

УДК 621.921.343-492.2.-541.128.13

**Н. А. Олейник, Г. А. Базалий, Г. Д. Ильницкая**  
**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОКИНЕТИЧЕСКИХ**  
**ХАРАКТЕРИСТИК МОДИФИЦИРОВАННЫХ**  
**НАНОПОРОШКОВ АЛМАЗА**

*Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН  
Украины, ул. Автозаводская 2, 04074, г. Киев, Украина*

E-mail: oleynik\_nonna@ukr.net; bazgal@ukr.net

*Приведены результаты исследования влияния модифицирования на изменение величины и знака электрокинетического потенциала и электрофоретической подвижности нанопорошков алмаза детонационного синтеза.*

**Введение.** Развитие радиоэлектроники, оптики и компьютерной техники требует создания высокоэффективных специальных паст, суспензий и наполнителей на основе алмазных нанопорошков со специальными физико-химическими свойствами, особенно электрокинетическими, которые характеризуются величиной и знаком электрокинетического потенциала (дзета-потенциала) и электрофоретической подвижностью. Алмазные нанопорошки детонационного синтеза (НАДС) изготавливают во многих странах при разных режимах синтеза и различных модификаций (марок) [1–9].

Электрокинетические характеристики нанопорошков, такие как величина и знак электрокинетического потенциала ( $\xi$ , мВ) и электрофоретической подвижности ( $V\phi$ , см<sup>2</sup>/с·В), которые характеризуют гидратированность поверхности порошков, определяют методом электроосмоса или электрофореза, при котором происходит движение заряженных частиц с двойным электрическим слоем под

действием силы тока в деионизированном электролите. На электрокинетические характеристики порошков влияют природа химических соединений и виды воздействий при синтезе, изготовлении и их модифицировании [1–10].

Многие фирмы при изготовлении нанопорошков алмаза детонационного синтеза (НАДС) регламентируют их электрокинетические характеристики [3–7]. При определении дзета-потенциала электрофоретическим методом фракционированных серийных НАДС производства РФЯЦ-ВНИИТФ (г. Снежинск, Россия) указаны значения дзета-потенциала трех фракций НАДС: (250–7000 нм) +16 мВ; (100–250) +32 мВ; (5–100) +41 мВ [3]. Для образцов НАДС производства ОФНМ и ФНПЦ «Алтай» (г. Красноярск, Россия) приведены значения дзета-потенциала образцов серийных (-30) – (-38) мВ и модифицированных (-50) – (-52) мВ [4]. Значения дзета-потенциала стандартизированных порошков НАДС производства НП ЗАО «СИНТА» (г. Минск, Беларусь) регламентированы в пределах от (-100) до (+100) мВ [5]. Исследования серийных (nanodiamond sample L) образцов НАДС китайского производства (corporation Lingyun Nanomaterials Co. Ltd, Chine), проведенные с помощью прибора «ZETASIZER3000HS» при концентрации алмазов 5:100 в деионизированной воде, показали, что дзета-потенциал образцов изменяется от (+20) мВ при pH=3 до (-35) мВ при pH=11 с нулевым значением при pH=4,3 [6]. В исследовании образцов НАДС французского производства ISL (Institut franco-allemand de recherches de Saint Louis) с помощью прибора «Malvern zetasizer Nano-ZS» в деионизированном электролите приведены значения дзета-потенциала трех образцов: (-11,6), (-55,5) и (+10,6) мВ [7].

Исследования, проведенные авторами ранее, показали, что минимальные величины дзета-потенциала (+40)–

(+5) мВ у образца нанопорошка марки АСУД-95 определяются в области значений рН (5,8–7,5), что, в свою очередь, соответствует значению рН=6,6 используемой в работе деионизированной воды [10].

Следует отметить, что в работе [6] показано, что значения дзета-потенциала образцов НАДС (исходного и двух модифицированных) минимальны (нулевые) при рН (4,3–8,5). В исследовании образцов НАДС французского производства авторы утверждают, что дзета-потенциал исходного образца при таких же значениях рН не изменяется, вследствие чего суспензия алмазов с дзета-потенциалом (–55,5) мВ при таком рН седиментационно устойчива [7]. Таким образом, при измерении в деионизированном электролите при рН (4,3–8,5) значения дзета-потенциала нанопорошков алмаза разных производств [3–7] изменяются от (–100) до (+100) мВ, причем знак потенциала зависит от способа обработки порошка.

На сегодня остаются актуальными исследования по определению характера изменения электрокинетического потенциала и электрофоретической подвижности нанопорошков алмаза детонационного синтеза от вида воздействия на них.

#### **Методика эксперимента.**

В настоящей работе исследовали исходные и модифицированные образцы нанопорошков алмазов детонационного синтеза (фирмы «АЛИТ» г. Житомир, Украина) марок АСУД-75, АСУД-80, АСУД-90, АСУД-95, АСУД-99 (с фиксированным содержанием алмазного углерода: 75, 80, 90, 95, 99 масс.%) [7]. Электрокинетические характеристики образцов НАДС исследовали методом электрофореза с помощью прибора «Dzeta-potential-analyzer» фирмы «Mikromeritics». Электрофоретическую подвижность порошков ( $V\phi$ , см<sup>2</sup>/с·В) и их

электрокинетический потенциал ( $\xi$ , мВ) измеряли в одинаковых для всех образцов условиях и режиме измерения: концентрация порошка в деионизированном электролите (рН=6,6) Т:Ж=1:12; сила тока 2 А; продолжительность измерений – 300 с по разработанной методике [8,10]. Исследовали три образца АСУД-90-1, АСУД-90-2, АСУД-90-3, полученные в результате модифицирования нанопорошка одной марки АСУД-90 тремя видами жидкофазной обработки поверхности нанопорошка с использованием различных окислителей.

