

ВПЛИВ МОДИФІКУВАННЯ НАНОПОРОШКІВ АЛМАЗУ ДЕТОНАЦІЙНОГО СИНТЕЗУ НА ЗМІНУ ЇХ ЕЛЕКТРОКІНЕТИЧНИХ ТА ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Г.А. Базалій, Н.О. Олійник, Г.Д. Ільницька

*Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, вул Автозаводська, 2,
Київ, 04074, Україна, e-mail: oleyunik_nonna@ukr.net; bazgal@ukr.net*

Розробка способів керування зміною функціонального покрову та енергетичного складу поверхні нанопорошків алмазу детонаційного синтезу необхідні для створення стійких суспензій та матеріалів з них.

Метою роботи є дослідження впливу модифікування нанопорошків алмазу детонаційного синтезу за допомогою рідинофазової термохімічної обробки на зміну електрокінетичних та електрофізичних характеристик порошку.

Досліджено нанопорошки алмазу марок АСУД-75 – АСУД-99 з різним вмістом вуглецю sp^2 -гібридизації, які виготовлено в ІНМ ім.В. М. Бакуля НАН України з продукту детонаційного синтезу алмазу ООО «АЛІТ» (м. Житомир). Досліджено нанопорошки алмазу марки АСУД-90 після їх модифікування за допомогою рідинофазової термохімічної обробки з використанням: плаву лугів, суміші нітратної та сульфатної кислот, суміші хромової та сульфатної кислот. Електрокінетичні характеристики нанопорошків алмазу: величину та знак електрокінетичного потенціалу, електрофоретичну рухливість, досліджували методом електрофорезу за допомогою приладу «Dzeta-potential-analyzer» фірми «Mikromeritics». Електрофізичні характеристики: тангенс кута діелектричних втрат ($tg\delta$), ємність, підвищення $tg\delta$ зразка порошку при вологості 0 % та 100 % визначали за допомогою приладу «Измеритель цифровой E7-12». Відомими методами досліджували фізико-хімічні характеристики нанопорошків: питомий електроопір, вміст вуглецю sp^2 -гібридизації, масову частку домішок у вигляді неспаленого залишку, питому площу поверхні.

*В роботі методом електрофорезу встановлено, що значення електрокінетичного потенціалу та електрофоретичної рухливості порошку знижуються в 2–10 рази при зменшенні масової частки вуглецю sp^2 -гібридизації з 23,6 до 0 мас.%.
На прикладі нанопорошку марки АСУД-90, показано, що модифікування нанопорошку рідинофазним методом з використанням термохімічної обробки сумішами окислювачів приводить до зниження значень електрофоретичної рухливості в 1,1–7,5 рази та електрокінетичного потенціалу в 1,1–7,3 рази.*

Методом дієлькометрії встановлено, що тангенс кута діелектричних втрат нанопорошків алмазу марок АСУД-90 – АСУД-99 знаходяться в інтервалі 0,3046 - 0,3146. Модифікування нанопорошку марки АСУД-90 за допомогою рідинофазової термохімічної обробки призводить до зміни інтервалу тангенсу кута діелектричних втрат 0,2450-0,3249). За ступенем підвищення співвідношення тангенсу кута діелектричних втрат при вологості 100 % до вологості 0 % способи модифікування нанопорошків можна розташувати наступним чином: модифікування з використанням плаву лугів (зразок АСУД-90-1, $S=12,8\%$) < суміші хромової та сульфатної кислот (зразок АСУД-90-3, $S=13,8\%$) < суміші нітратної та сульфатної кислот (зразок АСУД-90-2, $S=20,8\%$)

Ключові слова: *нанопорошки алмазу, модифікування порошку, електрофізичні, електрокінетичні*

Розвиток технічного прогресу потребує створення паст, суспензій, наповнювачів на основі алмазних нанопорошків із спеціальними електрокінетичними характеристиками, значеннями яких можна керувати за допомогою модифікування порошку. Алмазні нанопорошки детонаційного синтезу виготовляють у багатьох країнах світу за різних режимів синтезу та різноманітних модифікацій і марок [1, 2].

