

УДК 544.146.5:621.921.34

Т. О. Шпадківська¹; Г. Г. Цапюк², канд. хім. наук; С. М. Назарчук¹, канд. техн. наук;
В. Я. Забуга², канд. хім. наук; О. О. Бочечка¹, д-р техн. наук

¹Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України, м. Київ

²Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Україна

ВПЛИВ ДОБАВКИ НАНОЧАСТИНОК ВОЛЬФРАМУ НА ОКИСНЕННЯ НАНОПОРОШКУ АЛМАЗУ В АТМОСФЕРІ ПОВІТРЯ

Досліджено кінетику окиснення алмазного нанопорошку статичного синтезу АСМ5 0,1/0 без добавок і з добавкою 1% нанопорошку вольфраму. Встановлено, що за температури 805–914 К вольфрам є інгібітором реакції алмазу з киснем.

Ключові слова: кінетика окиснення, алмаз, вольфрам, нанопорошок.

Вступ

В Інституті надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України створено нанокомпозит «алмаз – карбід вольфраму» шляхом спікання в умовах високого тиску та високої температури алмазних нанопорошків детонаційного та статичного синтезу з добавками наночастинок вольфраму, введеними хімічним способом [1]. У результаті взаємодії алмазу з вольфрамом при спіканні у проміжках між алмазними наночастинами утворюються наночастилки карбиду вольфраму, хімічно зв'язані з алмазними. За рахунок цього в композиті поєднуються високі твердість ($HV_5 = 25$ ГПа), тріщиностійкість ($K_{IC} = 6,6$ МПа·м^{1/2}) та термостабільність (за температури 1100 °С $K_{TC} = 0,86$). До важливих характеристик матеріалу належить також його хімічна реакційна стійкість у присутності кисню повітря за високої температури.

З метою визначення впливу вольфраму на термореакційну стійкість алмазних композитів в цій роботі наведено дослідження кінетики окиснення алмазного нанопорошку статичного синтезу АСМ5 0,1/0 без добавок і з добавкою 1% нанопорошку вольфраму.

Методика дослідження кінетики окиснення

Експеримент виконували гравіметричним методом в температурному інтервалі 805–914 К з використанням зразка «алмаз у стаканчику» [2–5].

Як об'єктивний показник термореакційної стабільності взяли константу швидкості реакції алмазу з киснем повітря k , яку визначали з експериментальної кінетичної кривої за рівнянням

$$t = t_1 + \frac{(g_1 - g) \left(G - \frac{g_1 + g}{2} \right)}{AC_{O_2}} + \frac{1}{kC_{O_2}} \ln \frac{\text{sh}(h_1)}{\text{sh}(h)}, \quad (1)$$

де $h = (g - g_0 C) \sqrt{\frac{k}{A^*}}$, t_1 і g_1 – відповідно момент часу і маса зразка в першій точці оброблюваного відрізка кінетичної кривої, G , A , A^* – незалежні від властивостей реагентів параметри, постійні за температури дослідження, які розраховували відпрацьованими методами [2–5]. g , g_0 – відповідно поточна та вихідна маса зразка, $C = C_1 + C_2$, – вагова частка мінеральної домішки у зразку, C_1 – частка негорючого залишку (золи) в алмазі, C_2 – частка введеної домішки, в даному випадку – вольфраму, C_{O_2} – концентрація кисню у газі.

Обробка експериментальних даних полягала в згладжуванні кінетичних кривих, виборі на них оброблюваних відрізків, визначенні констант швидкості реакції алмазу з киснем та їх температурних залежностей, оцінці довірчих інтервалів кінетичних параметрів. Усі зазначені дії виконували за допомогою спеціально розроблених для цього комп'ютерних програм. Зокрема, оброблюваний відрізок вибирали шляхом сканування всієї кінетичної кривої, перебираючи всі можливі варіанти відрізків і визначаючи на кожному з них найімовірніше значення константи швидкості та її дисперсію. Остаточний вибір робили, домагаючись найменших значень дисперсії для кожної константи швидкості та найменшого довірчого інтервалу енергії активації в рівнянні Арреніуса.

