УДК 621.762.3

Г.Д. Ильницкая, канд. техн. наук**; Н.А. Олейник,** канд. техн. наук**;**
Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, Украина
Тел: +38 (067) 446-36-48; *E-mail:* oleynik_nonna@ukr.net

РАЗДЕЛЕНИЕ АЛМАЗНЫХ МИКРОПОРОШКОВ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Представлены результаты исследования влияния способа разделения микропорошков в магнитном поле на их магнитный фракционный состав и сепарационную характеристику. Показано, что закрепление катионов Fe на поверхности частиц порошка позволяет увеличить эффективность разделения.
***Ключевые слова**: микропорошки синтетического алмаза, разделение в магнитном поле, магнитный фракционный состав, сепарационная характеристика*

1. Введение. Алмазные микропорошки широко используют в процессах механообработки труднообрабатываемых материалов. Их изготовление сложный технологический процесс, направленный на получение порошков однородных по физико-механическим, физико-химическим, эксплуатационным характеристикам. Одним из методов, применяемых при изготовлении функциональных порошков специального назначения, является сортировка порошков в магнитном поле [1].

Известно, что электронное строение алмаза обеспечивает его диамагнетизм (удельная магнитная восприимчивостью (χ) составляет $-0{,}62\cdot10^{-8}$ $м^3/кг$). Порошки синтетического алмаза (СА) гетерофазный материал, с точки зрения магнетизма синтетические алмазы принято рассматривать как диамагнитную алмазную матрицу с вкрапленными в нее магнитными включениями. Порошки СА состоят из кристаллов, магнитные свойства которых обусловлены присутствием в них включений и поверхностных примесей, зависят от химического состава, фазового состояния включений, их количества и дисперсности [2]. В процессе изготовления порошков в результате измельчения, термообработки, химической очистки магнитные характеристики порошков СА существенно изменяются. На рис. 1 представлены результаты исследования магнитных свойств алмазных порошков: шлифпорошков с размером зерен от 40 до 800 мкм, субмикро- и микропорошков с размером зерен от 0,1 до 60 мкм, а также УДА с размером зерен $(3—6)\cdot10^{-6}$ мкм в зависимости от способов очистки [3].

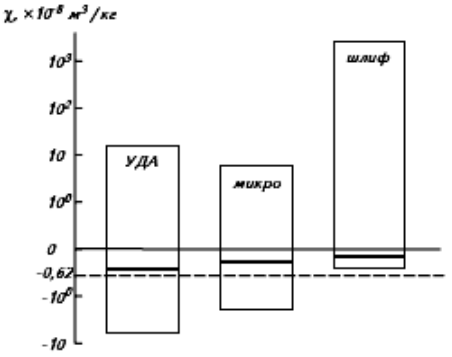


Рис. 1. Удельная магнитная восприимчивость алмазных порошков разной крупности в процессе их очистки: — предельные значения удельной магнитной восприимчивости идеально чистых СА

На рисунке пунктирной линией обозначено теоретическое значение удельной магнитной восприимчивости алмаза, темными линиями представлены предельные значения удельной магнитной восприимчивости наиболее чистых алмазов в каждой группе порошков. Как видно из рис.1, удельная магнитная восприимчивость порошков СА приближается к теоретическому значению по мере уменьшения размера частиц порошка. Наименьшей величиной и разбросом значений удельной магнитной восприимчивости обладают микропорошки СА.

Известно применение сухого метода разделения в магнитном поле шлифпорошков СА, (позволяющее) получать порошки с различным содержанием внутрикристаллических включений и примесей. Для повышения контрастности магнитных свойств частиц порошка применяют предварительную термообработку [2]. Для сортировки алмазных шлифпорошков нашел применение адгезионно-магнитный (АМ) способ. Он основан на целенаправленном создании контрастности магнитных свойств зерен и последующем их разделении по степени дефектности поверхности в полиградиентном магнитном поле на фракции [1]. При наличии тонких классов материалов, обычно применяют мокрое разделение в магнитном поле, используя прямоточный режим [4]. Для изготовления особочистых нанодисперсных алмазных порошков применяют мокрое разделение в магнитном поле. Для повышения эффективности разделения на поверхность частиц предварительно наносят катионы металлов переходной группы таблицы Мендееева из растворов их солей [5].