Відомо, що на електрокінетичні характеристики нанопорошків (електрокінетичний потенціал (дзета-потенціал, мВ) та електрофоретичну рухливість (електрофорезну швидкість, $\text{cm}^2/\text{c}\cdot\text{V}$)) впливають методи синтезу, виготовлення нанопорошків та їх модифікування, природа хімічних з'єднань, які використовують під час синтезу та виготовлення порошків [3 –]. Електрокінетичний потенціал (енергія електростатичного відштовхування частинок) – параметр, величина якого впливає на стійкість суспензій. Його визначають методом електроосмосу або електрофорезу, при якому відбувається рух заряджених частинок з подвійним електричним шаром під дією сили струму в деіонізованому електроліті [3]. Величина та знак електрокінетичного потенціалу нанопорошків характеризує гідратованість поверхні порошків та залежать від хімічного складу функціональних груп, питомої площі та енергетичного стану поверхні. [3, 6 – 8].

Значення електрокінетичного потенціалу (дзета-потенціалу) нанопорошків алмазу виробництв України, Білорусі, Китаю, Франції, Росії змінюються від (–100) до (+100) мВ при вимірюванні у деіонізованому електроліті при рН (4,3–8,5) та залежать від способу обробки порошку [6].

Відомо, що методи діелькометрії, базуються на вимірюванні діелектричної проникності та тангенсу кута діелектричних втрат ($\text{tg}\delta$) порошку. Кутом діелектричних втрат (δ) звать кут, що доповнює 90° кут зсуву фаз між струмом, що проходить крізь діелектрик, і прикладеною до нього напругою. Чим більше розсіювана в діелектрику потужність, яка переходить у тепло, тим більше кут діелектричних втрат та його функція - тангенс кута діелектричних втрат tg . Таким чином, тангенс кута діелектричних втрат характеризує структуру, наявність поверхневих і внутрішніх дефектів, електропровідних домішок у зразку дисперсного порошку [9].

В літературі нами не знайдено відомостей про результати дослідження впливу модифікування нанопорошків алмазу детонаційного синтезу методом рідинофазової термохімічної обробки при застосуванні окислювачів на зміну гідратованості поверхні порошків.

Таким чином, дослідження характеру зміни електрокінетичного потенціалу та електрофоретичної рухливості, тангенсу кута діелектричних втрат нанопорошків алмазу детонаційного синтезу під впливом рідинофазової термохімічної обробки лишаються актуальними та необхідними для розробки процесів очистки, модифікування та керування характеристиками поверхні нанопорошків алмазу, створення стійких суспензій та матеріалів з них.

Мета роботи – дослідження впливу модифікування нанопорошків алмазу детонаційного синтезу за допомогою рідинофазової термохімічної обробки на зміну електрокінетичних та електрофізичних характеристик порошку.

Методика. Дослідження проводили на вихідних нанопорошках алмазу марок АСУД-75 – АСУД-99 з різним вмістом вуглецю sp^2 -гібридизації. Порошки виготовлено в ІНМ ім.В. М. Бакуля НАН України з продукту детонаційного синтезу алмазу ООО «АЛІТ» (м. Житомир) [10]. Також досліджували нанопорошки алмазу марки АСУД-90 після їх модифікування. Модифікування проводили за допомогою рідинофазової термохімічної обробки з використанням: плаву лугів (зразок АСУД-90-1), суміші

нітратної та сульфатної кислот (зразок АСУД-90-2), суміші хромової та сульфатної кислот (зразок АСУД-90-3), за температури реакції, наступній нормалізації поверхні промивкою дистильованою водою за температури кипіння до нейтральної реакції промивних вод.

Електрокінетичні характеристики нанопорошків алмазу, зокрема величину та знак електрокінетичного потенціалу (дзета-потенціалу, мВ) та електрофоретичну рухливість ($\text{см}^2/\text{с}\cdot\text{В}$), досліджували методом електрофорезу за допомогою приладу «Dzeta-potential-analyzer» фірми “Mikromeritics” за методикою [11] в однакових для всіх зразків умовах: електроліт – бідистильована вода ($\text{pH}=6,6$; електроопір 110000 Ом); при одному режимі вимірювання (концентрація порошку в суспензії – 1 : 12; сила струму – 2 А; час вимірювань – 300 с).