Константи швидкості вивчали двома різними способами. Один з них полягав у мінімізації цільової функції

$$F_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(1 - \frac{t_i}{f_i} \right)^2, \quad (2)$$

де t_i – вимірюваний час; f_i – час, розрахований за рівнянням (1); N – кількість експериментальних точок на оброблюваному відрізку кінетичної кривої. Знайдені цим способом константи позначили k_{\min} . Паралельно значення цього самого показника розраховували в кожній точці кінетичної кривої за рівнянням (1), середнє арифметичне позначили k_{iter} .

Результати дослідження та їх обговорення

Як зразок № 1 взяли алмазний нанопорошок статичного синтезу АСМ5 0,1/0. За даними виробника – ТОВ НВП «Прецизійні абразиви», основну його фракцію складають частинки розміром до 0,1 мкм. Питома площа поверхні становила 81950 м²/кг, вміст негорючих домішок – 4,29% (мас.)

Результати дослідження, проведені методами термогравіметрії (рис. 1, 2), засвідчують, що температура початку окиснення алмазу із вмістом добавки вольфраму (923 К) вища, ніж алмазу без добавки (883 К).

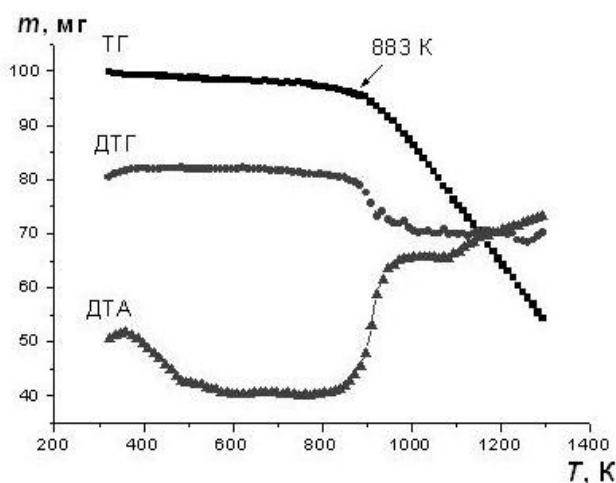


Рис.1. Термограма зразка № 1: ТГ – зміна ваги зразка, ДТГ – швидкість зміни ваги зразка, ДТА – зміна тепловмісту

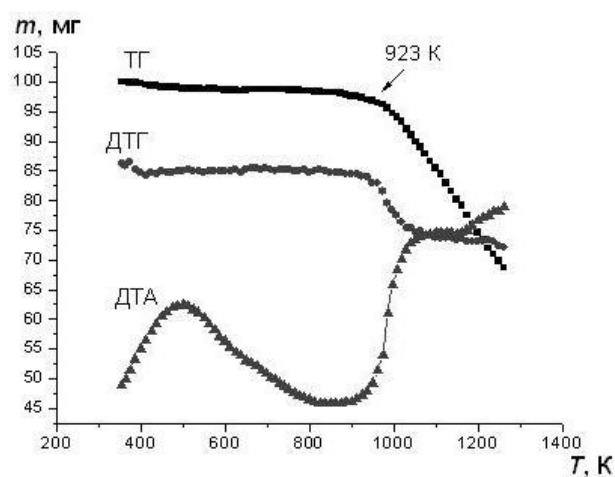


Рис.2. Термограма зразка № 2

Приклад кінетичної кривої окиснення зразка № 1 за температури 875,4 К показано на рис. 3. Криві за іншої температури подібні.

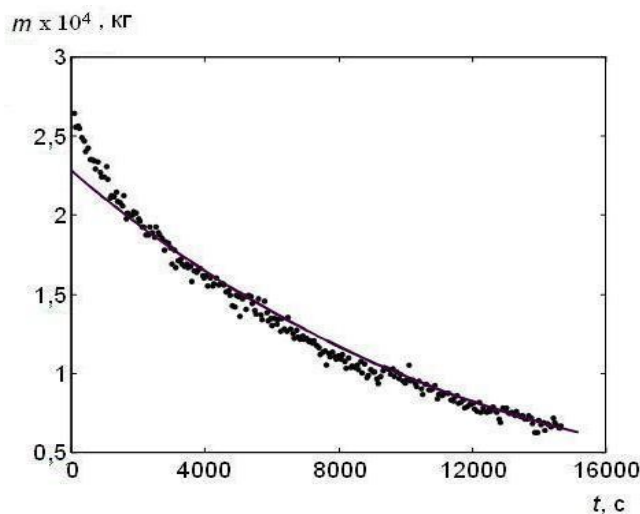


Рис. 3. Кінетична крива окиснення зразка № 1 за температури 875,4 К.: точки – експериментально зареєстровані значення маси зразка, суцільна лінія – розраховані за рівнянням (1)

