

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИСОКОВОЛЬТНОЇ ЕЛЕКТРОРОЗРЯДНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЇ ЕЛЕКТРОІМПУЛЬСНОГО СИНТЕЗУ НАНОВУГЛЕЦЮ

Д.В.Вінниченко

Інститут імпульсних процесів та технологій НАН України,

пр. Жовтневий, 43-а, 54018, Миколаїв, Україна.

vdvvs@inbox.ru.

На основі систематизації експериментальних результатів визначено оптимальні параметри і режими високовольтних електророзрядних систем, які забезпечують реалізацію нової електроімпульсної технології синтезу нановуглецю з газоподібної вуглецевмісної сировини. Досліджено електрофізичні процеси у плазмовому каналі електричного розряду в пропані. Експериментально визначено значення пробивної і робочої напруги та вольтамперні характеристики розряду в режимі синтезу нановуглецю із газоподібних вуглеводнів. Бібл. 9, табл. 2, рис. 4.

Ключові слова: електротехнічний комплекс, електророзрядний спосіб синтезу нановуглецю, пробивна напруга, електричний розряд у газі.

Розробка електророзрядних систем у більшості випадків спрямована на підвищення швидкості зростання розрядних струмів у технологічному навантаженні [3] та синтез електричних кіл формувачів розрядних імпульсів [2, 4] для реалізації сучасних розрядно-імпульсних технологій. Зараз проводяться розробки високовольтних електророзрядних систем для реалізації технологій електроімпульсного синтезу нановуглецю з газоподібної вуглецевмісної сировини [1, 5, 7]. Проведені дослідження [1, 5–9] показують, що при такому синтезі можливо отримувати хімічно чистий (99 – 99,8 % С) нановуглець, у тому числі з onion-like структурою, який може бути перспективним матеріалом для хімічних джерел енергії високої густини та суперконденсаторів. Відомий метод отримання аморфного нановуглецю з onion-like структурою (лазерне випаровування) є надто енерговитратним [6].

Тому **метою роботи** є визначення оптимальних характеристик високовольтної електророзрядної системи, зокрема параметрів розрядних імпульсів та алгоритмів системи керування для реалізації технологічних режимів електроімпульсного синтезу аморфного нановуглецю з газоподібної вуглецевмісної сировини.

Для досягнення поставленої мети треба було визначити електрофізичні особливості електроімпульсного формування у вуглецевмісному газі (пропані) іскроплазмового каналу та характеристики високовольтної електророзрядної системи, при яких можливо реалізувати цю технологію синтезу.

Для досліджень електрофізичних характеристик навантаження розроблено експериментальний електротехнологічний комплекс.

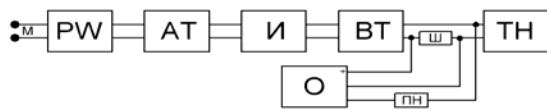


Рис. 1

Структурну схему для визначення оптимальних параметрів розрядних імпульсів, які забезпечать високопродуктивний режим синтезу нановуглецю, показано на рис. 1, де **М** – мережа живлення 220 В, 50 Гц, **РВ** – лічильник електроенергії однофазний НІК 2102-02 1,0 220 В (5-60) А 6400 М1, **АТ** – автотрансформатор 0–240 В, **И** – резонансний інвертор напруги 25 кГц, **ВТ** – високовольтний трансформатор (1:50) максимальна вихідна напруга – 15 кВ, **Ш** – шунт 10 Ом, **ПН** – подільник напруги з коефіцієнтом поділу 750, **ТН** – технологічне навантаження, яке представляє собою плазмовий канал тліючого розряду при атмосферному тиску в вуглецевмісному газі (пропані) та електродну систему, міжелектродний проміжок якої можна змінювати в діапазоні від 0 до 10 мм, **О** – цифровий осцилограф. Електродна система "вістря-вістря" з радіусом 1 мм. Довжина міжелектродного проміжку встановлюється за допомогою лімба з точністю 0,5 мм.