Прогнозирование результатов разделения порошков, сравнение способов разделения невозможно без установления основных характеристик, описывающих магнитные свойства порошка: магнитного фракционного состава порошка и сепарационной характеристики. Магнитный фракционный состав дает представление распределения выходов фракций разделяемого материала (γ, %) с различной величиной удельной магнитной восприимчивости и может быть представлен в виде таблиц или функцией. Сепарационная характеристика позволяет определить степень извлечения каждой из фракций в концентрат по отношению к разделяемому порошку и представляет непрерывную функцию – зависимость извлечения элементарных фракций разделяемого материала (ε, %) от удельной магнитной восприимчивости. Ее главными параметрами являются граница разделения, которая соответствует удельной магнитной восприимчивости фракции с 0,5 извлечением и крутизна кривой в точке границы разделения [4].

В литературных источниках нами не обнаружены результаты систематических исследований влияния способов обработки и разделения алмазных микропорошков в магнитном поле на магнитный фракционный состав порошка и сепарационную характеристику.

Целью работы является исследование магнитного фракционного состава порошка и сепарационной характеристики микропорошка СА, полученных на основании разделения порошка в магнитном поле.

2. Методика проведения исследований. Исследование проведено согласно схеме (рис.1). Исследования проводили на микропорошке алмаза АСМ 20/14, изготовленного по традиционной технологии, а также порошке АСМ 20/14, изготовленном по традиционной технологии после импульсной обработки высоковольтным электрическими разрядами (ВЭР) и последующей химической очистки [1].

Разделение порошка в магнитном поле выполняли на специально разработанном стенде при силе тока 1 А, 3 А и 5 А, используя металлические шары. Порошок разделяли в виде суспензии с концентрацией порошка на менее 0,5 %, которую прямотоком подавали в магнитную систему. Разделение порошка проводили с предварительным закреплением ионов железа на поверхности частиц и без него.

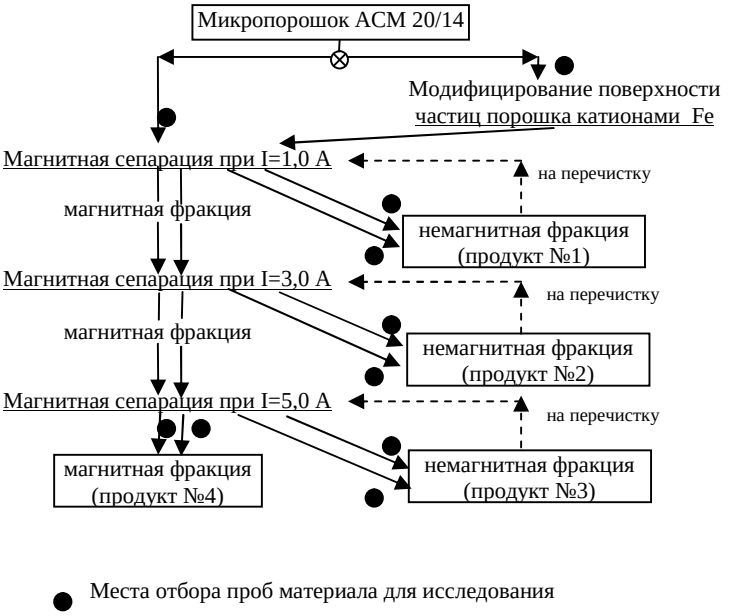


Рис. 2. Схема подготовки образцов материала для исследования

Магнитный фракционный состав порошка определяли по результатам разделения порошка в магнитном поле с разной напряженностью (изменяя силу тока) на несколько продуктов. Для каждого продукта определяли массу, выход от массы разделяемого порошка (γ, %) и удельную магнитную восприимчивостью порошка ($\chi_п$, $\cdot 10^{-8}$ м^3/кг). По результатам проводили построение кривых распределения и их аппроксимацию. Рассчитывали извлечение порошка ($\varepsilon=\gamma\cdot\chi_т/\chi_{исх.}$, доли ед.), а затем суммарное извлечение порошка, имеющего заданную удельную магнитную восприимчивость ($\chi_т$, $\cdot 10^{-8}$ м^3/кг). По результатам проводили построение сепарационных кривых и их аппроксимацию.

