую прочность и термостабильность. Результаты экспериментов приведены в табл. 3.

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	Zn	
Ni-Mn-C											
1	0,040	0,003	0,003	0,014	0	0,006	0,541	0,471	0,021	0,009	1,108
2	0,046	0,005	0,006	0,018	0,017	0,011	1,136	0,865	0,024	0,010	2,138
3	0,051	0,007	0,009	0,0020	0,037	0,017	1,390	1,00	0,031	0,014	3,017
Fe-Co-C											
1	–	0,002	–	0,012	0,254	0,195	0,011	–	0,005	0,002	0,481
2	–	0,005	0,006	0,054	0,297	0,239	0,028	–	0,006	0,002	0,637
3	0,010	0,013	0,016	0,084	0,398	0,341	0,039	–	0,008	0,003	0,912
Fe-Ni-C											
1	–	0,015	–	–	0,161	0,016	0,114	0,003	0,022	–	0,331
2	–	0,026	–	–	0,212	0,031	0,124	0,007	0,039	–	0,439
3	–	0,040	0,016	0,060	0,222	0,058	0,139	0,010	0,058	–	0,617

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 <i>P</i> , Н	Содержание примесей и включений		
			сплава-растворителя		общее, масс. %
			масс. %	%	
Ni-Mn-C					
1	0,8	218,5	1,012	91,3	1,108
2	8,0	130,0	2,001	93,6	2,138
3	24,2	33,8	2,390	79,2	3,017
Fe-Co-C					
1	39,5	230,0	0,449	93,3	0,481
2	61,2	179,0	0,536	84,1	0,637
3	89,6	140,0	0,739	81,1	0,912
Fe-Ni-C					
1	3,2	414,2	0,275	83,0	0,331
2	10,2	358,0	0,336	76,5	0,439
3	24,7	305,5	0,361	58,5	0,617

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

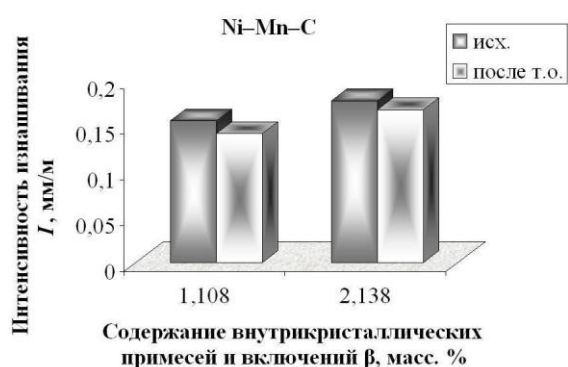
Номер образца	Статическая прочность алмазов <i>P</i> , Н, при различной температуре обработки, °С						Коэффициент термостабиль- ности, <i>K_{тс}</i> , %
	комнатной (исходной)	700	800	900	1000	1100	
Ni-Mn-C							
1	218,5	220,7	225,9	210,7	198,5	192,3	88
2	130,0	131,5	130,4	121,1	109,1	97,5	75
3	33,8	30,6	29,5	20,5	14,7	9,6	28
Fe-Co-C							
1	230,0	231,8	237,9	229,6	221,6	218,5	95
2	179,0	180,5	177,2	169,3	164,3	143,2	80
3	140,0	130,8	115,8	109,3	93,3	86,4	62
Fe-Ni-C							
1	414,2	417,5	434,1	414,9	409,5	402,0	97
2	358,0	359,1	361,6	349,3	329,5	300,7	84
3	305,5	305,3	301,3	286,1	256,8	198,0	65

Как следует из данных табл. 3, с повышением температуры термической обработки в алмазах образцов 3 всех исследуемых систем с более высоким содержанием внутрикристаллических примесей и включений снижается прочность кристаллов алмазов во всем исследуемом температурном диапазоне – 700–1100 °С. С повышением температуры термической обработки до 800 °С в алмазах образцов 1 и 2 с меньшим содержанием внутрикристаллических примесей и включений за счет снижения внутреннего напряжения незначительно (не более чем на 5%) повышается прочность кристаллов алмазов. Термостабильность алмазов всех исследуемых систем, представленная в виде коэффициента термостабильности, с увеличением содержания в кристаллах алмазов внутрикристаллических примесей и включений снижается.

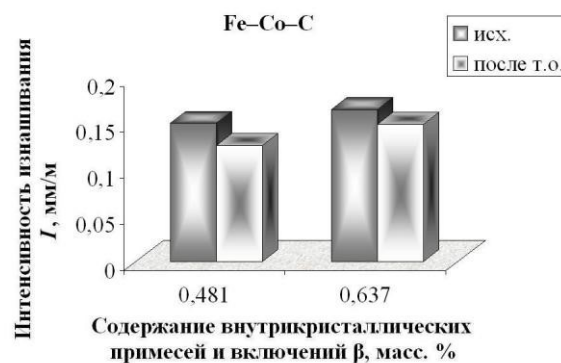
Из алмазов образцов 1 и 2 всех исследуемых систем с высокой термостабильностью, в которых установили повышение прочности при термической обработке при температуре 800 °С (исходных порошков и после термической обработки), изготовили буровые коронки БС-20 диаметром 59 мм.