Як впливає з рис. 3, після завершення початкового періоду тривалістю 55 хв розрахована кінетична крива зливається з експериментальною, що свідчить про адекватність описання рівнянням (1) реального процесу окиснення.

Константи швидкості реакції, екстрапольовані на t_0 маси зразка № 1 g_{lim} і відносні початкові зменшення маси зразка Δg_0 , розраховані за формулою

$$\Delta g_0 = 2,57 \cdot 10^{-4} \frac{g_0 - g_{lim}}{g_0},$$

($2,57 \cdot 10^{-4} \pm 1,4 \cdot 10^{-5}$ – середня маса початкової наважки зразка) наведено в табл. 1, параметри Арреніуса зразка № 1 – у табл. 2.

Таблиця 1. Константи швидкості реакції, екстрапольовані на t_0 маси зразка № 1 g_{lim} і відносні початкові зменшення маси зразка Δg_0

T, K	$k_{min} \cdot 10^5, M^3 \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$	$k_{iter} \cdot 10^5, M^3 \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$	$g_{lim} \cdot 10^4, \text{кг}$	$\Delta g_0 \cdot 10^5, \text{кг}$
856	$3,92 \pm 0,10$	$3,96 \pm 0,09$	2,04	3,60
866	$4,53 \pm 0,11$	$4,62 \pm 0,10$	2,15	4,36
875	$5,27 \pm 0,13$	$5,09 \pm 0,12$	2,24	4,90
883	$5,67 \pm 0,15$	$5,63 \pm 0,13$	2,35	3,46
896	$6,91 \pm 0,18$	$6,86 \pm 0,16$	2,26	3,05
904	$8,15 \pm 0,20$	$7,90 \pm 0,18$	2,18	2,89
914	$9,72 \pm 0,23$	$9,42 \pm 0,20$	2,34	1,70
924	$10,02 \pm 0,27$	$10,27 \pm 0,23$	2,27	2,80
				$3,35 \pm 0,99$

Таблиця 2. Параметри Арреніуса зразка № 1

Параметри Арреніуса	k_{min}	k_{iter}	Усереднені значення параметрів Арреніуса
$k^0, M^3 \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$	27,9	23,5	25,6
$E, \text{кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$	96 ± 9	95 ± 7	$95,4 \pm 7,8$

Як впливає з даних табл. 1 і 2, за двома суттєво різними способами опрацювання кінетичних кривих отримано однакові значення констант швидкості k_{min} та k_{iter} і параметрів Арреніуса. Не маючи аргументів щодо переваг певного способу, використовували усереднені значення параметрів, усереднюючи енергії активації арифметично, а константи швидкості та передекспоненційні множники – геометрично.

У графі « g_{lim} » табл. 1 наведено значення, отримані екстраполяцією за допомогою рівняння (1) оброблюваного відрізка кінетичної кривої на $t = 0$. Як бачимо, вони істотно менші від g_0 . Це зумовлено тим, що зразок алмазу, нагрітий до температури досліду, швидко втрачає частину маси, по-перше, за рахунок десорбції молекул води та інших летких сполук з поверхні алмазу (позначимо цю масу Δg_{01}). По-друге, за період t_1 втрата маси зразка Δg_{02} відбувається також за рахунок окиснення алмазу киснем повітря за вищої швидкості, ніж на оброблюваному відрізку. Оцінити величину Δg_{01} можна за допомогою формули

$$\Delta g_0 = \frac{\theta MS_{num} g_0}{\omega N_A}, \quad (3)$$

де θ – ступінь заповнення поверхні алмазу адсорбатом; N_A – число Авогадро; M – молярна маса адсорбату; $S_{пит}$ – питома площа поверхні алмазу, площа посадкового майданчика молекули води $\omega = 9,6 \cdot 10^{-20} \text{ м}^2$.