Удельную магнитную восприимчивость определяли по методике, описанной в работе [1]

3. Результаты. Результаты определения фракционного состава порошка представлены на рис.3.

Полученные распределения позволяют определить количество порошка с заданной удельной магнитной восприимчивостью. Из рис.3 видно различие магнитных характеристик порошков изготовленных различными способами. Области расположения кривых 1, 2 и кривых 3, 4 существенно различаются. Полученные распределения частиц микропорошка АСМ 20/14, изготовленного каждым из способов близки, однако, распределения частиц порошка, полученные без закрепления катионов Fe и с закреплением для порошка, различаются.

Это подтверждается коэффициентами уравнений аппроксимации кривых фракционного состава (табл. 1).

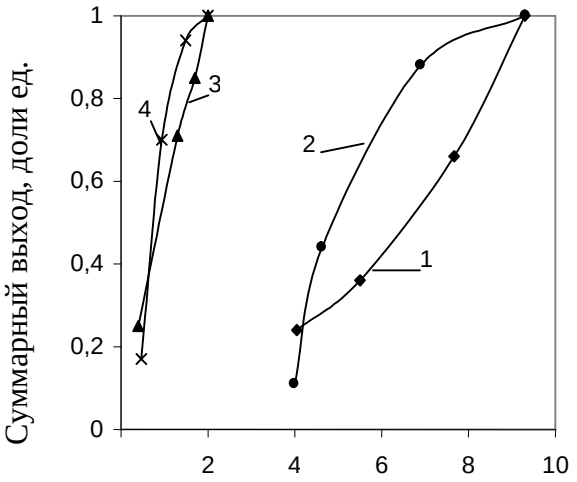


Рис. 3. Магнитный фракционный состав микропорошка АСМ 20/14: исходного (1, 2), полученного с применением обработки ВЭР (3, 4). 1, 3 - распределения построены по результатам магнитного разделения, 2, 4 - распределения построены по результатам разделения с закрепленными катионами Fe

Таблица 1. Аппроксимация кривой фракционного состава микропорошка АСМ 20/14, установленного по результатам разделения порошка в виде суспензии в магнитном поле

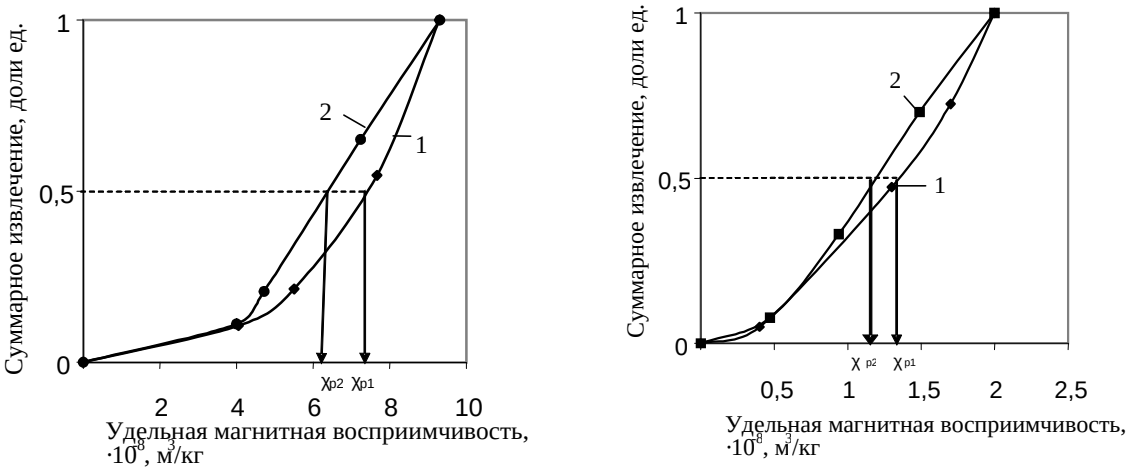
Вид обработки порошка	Вид аппроксимации			
	Линейная	R^2	Логарифмическая	R^2
Без обработки	y=0,1444x-0,3921	0,9729	y=0,8899Ln(x)-1,0748	0,9250
Модифицирование поверхности катионами Fe	y=0,1585x-0,3769	0,8711	y=1,01302Ln(x)-1,2163	0,9316
Изготовление порошка после обработки ВЭР	y=0,4652x-0,0745	0,9958	y=0,4411Ln(x)-0,6397	0,9815
Изготовление порошка после обработки $ВЭР_+$ модифицирование поверхности катионами Fe	y=0,5266x-0,5740	0,8557	y=0,5887Ln(x)-0,6620	0,9660
* R^2, достоверность аппроксимации				