На зразках нанопорошків АСУД-90-1, АСУД-90-2, АСУД-90-3 було проведено визначення тангенсу кута діелектричних втрат, ємності (С, рF) та ступеню підвищення $\text{tg}\delta$ зразка порошку при вологості 0 % та 100 %. Величину тангенсу кута діелектричних втрат та ємності зразку дисперсних порошків визначали за допомогою приладу «Измеритель цифровой Е7-12», що дає змогу проводити вимірювання $\text{tg}\delta$ зразка в напівавтоматичному режимі при частоті коливань напруги 1 МГц з паралельним вимірюванням ємності (С, рF) за методикою [12]. За ступенем підвищення величини тангенсу кута діелектричних втрат (S, %) зразка сухого порошку, що вимірюють за вологості 0%, 50%, 100% та розраховують у відсотках різницю значень $\text{tg}\delta$ за вологості при 0% та 100%, визначали вплив на гідратованість поверхні порошку.

Відомими методами в роботі досліджували фізико-хімічні характеристики алмазних нанопорошків: питомий електроопір (Ом·м) [13], вміст вуглецю sp^2 -гібридизації (мас.%), масову частку домішок у вигляді неспалимого залишку (мас.%), питому площу поверхні ($\text{м}^2/\text{г}$).

Результати та їх обговорення

Результати дослідження електрокінетичних та електрофізичних характеристик зразків нанопорошків алмазу марок АСУД-75, АСУД-80, АСУД-90, АСУД-95, АСУД-99 з фіксованим вмістом вуглецю sp^2 -гібридизації зведено в табл.1.

Таблиця 1. Електрокінетичні та електрофізичні характеристики нанопорошків алмазу марок АСУД-75, АСУД-80, АСУД-90, АСУД-95, АСУД-99

Характеристика	Марка нанопорошку				
	АСУД-75	АСУД-80	АСУД-90	АСУД-95	АСУД-99
Вміст (неалмазного) вуглецю sp^2 -гібридизації, мас. %	23,6	17,7	5,3	3,8	0,0
Питома площа поверхні, $\text{м}^2/\text{г}$	-	271,3	238,5	240,2	237,2
Масова частка домішок у вигляді неспалимого залишку, мас. %	1,40	0,70	0,80	0,55	0,45
Електрофоретична рухливість (електрофорезна швидкість), $\times 10^{-5}$, $\text{см}^2/(\text{с}\cdot\text{В})$	+6,9	+5,34	+4,34	+2,53	+1,70
Електрокінетичний потенціал (дзета-потенціал), мВ	+104,0	+81,0	+54,0	+33,0	+12,0
Тангенс кута діелектричних втрат при вологості 0%, $\text{tg}\delta$,	-	-	0,3146	0,3064	0,3046
Питомий електроопір, Ом·м	100	12,6	$4,2\cdot 10^6$	$2,8\cdot 10^7$	$6,0\cdot 10^8$

З результатів, наведених у таблиці 1 випливає, що вміст вуглецю sp^2 -гібридації впливає на величину дзета-потенціалу та електрофоретичну рухливість зразка: величина дзета-потенціалу змінюється від (+104,0) мВ (АСУД-75) до (+12,0) мВ (АСУД-99) в електронегативну сторону без зміни знаку на від'ємний, тобто при зменшенні частки вуглецю sp^2 -гібридації з 23,6 до 0 мас. % в зразку величина дзета-потенціалу знижується в 2–10 разів. Слід зауважити, якщо електрокінетичний потенціал зразків знижується (без зміни знаку на негативний) при зменшенні частки вуглецевих та кисневих з'єднань або груп з переважанням катіонів на поверхні частинок, то поверхня досліджуваних алмазних нанопорошків має негативний заряд.

Результати дослідження електрокінетичних характеристик зразків нанопорошку алмазу марки АСУД-90 з фіксованим вмістом вуглецю sp^2 -гібридації після модифікування за допомогою рідинофазової термохімічної обробки з отриманням зразків АСУД-90-1, АСУД-90-2, АСУД-90-3 зведено у табл. 2.