Для визначення вимог до генератора для технології отримання нановуглецю електророзрядним способом з газоподібних вуглеводнів необхідно мати такі електрофізичні характеристики: а) залежність напруги гарантованого пробую і робочої напруги синтезу нановуглецю від довжини міжелектродного проміжку для робочої сировини (в процесі проведення синтезу утворюється суміш пропан-водень-вуглецевий пар); б) вольтамперну характеристику навантаження; в) мінімальне діюче значення струму, при якому відбувається синтез нановуглецю.

За допомогою автотрансформатора **АТ** повільно підіймаємо напругу та за осцилографом фіксуємо напругу на навантаженні у момент виникнення розряду (візуально: загоряється плазмовий шнур). Довжина проміжку варіювалася у діапазоні від 2 до 6 мм, за кожною довжиною проміжку було проведено по 3 виміри напруги пробую проміжку і робочої напруги синтезу нановуглецю. З результатів експерименту (табл. 1, 2) видно, що питома пробивна напруга проміжку у пропані становить у середньому 2 кВ/мм, а питома робоча напруга синтезу нановуглецю – 0,11 кВ/мм.

Таким чином, для технології, що розглядається, джерело живлення повинно мати вихідну напругу холостого ходу для ініціювання розряду не меншу, ніж 2 кВ/мм, а робочу – 0,11 кВ/мм. Тобто генератор розрядного струму і система керування на протязі кожного імпульсу струму повинні забезпечити діапазон напруги, що має границі, які відрізняються в 20 разів. Типову осцилограму характеристик навантаження в режимі синтезу нановуглецю із пропана при атмосферному тиску наведено на рис. 2. Трикутна форма струму зумовлена будовою джерела живлення і забезпечує режим синтезу

нановуглецю. Напруга на каналі газового розряду визначається сімейством його вольтамперних характеристик.

Вольтамперні характеристики побудовано по результатах аналізу осцилограм для інтервалів часу зростання струму у навантаженні і двох значень довжини міжелектродного проміжку 8,5 і 12 мм (рис. 3). Для обох значень характерним є зміна струму у широких границях (приблизно на порядок) при практично незмінній напрузі на каналі розряду,

Таблиця 1 - Напруга гарантованого пробую суміші пропан-водень-вуглецевий пар при отриманні нановуглецю елетророзрядним способом

Довжина міжелектродного проміжку, мм	№ випробування			Середня пробивна напруга, кВ	Пробивна здатність, кВ/мм
	1	2	3		
2	4,4	4,6	4,3	4,4	2,2
3	6,2	5,8	5,6	5,9	1,9
4	8,7	8,4	8,9	8,7	2,2
5	10,3	8,4	9,2	9,3	1,8
6	13,5	11,4	12,2	12,4	2
Середня пробивна здатність, кВ					2

Таблиця 2 - Робоча напруга синтезу нановуглецю із пропану елетророзрядним способом

Довжина міжелектродного проміжку, мм	№ випробування			Середня робоча напруга синтезу, кВ	Питома робоча напруга синтезу, кВ/мм
	1	2	3		
2	0,24	0,25	0,24	0,24	0,12
3	0,31	0,34	0,33	0,33	0,11
4	0,37	0,45	0,40	0,41	0,11
5	0,48	0,50	0,46	0,48	0,10
6	0,55	0,58	0,56	0,56	0,09
Середня питома робоча напруга синтезу, кВ/мм					0,11

довжина проміжку варіювалася у діапазоні від 2 до 6 мм. Для кожної довжини проміжку було проведено по 3 виміри мінімального значення амплітуди струму. Виміри проведено при термостатуванні реактора при температурі 65 °С. За результатами експерименту розраховано середні мінімальні діючі значення струму (рис. 4). Отримана емпірична залежність струму від довжини міжелектродного проміжку дозволяє визначити граничні значення струму для режиму синтезу. Залежність має явно виражений лінійний характер, що дозволяє визначити питому характеристику граничного значення діючого струму, яке дорівнює 2,12 мА/мм при 65 °С. При інших температурних умовах нахил залежності змінюється, і відповідно змінюється мінімальний струм синтезу нановуглецю.

