

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ КРИСТАЛЛОВ АЛМАЗА НА ФИЗИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛМАЗНЫХ ШЛИФПОРОШКОВ

Богатырева Г.П., Ильницкая Г.Д., Невструев Г.Ф., Ткач С.В.,
Зайцева И.Н., Лещенко О.В.
(ИСМ НАНУ, Киев, Украина)

The results of studies of physical and physical-mechanical properties of various grades of diamond grinding powders (400/315 grain size) synthesized in Ni–Mn–C and Fe–Co–C systems are considered in this article. It has been ascertained that physical-mechanical characteristics (strength and thermal stability) of diamond grinding powders synthesized in different growth systems are changed in different ways depending on magnetic properties of diamond and content of inclusions. The strength characteristics of diamond synthesized in the presence of Ni–Mn alloy as initial as after high-temperature treatments decrease when an amount of inclusions, metal especially, increases. The strength characteristics of initial diamond synthesized in Fe–Co–C system are changed considerably with increase of an amount of inclusions, while the characteristics of that after high-temperature treatments are changed slightly without regard to amount of inclusions.

Введение. Алмазы являются самым прогрессивным инструментальным материалом особенно в тех областях, где предъявляются высокие требования к увеличению износостойкости алмазного породоразрушающего инструмента. Одним из важнейших путей достижения увеличения износостойкости алмазного инструмента является повышение однородности алмазных порошков по зерновому составу, прочности и содержанию в них дефектов.

Обычно синтетические алмазы даже высокого качества содержат дефектные кристаллы. К ним относятся кристаллы с мозаичным и блочным строением, блоки которых разориентированы относительно друг друга. Это находит отражение в дефектности поверхности кристаллов. Одним из характерных постоянных дефектов синтетического алмаза является высокое содержание в них парамагнитного азота в форме одиночных замещенных атомов (С-центров) [1]. Специфические особенности синтетических алмазов определяются главным образом скоростью роста кристаллов алмаза во время их синтеза, что влияет не только на внешнюю, но и на внутреннюю морфологию кристаллов, в которых количество металлических включений в виде объемных дефектов, может достигать нескольких весовых процентов. Объемные дефекты в основном связаны с присутствием в кристалле алмаза включений сплава-растворителя и поэтому количественно тесно связаны с удельной магнитной восприимчивостью (χ) [2].

В настоящее время для удовлетворения потребностей современного производства производятся алмазные порошки различных марок, в том числе высокопрочные порошки, не уступающие по прочности и термостабильности природным алмазам. При этом в порошках синтетических алмазов по сравнению с природными содержится большое количество кристаллов правильной формы [3].

Однако до сих пор не известны все закономерности кинетики увеличения размеров кристаллов алмаза, приводящие к образованию совершенных по строению бездефектных высокопрочных кристаллов [5]. Исследованиями установлено [1, 5, 6], что размеры кристаллов алмаза, количество включений в них и прочность во многом зависят от скорости увеличения размеров кристаллов. Как правило, в рабочем объеме аппарата высокого давления (АВД) невозможно обеспечить одинаковые условия для

увеличения размеров всех кристаллов вследствие неоднородности температуры и давления, что приводит к различным свойствам зерен алмаза. В силу этого синтезированные алмазные порошки являются сырьем, из которого с помощью классификации и сортировки можно получить шлифпорошки необходимой зернистости и прочности.

Синтезируемые кристаллы алмаза, получаемые в разных ростовых системах, как правило, различаются между собой по ряду основных свойств. Связующим звеном между синтезом кристаллов алмаза и их применением в инструменте являются технологии формирования алмазных шлифпорошков узких зернистостей различной прочности и термостабильности. Термостабильность твердых тел это способность сохранять механические характеристики и структуру материала при одной или много разовой термической обработке. Термостабильность синтетических алмазов это сохранение прочности порошков при нагреве [7]. На практике оценку термостабильности алмазов принято оценивать коэффициентом термостабильности $K_{ТС}$, который определяют по разработанной методике, как отношение показателя прочности при статическом сжатии шлифпорошков после термообработки к показателю прочности при статическом сжатии алмазных зерен до термообработки [8].

Поэтому целью данной работы было изучение влияния структуры кристаллов алмаза на физические и физико-механические характеристики алмазных шлифпорошков, синтезированных в присутствии разных сплавов-растворителей.

