

## ОЦЕНКА МАГНИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОРОШКОВ СИНТЕТИЧЕСКОГО АЛМАЗА

Богатырева Г.П., Ильницкая Г.Д., Кущ В.И., Невструев Г.Ф.,  
Маринич М.А., Олейник Н.А., Зайцева И.Н. (*ІСМ – ІСМ НАНУ, Київ, Україна*)

*The target of this work is studies of magnetic characteristics of synthetic diamond powders produced from diamond raw material synthesized in different growing systems: Ni–Mn–C, Fe–Si–C and Fe–Co–C. An assessment of magnetic characteristics of the powders is carried out by specific magnetic susceptibility of the powders using analytical tables and subsequent plotting of curves of assessment of powder quality:  $\lambda$ ,  $a$  and  $v$ . Besides the method provides calculation of weighted average value of specific magnetic susceptibility it makes possible to analyze powder composition by specific magnetic susceptibility as well as to assess uniformity of powder by its specific magnetic susceptibility.*

**Введение.** Процесс синтеза алмазных порошков происходит в специальных аппаратах при высоких давлениях (р) и температурах (Т). Для снижения необходимых высоких параметров (р, Т) синтеза применяют катализаторы в виде сплава-растворителя [1]. Как правило, растущий кристалл при своем росте захватывает все побочные фазы, присутствующие в реакционной камере, при этом включения полностью консервированы в объеме кристалла алмаза.

Развитие и совершенствование работ в области синтеза алмаза сопровождалось расширением работ по исследованию состава включений [2, 3]. Показано, что включения в синтетических алмазах преимущественно состоят из применяемого при синтезе сплава-растворителя.

Для получения более широкой информации при изучении примесей и включений используют различные физические методы исследования. Весьма многообещающими являются магнитные методы исследования. Так, чистый беспримесный алмаз является диамагнетиком с практически постоянной величиной удельной магнитной восприимчивости ( $\chi_A = -0.62 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ ), а используемые при синтезе сплавы-растворители обладают сильно выраженными магнитными свойствами. Поэтому все разнообразие магнитных свойств кристаллов алмаза связано с количеством и магнитным состоянием металла, присутствующего в алмазе в виде включений и примесей.

Целью настоящего исследования было проведение оценки магнитных характеристик алмазных порошков, полученных в разных ростовых системах.

**Методика эксперимента.** Исследования проводили на алмазах, синтезированные в разных ростовых системах: Ni–Mn–C, Fe–Si–C и Fe–Co–C. Алмазные порошки разделяли в магнитном поле разной напряженности от 0 до 2.0 Тл. В алмазных порошках, полученных после разделения, определяли магнитные характеристики. Магнитные характеристики алмазных порошков оценивали по изменению их удельной магнитной восприимчивости. Измерения удельной магнитной восприимчивости производили по методике, разработанной в ИСМ НАН Украины [4].

Удельная магнитная восприимчивость  $\chi$  – физическая величина, характеризующая способность вещества изменять свой магнитный момент под действием магнитного поля.

Метод определения удельной магнитной восприимчивости заключается в регистрации взаимодействия магнитного поля с пробой порошка алмаза, которое

выражается в изменении веса пробы порошка в ньютонах (Н) при взвешивании в магнитном поле.

**Результаты и обсуждение.** На основании разработанного в Институте сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины универсального метода оценки качества порошков [5], создан новый метод оценки магнитных характеристик зерен алмаза на основе кумулятивных расчетов значений величин их удельной магнитной восприимчивости ( $\chi$ ).

Данные результатов измерения удельной магнитной восприимчивости представляют собой массив зерен со средним значением  $\chi_i$ , которые изменяются от  $\chi_{\min}$  до  $\chi_{\max}$ . Затем весь массив полученных результатов измерения удельной магнитной восприимчивости разбивают на ряд интервалов ( $\chi_i - \chi_{i+1}$ ), соответствующих группам порошков разным продуктам разделения (1, 2,...n), математически обрабатывают. На основании полученных расчетных данных заполняются аналитические таблицы, и проводится графическое построение в виде трех кривых  $\lambda$ ,  $\alpha$  и  $\nu$  (рис.1). По горизонтальной оси откладывают величины удельной магнитной восприимчивости  $\chi_i$ , по вертикальным осям - содержание зерен или фракций с определенными значениями  $\chi$ . С правой стороны графика откладывают значения содержаний зерен фракций снизу вверх вниз от 0 до 100 %, с левой - сверху вниз от 0 до 100 %.