Как следует из табл.1 Фракционный состав алмазного микропорошка может быть описан как линейной функцией с достоверностью более R^2=0,85, так и логарифмической функцией с достоверностью более R^2=0,92. Что позволяет рассчитать выход продукта (фракции) порошка с заданной удельной магнитной восприимчивостью.

Как известно, идеальная сепарационная кривая имеет ступенчатый вид и может быть описана следующим образом [4]:

$$\varepsilon(\chi) = 0, \text{ при } \varepsilon(\chi) < \varepsilon(\chi_p); \quad \varepsilon(\chi) = 0{,}5; \text{ при } \varepsilon(\chi) = \varepsilon(\chi_p); \quad \varepsilon(\chi) = 1{,}0; \text{ при } \varepsilon(\chi) > \varepsilon(\chi_p)$$

Как правило, в реальности сепарационная характеристика лишь приближается к идеальной, плавно возрастая от 0 к 1. Чем выше угол наклона кривой (tgα), тем сепарационная характеристика ближе к идеальной, а процесс разделения совершеннее. На рис.4 представлены сепарационные характеристики микропорошка АСМ 20/14, изготовленного по традиционной технологии, а также с применением обработки ВЭР. Кривые построены по результатам разделения в магнитном поле без закрепления и с закреплением катионов Fe.



а) б)

Рис. 4. Сепарационные характеристики микропорошка АСМ 20/14, изготовленного по традиционной технологии (а), с применением обработки ВЭР (б), построенные по результатам разделения в магнитном поле (1), с закрепленными катионами Fe

Как видно из рис.4а и рис. 4б сепарационные характеристики порошка (кривые 1 и 2), построенные по результатам разделения в магнитном поле без катионов Fe на поверхности и с ними, близки по виду и диапазону изменения удельной магнитной восприимчивости. На вид сепарационной характеристики и диапазон изменения удельной магнитной восприимчивости влияет способ изготовления порошка.

В таблице 2 представлены результаты линейной аппроксимации сепарационных кривых, рассчитанные границы разделения и угол наклона кривых

Граница разделения ($\varepsilon(\chi_p)$ = const) соответствует продукту, который наполовину извлекается в концентрат [4]. Таким образом, координата (χ_p) может быть вычислена по функции аппроксимации сепарационной кривой исходя из условия $\varepsilon(\chi_p) = 0{,}5$.

Как следует из полученных результатов (табл.4) сепарационная характеристика микропорошка АС20/14, изготовленного различными способами и разделенного в магнитном поле может быть описана линейной зависимостью, при достоверности более

R^2=0,94. Сравнивая величину границы разделения ($\chi_р$) порошка, изготовленного каждым из способов, видно, что разделение в магнитном поле порошка на поверхности частиц, которых закреплены катионы Fe приводит к извлечению в концентрат частиц с более низкими значениями удельной магнитной восприимчивости. Причем, для порошка, изготовленного по традиционной технологии, граница разделения отличается на 6,2 %, для порошка, изготовленного с применением ВЭР, отличается на 4,8 %. Сравнивая величину угла наклона кривых (tgα) видно, что угол наклона кривых, полученных в результате разделения в магнитном поле с закрепленными катионами Fe, выше, чем при разделении без них. Угол наклона сепарационных кривых порошка, полученного различными способами, различается в 3,4-3,6 раза. Таким образом, применение разделение в магнитном поле в жидкости с закрепленными катионами железа на поверхности частиц микропорошков СА более совершенно, что подтверждается сепарационной характеристики близкой к идеальной.