Методика экспериментов. Исследования проводили на алмазных шлифпорошках зернистости 400/315 разных марок, синтезированных в системах Ni–Mn–C и Fe–Co–C. В алмазных шлифпорошках обеих систем определяли прочностные характеристики: статическую (P) и динамическую (Fi) прочности [9], коэффициент термостабильности ($K_{ТС}$) [8], а также измеряли их удельную магнитную восприимчивость (χ) [2, 10] и определяли содержание включений (β) [11].

Основное содержание и результаты работы. Для исследования были изготовлены образцы алмазных шлифпорошков разных марок. Алмазы марок AC125–AC20 фирмы «АЛКОН-Діамант», синтезированные в системе Ni–Mn–C, и алмазы разных марок фирмы «Element Six» SDA100, SDA85+, SDA+, SDADH, SDADO, SDADL, SDADV, SDADX, синтезированные в системе Fe–Co–C.

Характеристики алмазных шлифпорошков марок AC125–AC20, синтезированные с применением сплава-растворителя Ni–Mn, представлены в таблице 1.

Из табл.1 следует, что статическая (P , Н) и динамическая (Fi) прочности алмазных шлифпорошков марок AC125–AC20 устойчиво снижаются от содержания в них включений. При увеличении содержания включений с 1,149 атом. % до 2,590 атом. % статическая прочность снижается от 218,5 Н до 65,8 Н, динамическая – от 118 до 19. Эта же тенденция сохраняется и для коэффициента термостабильности алмазов, $K_{ТС}$ снижается от 0,88 до 0,42. По коэффициенту термостабильности ($K_{ТС}$) установлена категория термостабильности [12] для алмазных шлифпорошков марок: AC125 и AC100 высокая (ВТ), AC80 и AC65 – средняя (СТ) и для AC50–AC20 – низкая (НТ).

Удельная магнитная восприимчивость алмазов с ростом содержания включений увеличивается с $1,8 \cdot 10^{-8}$, м³/кг до $15,5 \cdot 10^{-8}$, м³/кг.

На рис.1 графически проиллюстрировано изменение $K_{ТС}$ алмазов, синтезированных в системе Ni–Mn–C, от содержания в них включений. Как следует из рис. 1 при увеличении содержания включений в кристаллах алмаза разных марок в 2,2 раза термостабильность алмазных шлифпорошков снижается в 3,1 раза.

Таблица 1. Свойства алмазных шлифпорошков зернистости 400/315 разных марок, синтезированных в системе Ni–Mn–C

Наименование характеристики	Марки по ДСТУ 3292						
	AC125	AC100	AC80	AC65	AC50	AC32	AC20
Удельная магнитная восприимчивость, $\chi \cdot 10^{-8}$, м ³ /кг	1,8	3,48	8,0	10,5	15,2	15,5	24,2
Статическая прочность, P , Н	218,5	176,5	130,0	110,0	79,5	65,8	33,8
Динамическая прочность, F_i , усл.ед.	118	98	54	34	21	19	16
Коэффициент термостабильности, $K_{ТС}$, усл.ед.	0,88	0,82	0,71	0,65	0,44	0,42	0,28
Категория термостабильности	BT	BT	CT	CT	HT	HT	HT
Содержание включений, β , атом. %	1,149			2,146		2,590	

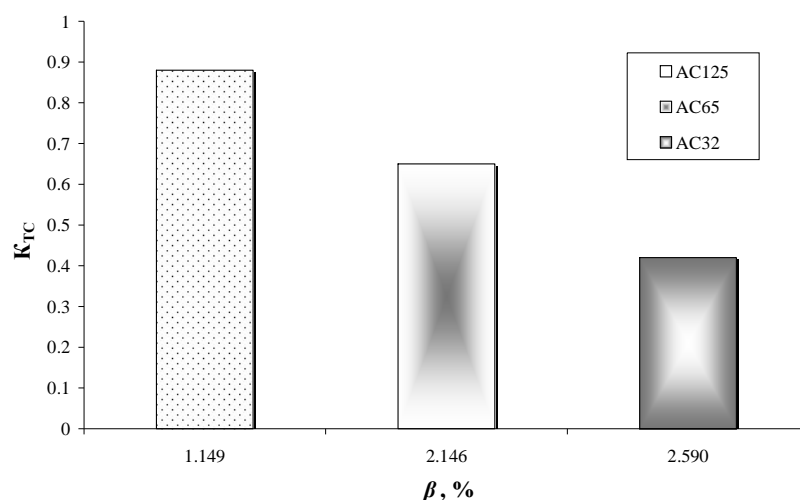


Рис. 1. Изменение $K_{ТС}$ алмазов зернистости 400/315, синтезированных в системе Ni–Mn–C, в зависимости от изменения содержания включений (β)

Были исследованы алмазы зернистости 400/315, синтезированные в системе Fe–Co–C, разных марок фирмы «Element Six» SDA100, SDA85+, SDA+, SDADH, SDADO, SDADL, SDADV, SDADX, которые имеют различные прочностные характеристики и разное содержание включений. На рис. 2 и 3 показаны зависимости показателей прочности при статическом сжатии (рис. 2) и динамической прочности (рис. 3) алмазов от содержания в них включений.