Лабораторные испытания износостойкости буровых коронок проводили при бурении коростыщеского гранита X категории буримости при скорости вращения 800 мин⁻¹ и подаче за оборот 63 мкм. Работоспособность буровых коронок оценивали по интенсивности изнашивания – отношению износа рабочего алмазоносного слоя к проходке на коронку (I , мм/м).

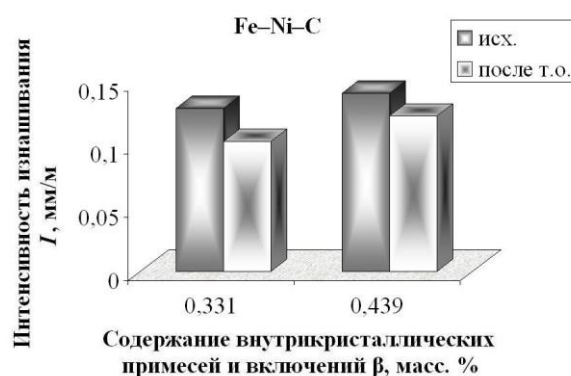
Результаты лабораторных испытаний буровых коронок показаны на рисунке.



а



б



в

Изменение интенсивности изнашивания буровых коронок, оснащенных алмазами с различным содержанием внутрикристаллических примесей и включений: а – Ni-Mn-C; б – Fe-Co-C; в – Fe-Ni-C

Из данных рисунка следует, что при оснащении бурового инструмента алмазами, предварительно подвергнутыми термической обработке в инертной среде при температуре 800 °С, интенсивность изнашивания бурового инструмента снижается с 7 до 20%.

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

Выводы

Установлено, что с повышением температуры термической обработки в алмазах, синтезированных в ростовых системах Ni–Mn–C, Fe–Co–C и Fe–Ni–C с высоким содержанием внутрикристаллических примесей и включений, прочность кристаллов алмазов снижается во всем исследуемом температурном диапазоне – 700–1100 °С. С повышением температуры термической обработки до 800 °С в образцах алмазов с меньшим содержанием внутрикристаллических примесей и включений за счет снижения внутреннего напряжения незначительно (не более чем на 5%) повышается прочность кристаллов алмазов.

Показано, что при оснащении вставок бурового инструмента алмазами, предварительно подвергнутыми термической обработке в инертной среде при температуре 800 °С, интенсивность изнашивания бурового инструмента снижается с 20 до 7%.

Наведено результати дослідження впливу термічної обробки алмазів на їх фізико-механічні характеристики та зносостійкість бурового інструменту. Показано, що з підвищенням температури термічної обробки алмазів, синтезованих у ростових системах Ni–Mn–C, Fe–Co–C і Fe–Ni–C, з високим вмістом внутрішньокристалічних домішок і включень, міцність кристалів алмазу зменшується в усьому досліджуваному температурному діапазоні – 700–1100 °С. При підвищенні температури термічної обробки до 800 °С в зразках алмазу з меншим вмістом внутрішньокристалічних домішок і включень за рахунок зниження внутрішнього напруження у кристалах алмазу міцність підвищується неістотно (не більше як на 5%). При оснащенні вставок бурового інструменту алмазами, які попередньо піддали термічній обробці в інертному середовищі при температурі 800 °С, інтенсивність зношування вставок бурового інструменту знижується з 20 до 7%.

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

The results of research of influence of thermal processing of diamonds on their physico-mechanical characteristics and on wear resistance of the drilling tool are submitted in present article. It is shown, that with increase in temperature of thermal processing the diamonds synthesized in growth systems: Ni–Mn–C, Fe–Co–C and Fe–Ni–C, with the high contents of intracrystal impurity and inclusions reduction of strength of crystals of diamond in all a researched range of temperatures from 700 up to 1100 °C is observed. At increase in temperature of thermal processing up to 800 °C in diamond samples with the smaller contents of intracrystal impurity and inclusions due to decrease of internal voltage in crystals of diamond there are insignificant no more than 5% increase of strength. Equipment of inserts of the drilling tool by the diamonds, preliminary subjected to thermal processing in the inert environment at temperature 800 °C reduces intensity of wear process of inserts of the chisel tool from 20 up to 7%.

Key words: thermal processing, the drilling tool, intracrystal impurity and inclusions, intensity of wear process, strength.

Литература

1. Сверхтвердые материалы. Получение и применение: монография: в 6 т. – Т. 6. Алмазно-абразивный инструмент в технологиях механообработки / Под ред. А. А. Шепелява; 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. Писаренко Г. С., Лебедев А. И. Деформирование и прочность материалов при сложном напряженном состоянии. – К.: Наук. думка, 1976. – 412 с.
4. М 26.8-299:2010. Методика определения коэффициента термостабильности шлифпорошков синтетических алмазов. – К.: ИСМ НАН Украины, 2010. – 7 с.
5. Природные и синтетические алмазы / Г. Б. Бокий, Г. Н. Безруков, Ю. А. Клюев и др. – М.: Наука, 1986. – 222 с.
6. Включения в кристаллах синтетических алмазных высокопрочных порошков Н. В. Новиков, Г. П. Богатырева, Г. Д. Ильницкая и др. // 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. Сверхтвердые материалы в геологоразведочном инструменте / Р. К. Богданов, А. П. Загора, А. М. Исонкин и др. – Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2003. – 138 с.

Поступила 07.06.13