Узявши $\theta = 1$, $M = 18 \text{ кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$, $S_{пит} = 81953 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$, $g_0 = 2,57 \cdot 10^{-4} \text{ кг}$ і $N_A = 6,02 \cdot 10^{26} \text{ кмоль}^{-1}$, одержимо $\Delta g_{01} = 7,0 \cdot 10^{-6} \text{ кг}$. Це значення незначне порівняно з експериментальним значенням $\Delta g_0 = 3,35 \cdot 10^{-5} \text{ кг}$. Отже, основна втрата маси $\Delta g_{02} = 2,65 \cdot 10^{-5} \text{ кг}$ відбувається за рахунок перевищення швидкості окиснення алмазу на початковому відрізку порівняно з оброблюваним.

Рівняння Арреніуса має такий вигляд:

$$k = k_0 \exp\left(\frac{-E}{RT}\right)$$

Як виявилось, ступені окиснення зразка № 1, які відповідають першій та останній точкам оброблюваних відрізків кінетичних кривих, не залежать від температури, їх середні значення становлять $\beta_{1сер} = 0,31 \pm 0,07$ і $\beta_{2сер} = 0,65 \pm 0,18$. Зважаючи на температурну незалежність параметрів оброблюваних відрізків, можна припустити, що за будь-якої температури вони відповідають окисненню однієї й тієї самої фракції алмазного порошку, яка, вочевидь, характеризується найбільшою монодисперсністю і відповідно постійністю константи швидкості реакції. На відрізку, що передує оброблюваному, константа швидкості більша, і це зумовлено більшою дисперсністю; на відрізку, що слідує за оброблюваним, константа швидкості менша, і це пов'язано з меншою дисперсністю.

Якщо відомий розподіл частинок порошку алмазу за розмірами (рис. 4, 5), за деяких припущень можна визначити фракцію, окисненню якої відповідає оброблюваний відрізок. Визначені експериментально розподіли кількості та маси частинок порошку за розмірами досить точно можна апроксимувати функціями

$$\frac{N_i}{N} = (38,547L)^{14} e^{-161,02L} + 0,09713L^{-0,48754}; \quad (4)$$

$$\frac{m_i}{m} = (30,596L)^{15,961} e^{-151,29L} + 39,676L^{1,9122}. \quad (5)$$

де N_i – кількість частинок розміром L , N – загальна кількість частинок, m_i – маса частинки розміром L , m – загальна маса частинок.

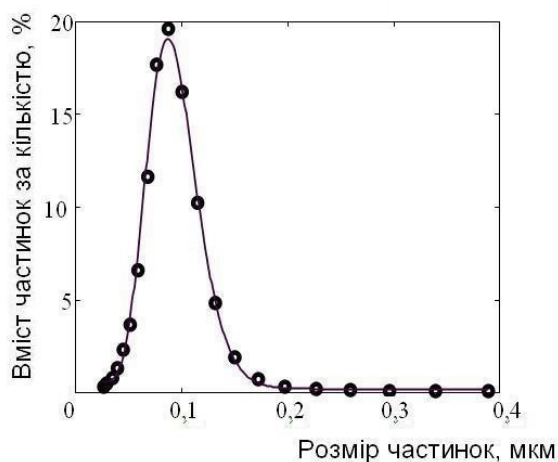


Рис. 4. Розподіл частинок алмазу за розмірами: точки – експериментальні величини, суцільна лінія розрахована за формулою (4)

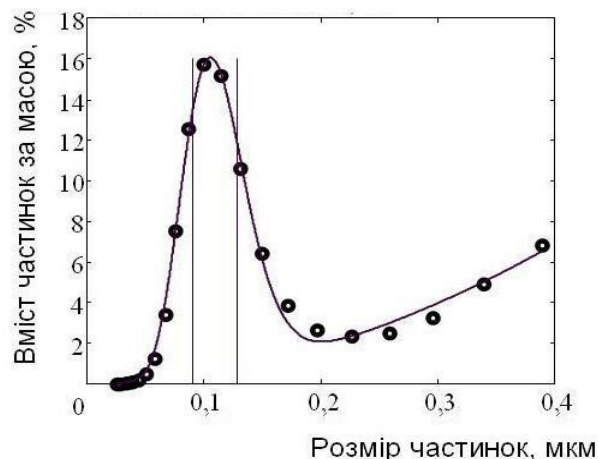


Рис. 5. Залежність відсотка маси (об'єму) фракції від лінійного розміру частинки L : точки – значення добутку N і L^3 , суцільна лінія – розраховані за формулою (5)