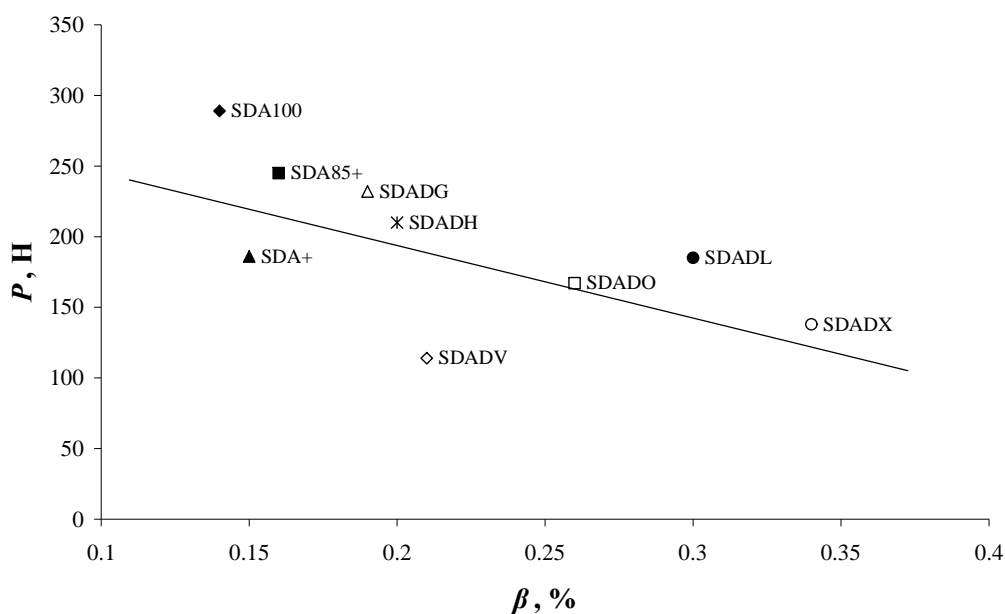


Рис. 2. Зависимость изменения прочности при статическом разрушении (P) алмазов зернистости 400/315, синтезированных в системе Fe–Co–C, от содержания в них включений (β)

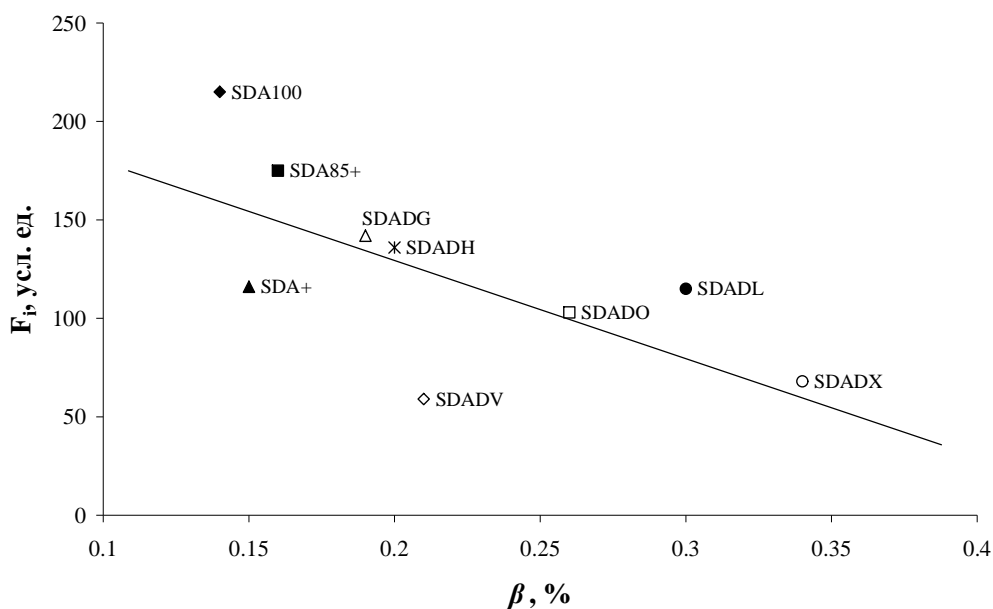


Рис. 3. Зависимость изменения прочности при динамическом разрушении (F_i) алмазов зернистости 400/315, синтезированных в системе Fe–Co–C, от содержания в них включений (β)