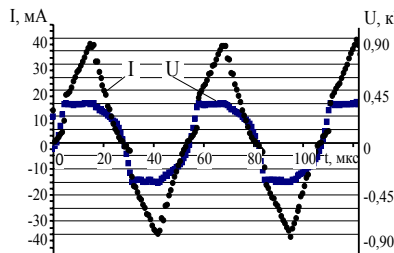


Рис. 2

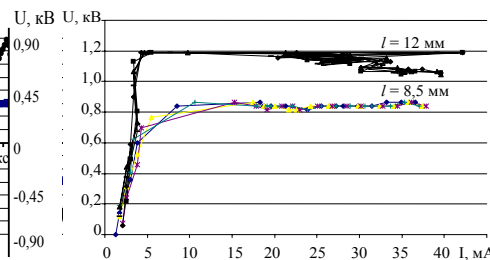


Рис. 3

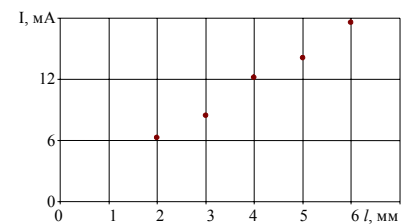


Рис. 4

Висновки. Експериментально визначено значення пробивної і робочої напруги, мінімальні значення діючого струму, при яких здійснюється синтез, та вольтамперні характеристики розряду в режимі синтезу нановуглецю із пропану. На основі систематизації експериментальних результатів визначено оптимальні параметри і режими високовольтних елетророзрядних систем, які забезпечують реалізацію нової електроімпульсної технології синтезу нановуглецю з газоподібної вуглецевмісної сировини.

1. Богуславский Л.З., Назарова Н.С., Овчинникова Л.Е., Винниченко Д.В., Диордийчук В.В. Электротехнический комплекс для разрядноимпульсного синтеза углеродных наноматериалов с различными магнитными свойствами // Техн. электродинамика. – 2012. – № 3. – С. 107–108.

2. Вовченко А.И., Тертилов Р.В. Синтез емкостных нелинейно-параметрических источников энергии для разрядно-импульсных технологий // Збірн. наук. праць Національного університету кораблебудування. – 2010. – № 4. – С. 118–124.

3. Щерба А.А., Супруновская Н.И. Закономерности повышения скорости нарастания разрядных токов в нагрузке при ограничении их максимальных значений // Техн. электродинамика. – 2012. – № 5. – С. 3–9.

4. Щерба А.А., Супруновская Н.И. Синтез электрических цепей с емкостными накопителями энергии в полупроводниковых формирователях мощных разрядных импульсов // Техн. электродинамика. – 2014. – № 1. – С. 3–11.
5. Пат. 95543 Украина МПК C01B 31/02 (2006.01), H05H 1/24 (2006.01), H05H 1/32 (2006.01). Спосіб одержання вуглецевих наноматеріалів (варіанти) / Л.З. Богуславський, Д.В.Винниченко, Н.С.Назарова. Опубл. 10.08.2011 р., Бюл. № 15.
6. Barnard Amanda. Mapping the location and configuration of nitrogen in diamond nanoparticles // The Journal of Physical Chemistry Letters. – 2012. – № 18. – Pp. 245–249.
7. Boguslavskii L.Z., Nazarova N.S., Vinnichenko D.V., Rud D.D., Urubkov I.V. Electrodischarge Method for Synthesizing Nanocarbon from Gaseous Raw Hydrocarbons // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. – 2011. – Vol. 47. – No. 4. – Pp. 352–358.
8. Guang Feng, De-en Jiang, Peter T.Cummings. Curvature Effect on the Capacitance of Electric Double Layers at Ionic Liquid Onion-Like Carbon Interfaces. // J. Chem. Theory Comput. – 2012. – № 8 (3). – Pp. 1058–1063.
9. Song Li, Guang Feng, Pasquale F. Fulvio, Patrick, C. Hillesheim, Chen Liao, ShengDai, and Peter T. Cummings. Molecular Dynamics Simulation Study of the Capacitive Performance of a Binary Mixture of Ionic Liquids near an Onion-like Carbon Electrode // The Journal of Physical Chemistry Letters. – 2012. – №3 (17). – Pp. 2465–2469.