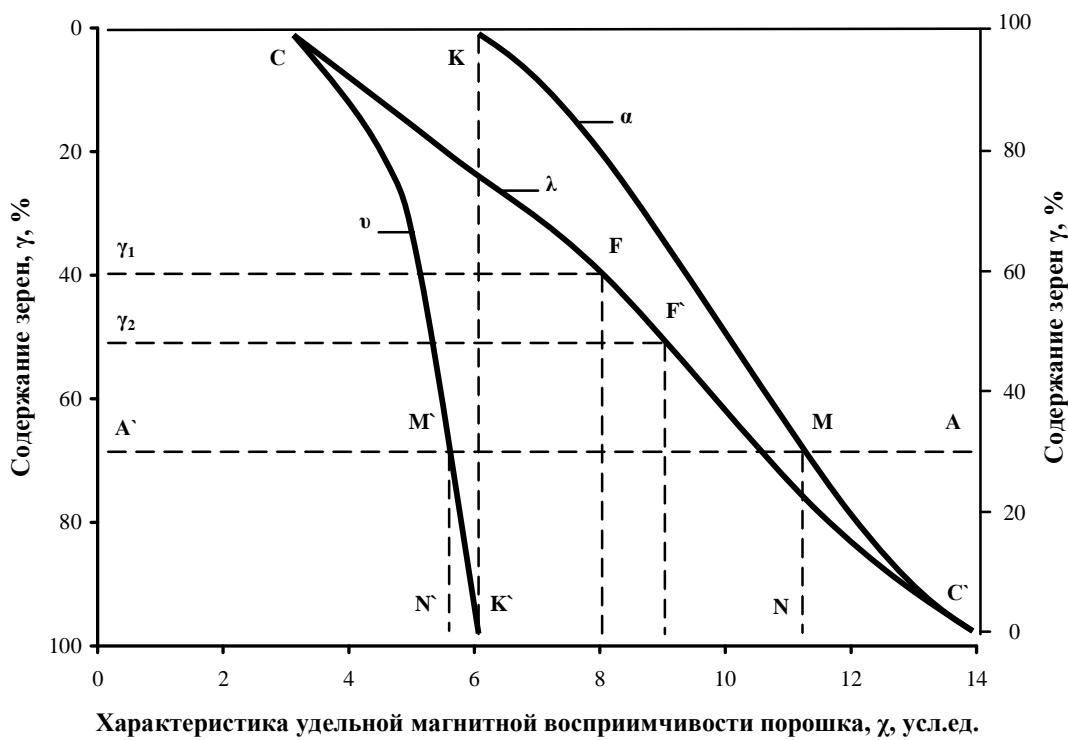


Рис. 1. Характеристики удельной магнитной восприимчивости порошка  $\lambda$ ,  $\alpha$  и  $\nu$

Кривая  $\lambda$  – кривая элементарных фракций, составляющих весь исследуемый порошок. При максимальном приближении  $\gamma_i$  до  $\gamma_{i+1}$  можно определить качество порошка в точке. Графически кривую  $\lambda$  (CC') строят от самого высокого значения к низкому значению  $\chi$ .

Кривая  $\alpha$  - это кумулятивная кривая удельной магнитной восприимчивости зерна алмаза, убывающая от максимального значения показателя  $\chi$  до

средневзвешенного значения удельной магнитной восприимчивости зерна алмаза по всей пробе порошка.

Кривая  $v$  – кумулятивная кривая повышения удельной магнитной восприимчивости зерна алмаза.