Как следует из рисунков (рис. 2 и рис. 3) алмазные шлифпорошки, синтезированные в системе Fe–Co–C, марок SDA100, SDA85+, SDA+ с высокими прочностными характеристиками содержат меньшее количества включений. Содержание включений в алмазах находится в прямой зависимости от магнитных свойств алмазов этих марок (рис. 4). На рис. 5 показано изменение K_{TC} алмазов разных марок, синтезированных в системе Fe–Co–C, от содержания включений. Из рис. 5

следует, что при изменении содержания включений в порошках алмаза разных марок от 0,14 атом. % до 0,34 атом. %, т.е. приблизительно на 60 % K_{TC} алмазов практически мало изменяется от 0,81 до 0,88 всего приблизительно на 8 %. Поэтому порошки алмазов марок SDA100, SDA85+, SDA+, SDADH, SDADO, SDADL, SDADV, SDADX являются термостабильными и по [12] относятся к высокой категории термостабильности (BT).

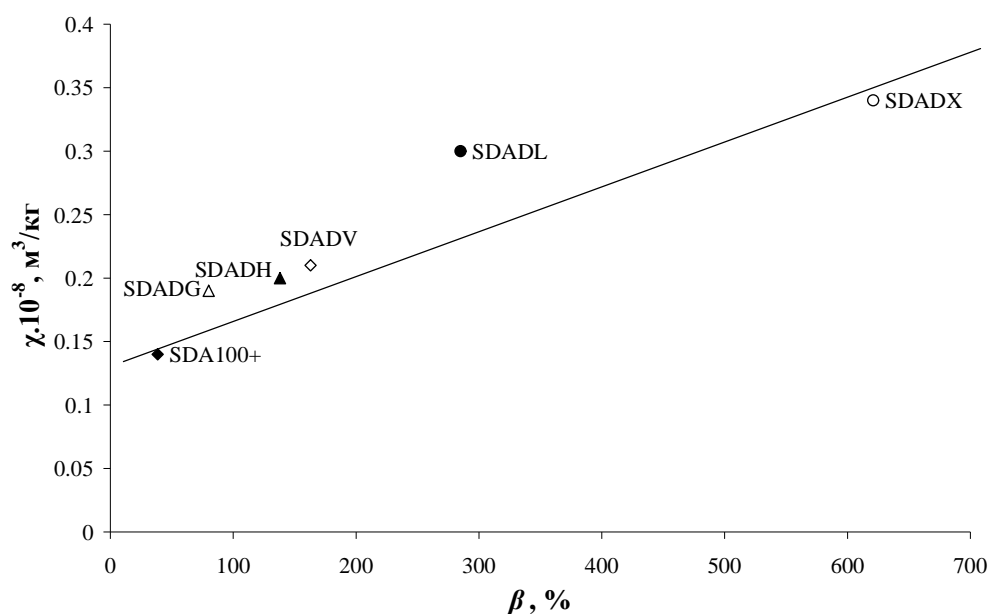


Рис. 4. Зависимость магнитной восприимчивости (χ) алмазов зернистости 400/315, синтезированных в системе Fe–Co–C, от содержания в них включений (β)