### **Результаты и их обсуждение.**

Результаты измерений, проведенных на исходных образцах (АСУД-75, АСУД-80, АСУД-90, АСУД-95, АСУД-99), показали, что содержание углерода  $sp^2$ -гибридизации влияет на величину дзета-потенциала и электрофоретическую подвижность образца: величина дзета-потенциала изменяется от (+104,0) мВ (АСУД-75) до (+12,0) мВ (АСУД-99) в электроотрицательную сторону без изменения знака на отрицательный, т.е. при уменьшении доли углерода  $sp^2$ -гибридизации с 23,6 до 0 масс.% в образце величина дзета-потенциала снижается в 2–10 раз.

Модифицирование тремя видами жидкофазной обработки исходного нанопорошка марки АСУД-90 приводит к значительным изменениям электрокинетических характеристик образцов: снижается электрофоретическая подвижность в 1,1–7,5 раза от  $(+4,45) \cdot 10^{-5}$  см<sup>2</sup>/с·В образца АСУД-90-1 до  $(+0,78) \cdot 10^{-5}$  см<sup>2</sup>/с·В образца АСУД-90-3; соответственно снижается в 1,1–7,3 раза величина дзета-потенциала: от (+53,34) мВ (АСУД-90-1) до (+7,38) мВ (АСУД-90-3) и (-9,22) мВ (АСУД-90-2) с изменением знака на отрицательный. Увеличение электроотрицательности поверхности нанопорошка, вероятно, происходит вследствие адсорбции анионов и гидроксильных групп на

поверхности модифицированных порошков. Следует отметить, что модифицированием нанопорошка марки АСУД-90 можно изготовить порошки с показателями электрокинетических характеристик на уровне показателей нанопорошков марок АСУД-95 и АСУД-99, в которых доля углерода  $sp^2$ -гибридизации минимальна.

Сопоставительный анализ электрокинетических характеристик нанопорошков детонационного синтеза алмазов разных производств Украины, Беларуси, Китая, России, Франции показал, что показатели измерения дзета-потенциала при исследовании образцов НАДС сопоставимы и изменяются в пределах значений (-100) – (+100) мВ.

### **Выводы.**

Методом электрофореза исследованы электрокинетические свойства НАДС с различным содержанием углерода  $sp^2$ -гибридизации. Показано, что дзета-потенциал и электрофоретическая подвижность снижаются в 2–10 раз с уменьшением в образцах нанопорошков доли углерода  $sp^2$ -гибридизации с 23,6 до 0 масс. %.

Установлено, что после модифицирования исходного нанопорошка АСУД-90 снижается электрофоретическая подвижность в 1,1–7,5 раз. Величина электрокинетического потенциала у модифицированных образцов уменьшается в 1,1–7,3 раза, сдвигается в область более отрицательных значений.

### **Литература**

1. Даниленко, В.В. Синтез и спекание алмаза взрывом / В.В. Даниленко. – М.: Энергоатомиздат, 2003. – 272 с.
2. Новиков, Н.В. Наноалмазы статического и детонационного синтеза и перспектива их применения / Н.В. Новиков, Г.П. Богатырева // Сверхтвердые материалы. – 2008. – № 2. – С. 3-12.

3. Чухаева, С.И. Физико-химические свойства фракций, выделенных из ультрадисперсных алмазов / С.И. Чухаева, П.Я. Детков, А.П. Ткаченко, А.Д. Торопов // Сверхтвердые материалы.– 1998. – № 4. – С. 29-36.
4. Бондарь, В.С., Пузырь А.П. Наноалмазы для биологических исследований / В.С. Бондарь, А.П. Пузырь // Физика твердого тела.– 2004. –Т.46. – Вып.4. – С. 698-710.
5. Витязь, П.А. Состояние и перспективы использования наноалмазов детонационного синтеза в Белоруссии // Физика твердого тела.– 2004. –Т.46. – Вып.4. – С. 591-600.
6. Zhu, Y.W. Chemical mechanical modification of nanodiamond in aqueous system / Y.W. Zhu, X.Q. Shen, B.C. Wang et al. // Физика твердого тела.– 2004. –Т.46. – Вып.4. – С. 665-667.
7. Pichot, V. Zeta potential study of detonation nanodiamonds / V. Pichot, M. Comet, E. Fousson et al. // Proc. of the 3rd Intern. Sympos. «Detonation Nanodiamonds: Technology, Properties and Applications».– 2008.– St.-Petersburg, Russia. – P.79-82.
8. Богатырева, Г.П. М 28.5-277:2008. Метод определения электрокинетического потенциала нанопорошков алмаза детонационного синтеза / Г.П. Богатырева, М.А. Маринич, Г.А. Базалий.– К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2008. – 10 с.
9. Технические условия. Нанопорошки алмазные ультрадисперсные ТУ У 26.8–05417377-177:2007. Идент. код № 02568182/033000. – Киев: Укрметртестстандарт, 2007.–10 с.
10. Базалий, Г.А. Изучение электрокинетического потенциала алмазных нанопорошков детонационного синтеза / Г.А. Базалий // «Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения». –К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля, НАН Украины, 2013. – Вып. 16. – С. 329-335.