Кривая  $\lambda$  элементарных фракций позволяет оценить однородность исследуемого порошка по выбранному показателю характеристики качества. Однородность оценивают по содержанию зерен в порошке ( $\gamma_2 - \gamma_1$ ) номинальной фракции, соответствующей средней величине показателя характеристики качества. В частности, на рис. 1 показано, что однородность порошка оценивается содержанием зерен (%), удельная магнитная восприимчивость  $\chi$  которых находится в интервале 8–9 усл. единиц. Величина однородности порошка по  $\chi$  определяется проведением двух перпендикуляров от границ интервала качества (8 и 9) до пересечения с кривой  $\lambda$  в точках F и F' и из этих точек проведением двух горизонтальных прямых до пересечения с вертикальной осью (слева) содержания зерен в точках  $\gamma_2$  и  $\gamma_1$ . Однородность порошка по данной характеристике качества равна содержанию зерен с такими значениями  $\Delta\gamma = \gamma_2 - \gamma_1$ , т.е. (в %)  $50 - 40 = 10$  (рис. 1).

На основании выработанных принципов разработана компьютерная программа расчета значений удельной магнитной восприимчивости порошков синтетического алмаза. Данные, полученные с помощью разработанной программы, дают информацию в виде аналитических таблиц и графического изображения.

Программа позволяет на основании данных значений удельной магнитной восприимчивости шлифпорошков СТМ, полученных после их разделения в магнитном поле разной напряженности от 0 до 2.0 Тл, получить информацию о средней удельной магнитной восприимчивости шлифпорошка, его однородности по  $\chi$ , составе порошка по удельной магнитной восприимчивости.

На примере шлифпорошка синтетического алмаза марки АС32 зернистости 200/160, синтезированного в системе Ni-Mn-C с помощью разработанной программы выполнены определения средневзвешенного значения удельной магнитной восприимчивости, его однородности и состав порошка по  $\chi$ .

Рис. 2. Таблица анализа по удельной магнитной восприимчивости порошка алмаза, полученного в системе Ni-Mn-C, марки AC32 зернистости 200/160

На рис. 2 представлена электронная аналитическая таблица состава порошка алмаза по удельной магнитной восприимчивости, полученная после внесения в программу данных о результатах разделения исследуемого порошка в магнитном поле разной напряженности от 0 до 2,0 Тл при разной силе тока.

Как следует из рис. 2 алмазный порошок алмаза марки AC32 зернистости 200/160 с  $\chi_{ср} = 12.9 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$  содержит зерна алмаза, которые по удельной магнитной восприимчивости распределяются от  $\chi = 12.4 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$  до  $\chi = 15.9 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ , однородность по удельной магнитной восприимчивости  $K_\chi = 29.9 \%$ . Графическое изображение результатов определения магнитных характеристик алмазных порошков марки AC32 зернистости 200/160 представлено на рис. 3.



Рис. 3. Характеристики удельной магнитной восприимчивости ( $\lambda$ ,  $\alpha$  и  $\upsilon$ ) порошка AC32 зернистости 200/160

Для шлифпорошка синтетического алмаза марки AC50 зернистости 315/250, синтезированного в системе Fe-Co-C с помощью разработанной программы выполнены определения средневзвешенного значения удельной магнитной восприимчивости, его однородности и состав порошка по  $\chi$ . На рис. 4 представлена электронная аналитическая таблица состава этого порошка по удельной магнитной восприимчивости, полученная после внесения в программу данных о результатах разделения исследуемого порошка в магнитном поле разной напряженности от 0 до 2.0 Тл при разной силе тока.

Как следует из рис. 4 алмазный порошок алмаза марки AC50 зернистости 315/250 с  $\chi_{ср} = 99.26 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$  содержит зерна алмаза, которые по удельной магнитной восприимчивости распределяются от  $\chi = 79 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$  до  $\chi = 190 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ , однородность по удельной магнитной восприимчивости составляет  $K_\chi = 14 \%$ .

Рис. 4. Таблица анализа по удельной магнитной восприимчивости порошка алмаза, синтезированного в системе Fe-Co-C, марки AC50 зернистости 315/250

Аналитическая оценка магнитных характеристик порошка синтетического алмаза марки АС6 зернистости 125/100, полученного в системе Fe-Si-C со средней удельной магнитной восприимчивостью  $\chi_{\text{пор}} = 151 \cdot 10^{-8}$  в м<sup>3</sup>/кг. Порошок алмаза был разделен в магнитном поле разной напряженности от 0 до 2.0 Тл на 8 продуктов разделения. В табл. 1 показан фракционный состав порошка по магнитным свойствам.