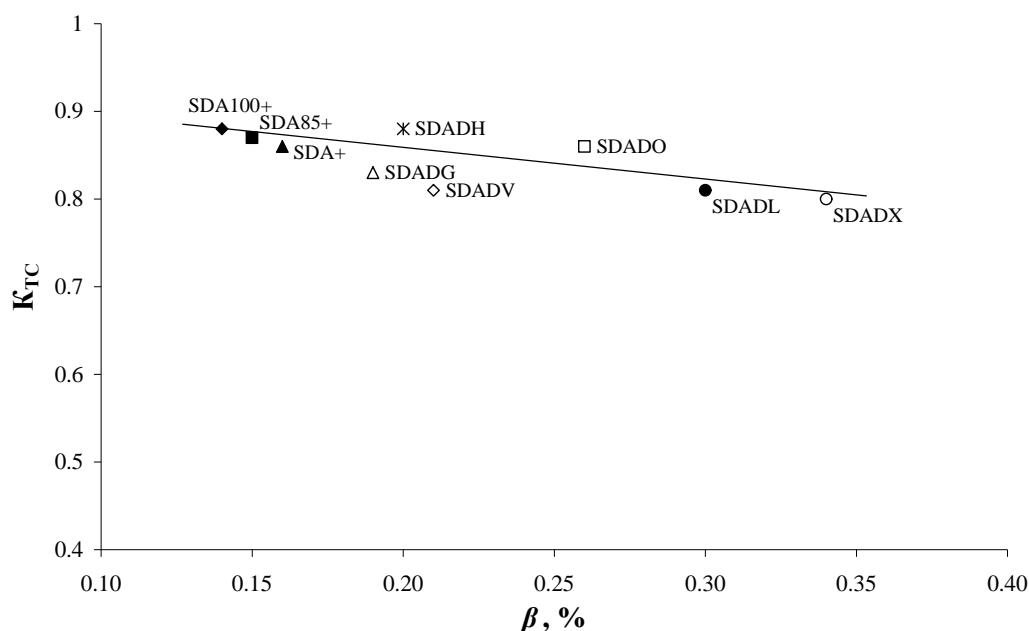


Рис. 5. Зависимость K_{TC} алмазов зернистости 400/315, синтезированных в системе Fe–Co–C, от содержания в них включений (β)

Закключение. Таким образом, физические и физико-механические свойства алмазных шлифпорошков, синтезированных в разных ростовых системах, по-разному изменяются в зависимости от содержания в них включений. Прочностные характеристики алмазов, синтезированных в присутствии сплава Ni–Mn, как исходные, так и после высокотемпературных воздействий, с увеличением в них включений, особенно металлических, снижаются. Прочностные характеристики исходных алмазных шлифпорошков, синтезированных в системе Fe–Co–C, значительно изменяются при увеличении в них включений. Прочностные характеристики этих алмазов после высокотермических воздействий при различном содержании в них включений изменяются незначительно. Различие в изменении прочностных характеристик после термической обработки алмазных шлифпорошков, по-видимому связаны с разными фазовыми изменениями сплавов-растворителей при высоких p , T условиях их синтеза. Для улучшения прочностных характеристик и повышения однородности по этим характеристикам необходимо проводить специальные сортировки алмазных шлифпорошков, синтезированных в разных ростовых системах.

Список литературы: 1. Природные и синтетические алмазы / Г.Б. Бокий, Г.Н. Безруков, Ю.А. Ключев, А.М. Налетов, В.И. Непша. М.: Наука, 1986. – 222 с. 2. Богатырева Г.П., Крук В.Б., Невструев Г.Ф. и др. О связи между содержанием включений в синтетических алмазах и их магнитными свойствами // Синтетические алмазы. – 1977. – Вып. 6. – С. 14-19. 3. Bovenkerk H.P. Morphology and Physical Characteristics of synthetic diamonds // Ainer. Mineral. – 1961. – V. 46. – N 7-8. – P. 952-963. 4. Новиков Н.В. Развитие технологии синтеза алмазов // Сучасне матеріалознавство ХХІ сторіччя. – К.: Наукова думка, 1998. – С. 333-352. 5. Влияние скорости роста на свойства монокристаллов алмаза / Н.В. Новиков, А.А. Шульженко, М.Я. Кацай и др. // Сверхтвердые материалы. – 1984. – № 3. – С. 15-18. 6. Чепуров А.И., Федоров И.И., Сонин В.М. Экспериментальное моделирование процессов алмазообразования. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1997. – 196 с. 7. Писаренко Г.С., Лебедев А.И. Деформирование и прочность материалов при сложном напряженном состоянии. К.: Наукова думка. – 1976. – 412 с. 8. СТП 28.5–05417377. Метод определения коэффициента термостойкости шлифпорошков сверхтвердых материалов. Стандарт предприятия. – Впервые; Введ. 01.05.2005. – К.: ИСМ НАН Украины, 2004. – 11 с. 9. ДСТУ 3292–95. Порошки алмазные синтетические. Общие технические условия. Введ. 01.01.96. – К.: Госстандарт Украины, 1995. – 71 с. 10. М 88 Украины 90.256–2004. Методика определения удельной магнитной восприимчивости порошков сверхтвердых материалов (СТМ). – К.: ИСМ НАН Украины, 2004. – 9 с. 11. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализатор, М: Мир, 1984. – Е. 1 – 303 с. 12. ТУ У 28.5–054173477–075–2003. Шлифпорошки синтетических алмазов термостойкие. Технические условия. Введ. 23.12.03. – К.: Госстандарт Украины, 2003. – 14 с.

Сдано в редакцию 14.01.2009