Для можливості порівняння розподілу часточок з даними по ступеням окиснення зразка розподіл кількості часточок треба замінити на розподіл маси частинок за їх лінійним розміром. Маса частинки пропорційна її об'єму, а об'єм пропорційний кубу лінійного розміру, тобто $m \sim NL^3$.

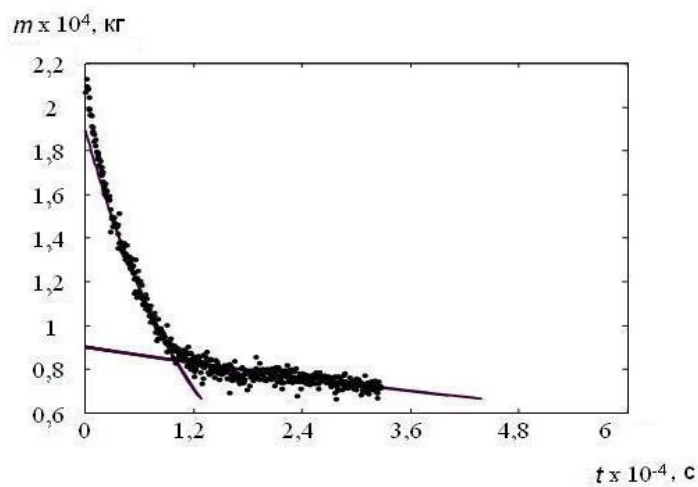


Рис. 6. Кінетична крива окиснення зразка № 2 за температури 904,7 К.: точки – експериментально зареєстровані значення маси зразка, суцільна лінія – розраховані за рівнянням (1)

двох ділянок: першої – більш крутішої і другої – більш похилішої. Константи швидкості реакції на кожній з цих ділянок визначали окремо (табл. 3, 4).

Якщо вважати, що перший відрізок кінетичної кривої відповідає вигорянню переважно найдрібніших частинок і, як показано, ступінь вигорання алмазу в першій точці оброблюваного відрізка дорівнює 31%, в останній – 65%, то згідно даним про розміри частинок, їхні значення знаходяться в межах 0,091–0,128 мкм.

Зразок № 2 відрізнявся від зразка № 1 наявністю в ньому вольфраму. Як приклад, кінетичну криву окиснення зразка № 2 за температури 904,7 К показано на рис. 6.

Кінетичні криві окиснення зразка № 2 принципово відрізняються від таких для зразка № 1 наявністю

Таблица 3. Константы скорости реакции на обработанных отрезках первых делянок кинетических кривых окиснения зразка № 2, экстрапольовани на t_0 маси зразка g_{lim} і відносні початкові зменшення маси зразка Δg_0 .

T, K	$k_{min} \cdot 10^5, M^3 \cdot MOJb^{-1} \cdot c^{-1}$	$k_{iter} \cdot 10^5, M^3 \cdot MOJb^{-1} \cdot c^{-1}$	$g_{lim} \cdot 10^4, KГ$	$\Delta g_0 \cdot 10^5, KГ$
805	0,344±0,033	0,306±0,039	1,71	0,612
814	0,517±0,042	0,529±0,049	1,71	0,616
824	0,659±0,054	0,712±0,063	1,83	0,569
843	0,908±0,088	0,917±0,105	1,62	0,818
853	1,15±0,11	1,35±0,13	1,59	0,810
863	1,70±0,14	1,72±0,17	1,73	0,743
884	2,98±0,23	3,12±0,28	1,89	0,486
895	3,64±0,29	3,60±0,35	1,84	0,497
905	4,30±0,36	4,31±0,43	1,90	0,424
914	4,27±0,44	4,23±0,53	2,13	0,384
				0,596±0,154

Як впливає з порівняння даних табл. 1 і 3, швидкість окиснення зразка № 2 істотно нижча, ніж зразка № 1. Отже, вольфрам щодо окиснення алмазу є інгібітором.