Таблиця 2. Електрокінетичні характеристики зразків нанопорошків АСУД-90-1, АСУД-90-2, АСУД-90-3

Характеристика	Зразки модифікованого нанопорошку марки АСУД-90		
	АСУД-90-1	АСУД-90-2	АСУД-90-3
Електрофоретична рухливість (електрофорезна швидкість), $\times 10^{-5}$, $\text{см}^2/(\text{с}\cdot\text{В})$	+4,446	-0,7816	+0,625
Електричний опір суспензії порошку, Ом	6160	7020	9650
Електрокінетичний потенціал (дзета-потенціал), мВ	+53,34	-9,22	+7,38

З результатів наведених у таблиці 2 випливає, що модифікування рідинофазовою обробкою із застосуванням різних окислювачів вихідного нанопорошку АСУД-90 призводить до значних змін електрокінетичних характеристик, зокрема знижується електрофоретична рухливість в 1,1–7,5 рази від $+4,446 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2/(\text{с}\cdot\text{В})$ у зразка АСУД-90-1 до $0,7816 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2/(\text{с}\cdot\text{В})$ зразка АСУД-90-2; відповідно знижується в 1,1–7,3 рази величина електрокінетичного потенціалу – від (+53,34) мВ (АСУД-90-1) до (+7,38) мВ (АСУД-90-3) та (–9,22) мВ (АСУД-90-2) зі зміною знаку на від'ємний. Збільшення електровід'ємності поверхні нанопорошку відбувається, ймовірно, внаслідок адсорбції аніонів та гідроксильних груп на поверхні модифікованих порошків.

Слід зазначити, що електрокінетичні характеристики отриманих зразків модифікованого нанопорошку АСУД-90 (АСУД-90-1, АСУД-90-2, АСУД-90-3) порівняно до показників нанопорошків марок АСУД-95 та АСУД-99 (табл. 1, 2) суттєво відрізняються. Тому, внаслідок модифікування нанопорошку АСУД-90 можна отримати порошки (зразки АСУД-90-2, АСУД-90-3) з показниками електрокінетичних характеристик на рівні і краще показників нанопорошків марок АСУД-95 та АСУД-99, в яких частка вуглецю sp^2 -гібридації мінімальна (табл. 1).

На зразках модифікованих нанопорошків АСУД-90-1, АСУД-90-2, АСУД-90-3 при вологості 0%, 50%, 100% було проведено визначення тангенсу кута діелектричних втрат, ємності та ступеню підвищення кута діелектричних втрат порошку відносно показника при 0 % вологості, який прийнято за 100 %. Результати дослідження наведено у таблиці 3.

Таблиця 3. Електрофізичні характеристики нанопорошку марки АСУД-90 після модифікування (зразки АСУД-90-1, АСУД-90-2, АСУД-90-3)

Назва показника	Вологість, %	Значення показників зразків модифікованого нанопорошку марки АСУД-90		
		АСУД-90-1	АСУД-90-2	АСУД-90-3
Тангенс кута діелектричних втрат, $\text{tg}\delta$	0	+0,3249	+0,2704	+0,2450
	50	+0,3522	+0,2788	+0,2477
	100	+0,3665	+0,3266	+0,2768
Ємність, С, pF	0	+1,865	+1,798	+1,710
	50	+1,965	+1,777	+1,705
	100	+2,028	+1,893	+1,808
Ступінь підвищення тангенсу кута діелектричних втрат відносно показника при 0 % вологості, S %	0 → 50	+8,4%	+3,1%	+1,1%
	0 → 100	+12,8%	+20,8%	+13,8%

Відомо, що тангенс кута діелектричних втрат ($\text{tg}\delta$) залежить від структури частинок порошку – чим менше поверхневих і внутрішніх дефектів, вологи, тим менше має бути значення $\text{tg}\delta$ [9,12].

Відомо, що порошки після модифікування рідиннофазовою обробкою із застосуванням різних окислювачів вихідного нанопорошку АСУД-99 мають мікро-мезопористу структуру з розвинутою мезопористістю та близьким розподіленням пор за розмірами в інтервалі 2–20 нм. Об'єм пор становить 0,93-1,04 мл/г. Модифікування призводить до зростання об'єму пор на 4,0–12,0% та середнього радіусу пор на 5,0–9,0%, що сприяє покращенню доступу вологи [8].