Таблица 2. Аппроксимация сепарационных кривых, полученных на основании разделения микропорошка АСМ 20/14 в виде суспензии в магнитном поле, граница разделения, угол наклона кривых

Вид обработки порошка	Линейная	R^2	$\chi_р$	tgα
Без обработки	y=0,1685x-0,6503	0,9470	6,85	0,1689
Модифицирование поверхности катионами Fe	y=0,1775x-0,6229	0,9902	6,43	0,1775
Изготовление порошка после обработки ВЭР	y=0,5747x-0,2170	0,9754	1,25	0,5747
Изготовление порошка после обработки $ВЭР_+$ Модифицирование поверхности катионами Fe	y=0,6325x-0,2573	0,9994	1,19	0,6325
* R^2, достоверность аппроксимации				

4. Заключение.

1. Экспериментально установлен магнитный фракционный состав алмазного микропорошка, который был получен разными методами и разделен в магнитном поле в виде суспензии с катиноами железа на поверхности частиц и без них. Состав может быть описан линейной функцией с достоверностью более R^2=0,85; логарифмической функцией с достоверностью более R^2=0,92. Что позволяет рассчитать выход продукта (фракции) порошка с заданной удельной магнитной восприимчивостью.
2. Рассчитаны сепарационные характеристики, границы разделения и тангенс угла наклона сепарационных кривых. Показано, что способ изготовления и способ разделения в магнитном поле влияют на параметры сепарационной характеристики микропорошка.

3. Применение разделения в магнитном поле в жидкости с закрепленными катионами железа на поверхности частиц микропорошков СА более совершенно, по сравнению с разделением без катионов железа, что подтверждается параметрами сепарационной характеристики близкой к идеальной.

Список литературы:

1. Сверхтвердые материалы. Получение и применение. Монография в 6 томах / Под редакцией Н.В. Новикова / Т.2.- Структура свойства СТМ. Методы исследования – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2004. – 320 с. ISBN 966-02-2560.

2. Физические свойства алмаза. Справочник /Под редакцией Н.В. Новикова – К.: Наук.думка, 1987. – 190 с.

3. Богатырева Г. П., Невструев Г. Ф., Ильницкая Г. Д. Магнитные свойства тонкодисперсных алмазных порошков // Сверхтвердые материалы, 2000, № 1. – С.4-9. ISSN 0203-3119.

4.Тихонов О.Н. Закономерности эффективного разделения минералов в процессах обогащения полезных ископаемых. – М.: недра, 1984. – 208 с.

5. Новіков М.В., Богатирьова Г.П., Ільницька Г.Д. Спосіб магнітної сепарації нанодисперсного алмазного порошку. – Патент України на винахід № 100066, МПК (2012.01), CO1B 31/06 (2006.01), B03C 1/00, B82У 40/00. Опубл. 12.11.2012 г. Бюл. № 21.

G.D. Ilnitskaya, N.A. Oliinyk

DIVISION OF MICROPOWDERS OF SYNTHETIC DIAMOND AT MAGNETIC FIELD

In the article are submitted results of research of influence of a way of division of micropowders in a magnetic field on their magnetic fractional structure and separation the characteristic. It is shown, that fastening caution Fe on surfaces of particles of a powder allows increasing efficiency of division

***Key words**: micropowders of synthetic diamond, division in a magnetic field, magnetic fractional structure, сепарационная the characteristic*

Г.Д. Ільницька, Н.А. Олійник

РОЗПОДІЛ АЛМАЗНОГО МІКРОПОРОШКУ В МАГНІТНОМУ ПОЛІ

Наведено результати дослідження впливу способу розподілу мікропорошків в магнітному полі на їх магнітний фракційний і сепараційну характеристику. Показано, що закріплення катіонів Fe на поверхні частинок порошку дозволяють підвищити ефективність розподілу.

***Ключові слова:** мікропорошки синтетичного алмазу, розподіл в магнітному полі, магнітний фракційний склад, сепараційна характеристика*

Надійшла до редколегії 27.05.2013 р.