Таблица 4. Константы скорости реакции на обработанных отрезках других делянок кинетических кривых окиснения зразка № 2, экстрапольовани на t_0 маси зразка g_{lim} і відносні початкові зменшення маси зразка Δg_0 .

T, K	$k_{min} \cdot 10^5, M^3 \cdot MOJb^{-1} \cdot c^{-1}$	$k_{iter} \cdot 10^5, M^3 \cdot MOJb^{-1} \cdot c^{-1}$	$g_{lim} \cdot 10^4, KГ$	$\Delta g_0 \cdot 10^5, KГ$
862	0,722±0,015	0,771±0,008	1,42	1,07
871	0,734±0,014	0,733±0,008	1,22	1,22
884	0,631±0,013	0,680±0,007	1,14	1,31
894	0,598±0,012	0,629±0,007	1,04	1,39
904	0,577±0,011	0,589±0,007	0,98	1,45
913	0,540±0,011	0,583±0,006	1,13	1,41
				1,309±0,145

Як бачимо з даних табл. 4, константи швидкості окиснення зразка № 2 на другій ділянці кінетичної кривої значно менші, ніж на першій ділянці. Особливість другої ділянки полягає також у зменшенні констант швидкості з температурою, що незвичайно для кінетики хімічних реакцій.

В табл. 5 наведено параметри Арреніуса зразка № 2.

Таблица 5. Параметры Аррениуса зразка № 2

Параметри Аррениуса	перша ділянка кінетичних кривих окиснення зразка № 2			друга ділянка кінетичних кривих окиснення зразка № 2		
	k_{\min}	k_{iter}	усереднені значення параметрів Аррениуса	k_{\min}	k_{iter}	усереднені значення параметрів Аррениуса
k^0 , $\text{м}^3 \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$	$1,03 \cdot 10^4$	$1,21 \cdot 10^4$	$1,12 \cdot 10^4$	$2,61 \cdot 10^{-8}$	$3,53 \cdot 10^{-8}$	$3,03 \cdot 10^{-8}$
E , $\text{кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$	145 ± 13	146 ± 17	146 ± 14	-41 ± 12	-39 ± 7	-40 ± 7

Дводілянкову структуру кінетичних кривих окиснення зразка № 2 можна пояснити, припустивши, що зразок складається з частинок двох типів, які істотно різняться реакційною здатністю. З огляду на малий вміст вольфраму у зразку, можна припустити, що не всі частинки алмазу безпосередньо проконтактували з ним і, можливо, певним способом хімічно прореагували. Отже, частинки першого типу, окисненню яких відповідає перша ділянка кінетичної кривої, є частинками алмазу, не модифікованими вольфрамом. Частинки алмазу другого типу модифіковані вольфрамом. У такому разі перехід до другої ділянки кінетичної кривої відбувається після вигорання активніших частинок першого типу. Проблемним у цій гіпотезі є питання про константи швидкості на першій ділянці. Якщо в цьому разі окиснюються переважно немодифіковані частинки алмазу, чому константи швидкості в них істотно менші, ніж зразка № 1? Це можливо тоді, коли механізм окиснення не суто гетерогенний, а включає гомогенні стадії. У такому разі сполуки вольфраму, реагуючи з проміжними сполуками в газовій фазі, можуть впливати на швидкість складної реакції окиснення алмазу, навіть не контактуючи з останнім, що термодинамічно вигідно [6].