Як відомо, у капілярно-пористих матеріалів електричні параметри, зокрема, діелектрична проникність і тангенс кута діелектричних втрат сильно залежать від вмісту вологи та стану води в різних формах зв'язку з сухим скелетом. При відсутності вологи капілярно-пористі матеріали мають низьку діелектричну проникність. Вплив води на діелектричні характеристики матеріалів залежить від форм її зв'язку з сухим скелетом матеріалу. Якщо вода знаходиться в мікрокапілярах або у вигляді адсорбційних молекулярних шарів, вона має слабку діелектричної проникністю. Це можна пояснити силами, які розвиваються в обмежених поверхнях між твердою частиною матеріалу і водою і гальмують обертання дипольних молекул води, таким чином, перешкоджаючи поляризації матеріалу як діелектрика. Характер зміни діелектричної проникності матеріалу в функції від його вмісту вологи буде залежати від розмірів капілярів і від товщини молекулярних шарів. Тому з ростом вмісту вологи величина діелектричної проникності збільшується незначно, поки вода адсорбується в мікрокапілярах і дрібних порах, далі при великих значеннях вмісту вологи, коли вода заповнює макрокапіляри і великі пори діелектрична проникність різко зростає. До того ж, при підвищенні вмісту вологи не тільки змінюється характер поляризації діполів води, але і з'являється іонна провідність, що веде до зростання діелектричних втрат[14]

Таким чином, за ступенем підвищення величини тангенсу кута діелектричних втрат зразка сухого порошку, що вимірюють за різних показників вологості середовища (при вологості 0%, 50%, 100%), можна визначити вплив на гідратованість поверхні порошку.

З результатів табл.3 видно, що модифікування нанопорошку марки АСУД-90, величина тангенсу кута діелектричних втрат якого складає 0,3146 при 0 % вологості, призводить до зростання $\text{tg}\delta$ на 3,3% зразок АСУД-90-1 (обробка плавом лугів), зменшення $\text{tg}\delta$ на 11,4% зразок АСУД-90-2 (обробка сумішшю нітратної та сульфатної кислот), зменшення $\text{tg}\delta$ на 21,3% зразок АСУД-90-3 (обробка сумішшю хромової та сульфатної кислот). Слід зазначити, що модифікування порошку всіма розглянутими способами призвело до підвищення величини тангенсу кута діелектричних втрат при вологості 100 % до вологості 0 %, тобто підвищення гідратованості поверхні порошку, зокрема: обробка плавом лугів – на 12,8 % , обробка сумішшю нітратної та сульфатної кислот - на 20,8 %, обробка сумішшю хромової та сульфатної кислот - на 13,8%.

Висновки

Методом електрофорезу досліджено електрокінетичні характеристики нанопорошків алмазу з різним вмістом вуглецю sp^2 -гібридації. Встановлено, що значення електрокінетичного потенціалу та електрофоретичної рухливості порошку знижуються в 2–10 рази при зменшенні масової частки вуглецю sp^2 - гібридації з 23,6 до 0 мас.%.

На прикладі нанопорошку марки АСУД-90 показано, що модифікування нанопорошку рідинофазним методом з використанням термохімічної обробки сумішами окислювачів приводить до зниження значень електрофоретичної рухливості в 1,1–7,5 рази та електрокінетичного потенціалу в 1,1–7,3 рази.

Методом діелькометрії встановлено тангенс кута діелектричних втрат ($\text{tg}\delta$) нанопорошків алмазу марок АСУД-90 – АСУД-99, які відрізняються вмістом вуглецю sp^2 -гібридації. Встановлено, що тангенс кута діелектричних втрат порошків знаходяться в інтервалі 0,3046 - 0,3146. Досліджено вплив модифікування нанопорошків алмазу детонаційного синтезу марки АСУД-90 на зміну тангенсу кута діелектричних втрат ($\text{tg}\delta$) нанопорошку. Модифікування нанопорошку марки АСУД-90 призводить до зміни тангенсу кута діелектричних втрат. За ступенем підвищення співвідношення тангенсу кута діелектричних втрат при вологості 100 % до вологості 0 % способи модифікування нанопорошків можна розташувати наступним чином: модифікування з використанням плав лугів (зразок АСУД-90-1, S=12,8%) < суміші хромової та сульфатної кислот (зразок АСУД-90-3, S=13,8 %) < суміші нітратної та сульфатної кислот (зразок АСУД-90-2, S=20,8 %)