Таблица 1. Фракционный состав порошка АС6 125/100 по магнитным свойствам

Группа зерен порошка	Интервал значений удельной магнитной восприимчивости, $\chi \cdot 10^{-8}$ , м <sup>3</sup> /кг	Содержание зерен в порошке $\gamma_i$ , %	Кумулятивное содержание зерен в порошке $\Sigma \gamma_i \downarrow$ , %	Кумулятивная характеристика удельной магнитной восприимчивости порошка $\bar{\chi}_i \downarrow \cdot 10^{-8}$ , м <sup>3</sup> /кг	Кумулятивное содержание зерен в порошке $\Sigma \gamma_i \uparrow$ , %	Кумулятивное значение удельной магнитной восприимчивости порошка $\bar{\chi}_i \uparrow \cdot 10^{-8}$ , м <sup>3</sup> /кг
1	2	4	5	6	7	8
1	0.65 – 2.55	1.0	1.0	1.60	100.0	151.15
2	2.55 – 5.70	2.0	3.0	2.87	99.0	152.66
3	5.70 – 17.95	18.0	21.0	7.18	97.0	155.73
4	17.95 – 79.00	31.0	52.0	19.59	79.0	189.42
5	79 – 190	24.0	76.0	54.46	48.0	293.67
6	190 - 390	13.6	89.6	84.14	24.0	457.33
7	390 - 1175	8.8	98.4	124.01	10.4	728.46
8	1175 - 2465	1.6	100.0	151.15	1.6	1820
Всего		100.0				

Как следует из табл. 1, порошок марки АС6 зернистости 125/100 состоит из зерен с удельной магнитной восприимчивостью от  $\chi = 1.6 \cdot 10^{-8}$ ,  $\text{м}^3/\text{кг}$  до  $\chi = 1820.0 \cdot 10^{-8}$ ,  $\text{м}^3/\text{кг}$  с различным количественным содержанием зерен с такой удельной магнитной восприимчивостью. Однородность порошка по магнитным свойствам составляет 24 %.

**Выводы.** Разработанный метод оценки магнитных характеристик порошков синтетического алмаза использован для исследования магнитных свойств алмазов, синтезированных в разных ростовых системах: Ni-Mn-C, Fe-Si-C и Fe-Co-C. Оценка магнитных характеристик порошков производится с помощью аналитических таблиц и построения кривых оценки качества порошков  $\lambda$ ,  $\alpha$  и  $v$ . Метод позволяет помимо расчета средневзвешенной величины удельной магнитной восприимчивости, выполнять анализ состава порошка по удельной магнитной восприимчивости и оценивать однородность порошка по его удельной магнитной восприимчивости.

**Список литературы:** 1. 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. 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. Ильницкая Г.Д., Богатырева Г.П., Невструев Г.Ф. Получение высококачественных алмазных шлифпорошков // Синтез, спекание и свойства сверхтвердых материалов: Сб. науч. тр. – Киев: ИСМ НАН Украины, 2005. – С. 63-71. 4. М88 України 90.256–2004 Определения удельной магнитной восприимчивости сверхтвердых материалов (СТМ). Методика; Введ. 01.01.2004. – ИСМ НАН Украины, 2004. – 9 с. 5. Новиков Н.В., Невструев Г.Ф., Ильницкая Г.Д. и др. Оценка качества порошков сверхтвердых материалов. Часть 1. Теоретические основы метода оценки характеристик качества // Сверхтвердые материалы. – 2006. – № 5. – С. 74-83.

Надійшла до редколегії 22.04.2009 р.

## ОЦЕНКА МАГНИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОРОШКОВ СИНТЕТИЧЕСКОГО АЛМАЗА

**Богатырева Г.П., Ильницкая Г.Д., Кущ В.И., Невструев Г.Ф., Маринич М.А.,  
Олейник Н.А., Зайцева И.Н.**

Стаття присвячена розробці методу оцінки магнітних характеристик порошків синтетичного алмазу, який використаний для дослідження магнітних властивостей алмазів, синтезованих в різних ростових системах: Ni-Mn-C, Fe-Si-C и Fe-Co-C.

*синтез алмаз, магнитные характеристики, метод, аналитические таблицы*