Вміст частинок алмазу обох типів, тобто немодифікованих вольфрамом і модифікованих, можна оцінити, визначивши ступінь вигорання алмазу в точці перегину кінетичної кривої, якою взято точку перетину кінетичних кривих, розрахованих для двох ділянок за рівнянням (1) з використанням констант швидкості. Масу зразка $g_{\text{пер}}$ в точці перетину обчислювали за формулою

$$t_1 + \frac{(g_1 - g_{\text{пер}}) \left(G - \frac{g_1 + g_{\text{пер}}}{2} \right)}{AC_{O_2}} + \frac{1}{kC_{O_2}} \ln \frac{\text{sh}(h_1)}{\text{sh}(h)} =$$

$$= t_{12} + \frac{(g_{12} - g_{\text{пер}}) \left(G - \frac{g_{12} + g_{\text{пер}}}{2} \right)}{AC_{O_2}} + \frac{1}{kC_{O_2}} \ln \frac{\text{sh}(h_{12})}{\text{sh}(h_2)},$$

де $h_1 = (g_1 - g_0 C) \sqrt{\frac{k_{12}}{A^*}}$; $h = (g_{\text{пер}} - g_0 C) \sqrt{\frac{k_{12}}{A^*}}$; $h_{12} = (g_{12} - g_0 C) \sqrt{\frac{k_{22}}{A^*}}$; $h_2 = (g_{\text{пер}} - g_0 C) \sqrt{\frac{k_{22}}{A^*}}$; t_1 і t_{12} – параметри першої точки оброблюваного відрізка на першій ділянці кінетичної кривої; t_{12} і g_{12} – параметри першої точки оброблюваного відрізка на другій ділянці кінетичної кривої.

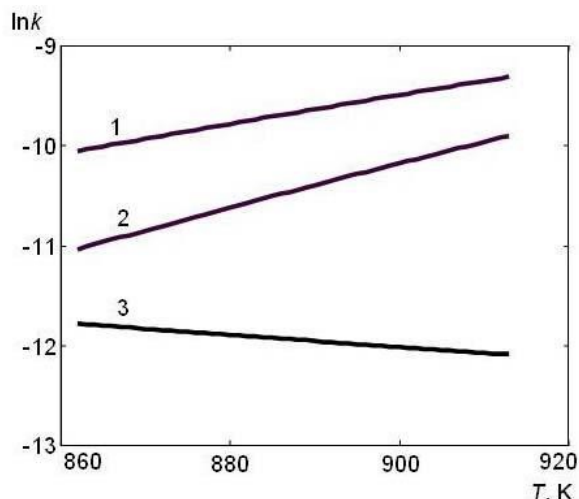


Рис. 7. Залежності констант швидкості окиснення досліджених зразків від температури: 1 – зразок № 1; 2 – зразок № 2 на першій ділянці; 3 – зразок № 2 на другій ділянці

Як виявилось, ступінь вигорання, за всіх досліджених значеннях температури не залежить від температури, що узгоджується з викладеною гіпотезою, згідно з якою дводілянкова структура кінетичних кривих зумовлена внутрішньою будовою зразка № 2, а не умовами проведення кінетичного експерименту. За всіх досліджених значеннях температури $g_{\text{пер.сер}} = 0,61 \pm 0,04$, тобто 61% зразка № 2 складається з немодифікованих вольфрамом частинок алмазу і 39% – з модифікованих.

Порівнювати швидкості реакцій найбільш коректно в тому інтервалі температур, в якому вони вимірювалися безпосередньо. Спільним для зразків № 1 і № 2, як для першої, так і другої ділянок, є температурний інтервал 862–913 К. Порівняння констант швидкості окиснення обох зразків показано на рис. 7.

Висновки

Одержані дані свідчать, що вольфрам є інгібітором реакції алмазу з киснем, тому добавки вольфраму до алмазного порошку повинні збільшувати термостабільність в атмосфері повітря композиту, спеченого з одержаної суміші.

Исследована кинетика окисления алмазного нанопорошка статического синтеза ASM5 0,1/0 без добавок и с добавкой 1% нанопорошка вольфрама. Установлено, что при температуре 805–914 К вольфрам является ингибитором реакции алмаза с кислородом.

Ключевые слова: кинетика окисления, алмаз, вольфрам, нанопорошок.

Oxidation kinetics of static synthesized diamond nanopowder of ASM5 0,1/0 without additives and with additive of tungsten nanopowder (1%) have been studied. It was found that tungsten is an inhibitor of the "diamond – oxygen" reaction at the temperatures 805–914 K.

Key words: kinetics of oxidation, diamond, tungsten, nanopowder.