Література

1. *Даниленко В.В.* Синтез и спекание алмаза взрывом. – М.: Энергоатомиздат. – 2003. – 272 с.
2. *Новиков Н.В., Богатырева Г.П.* Наноалмазы статического и детонационного синтеза и перспектива их применения // Сверхтвердые матер.– 2008. – № 2. – С. 3–12.
3. *Шпак А.П., Ульберг З.Р.* Коллоидно-химические основы нанонауки. – К.: Академперіодика. – 2005. – 446 с.
4. *Чухаева С.И., Детков А.П., Ткаченко П.Я, Торопов А.Д.* Физико-химические свойства фракций, выделенных из ультрадисперсных алмазов // Сверхтвердые матер.– 1998. – № 4. – С. 29–36.
5. *Никитин Ю.И., Уман С.М., Коберниченко Л.В., Мартынова Л.М.* Порошки и пасты из синтетических алмазов. – К.: Наук. думка. – 1992.– 284 с.

6. *Базалий Г.А.* Изучение электрокинетического потенциала алмазных нанопорошков детонационного синтеза // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля, НАН Украины. – 2013. – Вып. 16. – С. 329-335.
7. *Bogatyreva G.P., Marinich M.A., Bazaliy G.A et al.* Physicochemical properties of different grades of detonation-synthesized nanodiamonds // Proc. of the 3rd Intern. Sympos. “Detonation Nanodiamonds: Technology, Properties and Applications” (1–4 July, 2008, St.-Petersburg, Russia). – P. 137–142.
8. *Олійник Н.О., Петасюк Г.А., Ільницька Г.Д., Базалий Г.А., Пюра Г.Г., Циба М.М.* Фізико-хімічні характеристики модифікованих нанопорошків синтетичного алмазу // Міжвуз. зб. наук. праць «Наукові нотатки». – Луцьк: Луцький національний технічний університет. – 2017. – Вип. 59.– С. 211-216.
9. *Василенко А.А.* Материаловедение. Электротехнические материалы: учеб. пособие. – Красноярск: Краснояр. гос. аграр. ун-т., 2018. – 151 с.
10. ТУ У 26.8–05417377-177:2007. Нанопорошки алмазные ультрадисперсные. Технические условия. Вводятся впервые. 27.09.07. Идент. код № 02568182/033000. –К.: Укрметртестстандарт, 2007.–10с.
11. М 28.5-277:2008. Метод определения электрокинетического потенциала нанопорошков алмаза детонационного синтеза. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2008. – 10 с.
12. М 23.9 – 310:2014. Метод визначення діелектричних втрат в дисперсних порошках надтвердих матеріалів. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2014. – 9 с..
13. М 23.9-303:2014. Методика определения удельного электрического сопротивления дисперсных порошков сверхтвердых материалов.. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины. – 2014. – 6 с.
14. *Потанов В.А., Цуркан Н.М., Шевченко С.А.* Исследование состояния «системной воды» методами диелькометрии. // Харьковский государственный университет питания и торговли. Наукові праці. – Харьков. – 2012. – вип. 41. – Т.1. – .98-101.

References

1. Danilenko V.V. *Synthesis and sintering of diamond by explosion.*(Moscow: Energoatomizdat, 2003). [in Russian].
2. Novikov N.V., Bogatyreva G.P. Nanodiamonds of static and detonation synthesis and the prospect of their application . *Superhard materials*, 2008. **2**: 3. [in Russian].
3. Shpak A.P., Ulberg Z.R. *Colloidal-chemical foundations of nanoscience.*(Kyiv: Academperiodika, 2005). [in Russian].
4. Chukhaeva S.I., Detkov A.P., Tkachenko P.Ya., Toropov A.D. Physicochemical properties of fractions isolated from ultradispersed diamonds. *Superhard materials*, 1998. **4**: 29. [in Russian].
5. Nikitin Yu.I., Uman S.M., Kobernichenko L.V., Martynova L.M. *Synthetic diamond powders and pastes.* (Kyiv: Naukova dumka, 1992).[in Russian].
6. Bazaliy G.A. Study of the electrokinetic potential of diamond nanopowders of detonation synthesis. In: *Rock-cutting and metal-working tool - technique and technology for its manufacture and application.* (Kyiv: ISM them. V.N. Bakul, NAS of Ukraine, 2013. **16**: 329).[in Russian].
7. Bogatyreva G. P., Marinich, M. A., Bazaliy, G. A., et al. Physicochemical properties of different grades of detonation-synthesized nanodiamonds. In: *Detonation Nanodiamonds: Technology, Properties and Applications.* Proc. of the 3rd Int. Sympos (1–4 July, 2008, St.-Petersburg, Russia). P. 137.

8. Olyinik N.O., Petasyuk G.A., Ilnitska G.D., Bazaliy G.A., Pyura G.G., Tsiba M.M. Physical and chemical characteristics of modified synthetic diamond nanopowders . *Mizhvuz. zb. sciences. prats "Naukovi notatki"*. Lutsk, 2017. **59** : 211. [in Ukrainian].
9. Vasilenko A.A. *Materials Science. Electrical materials: textbook. Allowance.*(Krasnoyarsk, 2018). [in Russian].
10. Technical conditions (TU U 26.8–05417377-177:2007). Ultradispersed diamond nanopowders.. Introduced for the first time. 27.09.07. Ident. code No. 02568182/033000. – Kyiv: : Ukrmetrteststandart. [in Russian].
11. Method for determining electrokinetic potential of powders of diamond detonation synthesis (M 28.5–277:2008). Kyiv: ISM NANU, 2008. [in Russian].
12. Method of determining the dielectrical input in dispersed powders of superhard materials (M 23.9–310:2014). Kyiv: ISM NANU, 2014. [in Russian].
13. Method of determining the electrical resistivity of dispersed powders of superhard materials (M 23.9–303:2014). Kyiv: ISM NANU, 2014. [in Russian].
14. Potapov V.A., Zurkan N.M., Shevchenko S.A. *Study of the state of "systemic water" by dilcometry methods.* Charkov, 2012. **1**(41): 98-101. [in Russian].

Влияние модифицирования нанопорошков алмаза детонационного синтеза на изменение их электростатических и электрофизических характеристик

Г.А. Базалий, Н.А. Олейник, Г.Д. Ильницкая

*Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины,
ул. Автозаводская, 2, 04074, Киев, Украина, e-mail: oleynik_nonna@ukr.net; bazgal@ukr.net*

Разработка способов управления изменением функционального покрова и энергетического состава поверхности нанопорошков алмаза детонационного синтеза необходимы для создания устойчивых суспензий и материалов из них.

Целью работы является исследование влияния модифицирования нанопорошков алмаза детонационного синтеза с помощью жидкофазной термохимической обработки на изменение электростатических и электрофизических характеристик порошка.

Исследованы нанопорошки алмаза марок АСУД-75 - АСУД-99 с различным содержанием углерода sp^2 -гибридизации, изготовленные в ИСМ им.В. Бакуля НАН Украины из продукта детонационного синтеза алмаза фирмы ООО «АЛИТ» (г. Житомир). Исследованы нанопорошки алмаза марки АСУД-90 после их модификации с помощью жидкофазной термохимической обработки с использованием: расплава щелочей, смеси азотной и серной кислот, смеси хромовой и серной кислот. Методом электрофореза с помощью прибора «Dzeta-potential-analyzer» фирмы «Mikromeritiks» определены электростатические характеристики нанопорошков алмаза: величина и знак электростатического потенциала, электрофоретическая подвижность. Электрофизические свойства: тангенс угла диэлектрических потерь ($tg\delta$), емкость, повышение $tg\delta$ порошка при влажности 0% и 100% определены с помощью прибора «Измеритель цифровой Е7-12». Известными методами исследованы физико-химические характеристики нанопорошков: удельное электросопротивление, содержание углерода sp^2 -гибридизации, массовая доля примесей в виде несгораемого остатка, удельная площадь поверхности.

В работе методом электрофореза установлено, что значение электрокинетического потенциала и электрофоретической подвижности порошка снижаются в 2-10 раза при уменьшении массовой доли углерода sp^2 -гибридизации с 23,6 до 0 мас. %.