Література

1. Пат. на винахід № 93803 Україна, М.кл.⁶ МПК, В24D 3/02, В22F 3/14. Спосіб отримання алмазного композиційного матеріалу / М. В. Новіков, О. О. Бочечка, С. М. Назарчук та ін. – Опубл. 10.03.11. Бюл. № 5.
2. Гравиметрический метод исследования окисления угля / В. Я. Забуга, Д. Ф. Даценко, Г. Г. Цапюк и др. // Химия твердого топлива, – 1983. – № 5. – С. 41–44.
3. Макрокинетика окиснення сажі / В. Я. Забуга, Г. Г. Цапюк, В. Л. Бударин., В. К. Яцимирський // Укр. хім. журн., – 2003. – 69, № 9. – С. 22–26.
4. Забуга В. Я., Цапюк Г. Г., Яцимирський В. К. Кінетика окиснення вуглецевих матеріалів // Фізико-хімія конденсованих систем і міжфазних границь. – К.: КНУ ім. Тараса Шевченка, 2003. – С. 18–22.
5. Кинетика низкотемпературного окисления угля для модели «уголь в стаканчике» / В. Я. Забуга, Г. Г. Цапюк, Д. Ф. Даценко, Л. П. Долинская // Химия твердого топлива, – 1983. – № 4. – С. 48–51.

6. Новиков Н. В., Бочечка А. А., Назарчук С. Н., Особенности взаимодействия между компонентами при реакционном спекании композитов алмаз – карбид вольфрама и алмаз – карбид кремния в условиях высокого давления // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технологии его изготовления и применения, 2012. – № 15. – С. 227–232.

Надійшла 17.06.13

УДК 577.152.321

**И. В. Шугалей¹, А. П. Возняковский², М. А. Илюшин¹,
А. В. Гарабаджиу¹**, доктора химических наук

¹Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Россия

²Федеральное унитарное государственное предприятие «НИИ синтетического каучука им. акад. С. В. Лебедева», г. Санкт-Петербург, Россия

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЕТОНАЦИОННЫХ НАНОАЛМАЗОВ НА ПРОЦЕСС ПЕРОКСИДНОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ АЦЕТИЛХОЛИНЭСТЕРАЗЫ ЭРИТРОЦИТОВ

На примере использования фермента ацетилхолинэстеразы в качестве тест-объекта показано, что детонационные наноалмазы способны эффективно защищать белки от окислительного повреждения в условиях, близких к физиологическим. Определены оптимальные условия проявления защитного эффекта.

Ключевые слова: ацетилхолинэстераза, детонационные наноалмазы, активные формы кислорода, пероксидное повреждение.

В настоящее время факт различной биологической активности наноуглеродных материалов очевиден, а темпы выявления различных форм биологической активности и сфер медико-биологического применения наоуглеродов постоянно ускоряются [1; 2]. Многочисленными исследованиями установлено, что наноуглеродные материалы активно влияют на процессы, протекающие с участием активных форм кислорода (АФК) [1; 3]. На подобных взаимодействиях основано их противовирусное, антибактериальное и, возможно, противораковое действие. Несмотря на обилие публикаций по биологической активности наноуглеродных материалов, систематических исследований механизмов их взаимодействия с биологическими объектами довольно мало. Традиционными объектами, которые используют для оценки взаимодействия любых, в том числе углеродных, наноматериалов с активными формами кислорода, являются липиды. Способность тормозить либо промотировать перекисное окисление липидов (ПОЛ) традиционно трактуется как характеристика анти- либо прооксидантной активности материала [4]. Однако при взаимодействии с такими биологическими объектами, как клетка, а тем более многоклеточный организм, гидрофильный наноматериал, к которому относятся детонационные наноалмазы (ДНА), будет проявлять высокое сродство к гидрофильным биологическим объектам, прежде всего к белкам. Взаимодействие ДНА с белками широко известно, его применяют в биологии и медицине [1; 5]. Наноматериалы вызывают изменение конформации белковых молекул, поверхностной энергии молекул биополимеров. Таким образом, изучать анти- и прооксидантную активность ДНА предпочтительнее с использованием более адекватной модели – растворов белков. При введении суспензий углеродных наноматериалов лабораторным животным у них изменяются биохимические