На примере нанопорошка марки АСУД-90, показано, что модифицирование нанопорошка жидкофазным методом с использованием термохимической обработки смесями окислителей приводит к снижению значений электрофоретической подвижности в 1,1-7,5 раза и электрокинетического потенциала в 1,1-7,3 раза.

Методом диелькометрии установлено, что тангенс угла диэлектрических потерь нанопорошков алмаза марок АСУД-90 - АСУД-99 находятся в интервале 0,3046 - 0,3146. Модифицирования нанопорошка марки АСУД-90 с помощью жидкофазной термохимической обработки приводит к изменению интервала тангенса угла диэлектрических потерь, а именно 0,2450-0,3249. По степени повышения соотношения тангенса угла диэлектрических потерь от влажности 0% до влажности 100% способы модифицирования нанопорошков можно расположить следующим образом: модифицирование с использованием расплава щелочей (образец АСУД-90-1, $S = 12,8\%$) < смеси хромовой и серной кислот (образец АСУД-90-3, $S = 13,8\%$) < смеси азотной и серной кислот (образец АСУД-90-2, $S = 20,8\%$).

Ключевые слова: *нанопорошки алмаза, модифицирование порошка, электрофизические, электрокинетические характеристики*

The effect of modification diamond nanopowders detonation synthesis to change their electrokinetic and electrophysical characteristics

G. Bazaliy, N. Oliinyk , G. Pnytska

V.N. Bakul Institute for Superhard Materials National Academy of Sciences of Ukraine, str. Avtozavods'ka, 2, 04074, Kyiv, Ukraine, e-mail:oleynik_nonna@ukr.net; bazgal@ukr.net

Development of methods for controlling the change in the functional cover and the energy composition of the surface of detonation synthesis diamond nanopowders is necessary to create stable suspensions and materials from them.

The aim of this work is to study changes in the electrokinetic and electrophysical characteristics of the powder as a result of the modification of detonation synthesis diamond nanopowders using a liquid-phase thermochemical treatment.

Diamond nanopowders of grades ASUD-75 - ASUD-99 with different sp^2 -hybridization carbon content, manufactured at the V.I. Bakul National Academy of Sciences of Ukraine from the product of detonation synthesis of diamond from the company "ALIT" (Zhytomyr) investigated. Diamond nanopowders of ASUD-90 grade after their modification by means of liquid-phase thermochemical treatment using: a melt of alkalis, a mixture of nitric and sulfuric acids, a mixture of chromic and sulfuric acids were investigated by electrophoresis using a device "Dzeta-potential-analyzer" company "Mikromeritiks". Electrokinetic characteristics of diamond nanopowders: the magnitude and sign of the electrokinetic potential, electrophoretic mobility are determined. The methods were used to study the physicochemical characteristics of nanopowders: electrical resistivity, carbon content of sp^2 -hybridization, mass fraction of impurities in the form of an incombustible residue, and specific surface area. In this work, it was established by electrophoresis that the value of the electrokinetic potential

and electrophoretic mobility of the powder decrease by 2-10 times with a decrease in the mass fraction of sp²-hybridization carbon from 23.6 to 0 wt%.

Using the ASUD-90 nanopowder as an example, it is shown that the modification of the nanopowder by the liquid-phase method using thermochemical treatment with mixtures of oxidants leads to a decrease in the values of electrophoretic mobility by 1.1-7.5 times and electrokinetic potential by 1.1-7.3 times.

It was found by dielectric measurement that the tangent of the dielectric loss angle of diamond nanopowders of grades ASUD-90 - ASUD-99 is in the range 0.3046 - 0.3146. Modification of the ASUD-90 grade nanopowder using a liquid-phase thermochemical treatment leads to a change in the interval of the dielectric loss tangent, namely 0.2450-0.3249. According to the degree of increase in the ratio of the dielectric loss tangent from 0% humidity to 100% humidity, the methods for modifying nanopowders can be arranged as follows: modifying using a melt of alkalis (ASUD-90-1 sample, S = 12.8%) <mixture of chromic and sulfuric acids (sample ASUD-90-3, S = 13.8%) <mixture of nitric and sulfuric acids (sample ASUD-90-2, S = 20.8 %).

Keywords: *diamond nanopowders, powder modifications, electrophysical, electrokinetic characteristics*