УДК 621.314.5:537.523:661.666.4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОГО СИНТЕЗА НАНОУГЛЕРОДА

Д.В. Винниченко

Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины,

пр. Октябрьский, 43 -а, 54018, Николаев, Украина.

E-mail: vdvvs@inbox.ru

На основе систематизации экспериментальных результатов определены оптимальные параметры и режимы высоковольтных электроразрядных систем, обеспечивающих реализацию новой электроимпульсной технологии синтеза наноуглерода из газообразного углеродсодержащего сырья. Исследованы электрофизические процессы в плазменном канале электрического разряда в пропане. Экспериментально определены значения пробивного и рабочего напряжения и вольтамперные характеристики разряда в режиме синтеза наноуглерода из газообразных углеводородов. Бібл. 9, табл. 2, рис. 4.

Ключевые слова: электротехнический комплекс, электроразрядный способ синтеза наноуглерода, пробивное напряжение, электрический разряд в газе.

DETERMINATION OF THE OPTIMAL CHARACTERISTICS OF HIGH VOLTAGE ELECTRIC-DISCHARGE SYSTEM FOR IMPLEMENTATION OF TECHNOLOGY FOR ELECTROPULSE SYNTHESIS OF NANOCARBON

D.V. Vinnichenko

Institute of pulse processes and technologies National academy of sciences of Ukraine,

pr. Zhovtnevyi, 43-a, Mykolayiv, 54018, Ukraine.

E-mail: vdvvs@inbox.ru

On the basis of systematization the experimental results the optimal parameters and modes of high-voltage electric discharge systems that implement the new technology of electro-pulse synthesis of nanocarbon from gaseous carbonaceous raw materials are determined. The electrical processes in the plasma channel of electrical discharge in propane were researched. Values of the breakdown voltage and the operating one as well as current-voltage characteristics of the discharge mode of nanocarbon synthesis of gaseous hydrocarbons were experimentally determined. References 9, tables 2, figures 4.

Keywords: electrotechnical complex, electric discharge method for the synthesis of nanocarbon, the breakdown voltage, electrical discharge in the gas.

1. Bohuslavskii L.Z., Nazarova N.S., Ovchinnikova L.E., Vinnichenko D.V., Diordiichuk V.V. Electrical system for pulsedischarge carbon nanomaterials synthesis with different magnetic properties // Tekhnichna Elektrodynamika. – 2012. – № 3. – Pp. 107–108. (Rus)
2. Vovchenko A.I., Tertilov R.V. Synthesis of parametric nonlinear capacitive energy sources for the discharge-pulse technology // Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoho Universytetu Korablebuduvannia. – 2010. – № 4. – Pp. 118–124. (Rus)
3. Shcherba A.A., Suprunovskaia N.Y. Laws of increasing the rate of rise of discharge currents in the load while limiting their maximum values // Tekhnichna Elektrodynamika. – 2012. – № 5. – Pp. 3–9. (Rus)
4. Shcherba A.A., Suprunovskaya N.Y. Synthesis of circuits with capacitive energy storage in semiconductor powerful shapers of discharge pulses // Tekhnichna Elektrodynamika. – 2014. – № 1. – Pp. 3–11. (Rus)
5. Patent 95543 Ukraine, МПК C01B 31/02 (2006.01), H05H 1/24 (2006.01), H05H 1/32 (2006.01). A method for producing carbon nanomaterials (options) / L.Z.Boguslavs'kyj, D.V.Vinnychenko, N.S.Nazarova (Ukraine); patent IPT NAS of Ukraine. - № a 2010 01186; stated 05.02.2010; published 10.08.2011 p., Bulletin № 15. – 9 p. (Ukr)
6. Barnard Amanda. Mapping the location and configuration of nitrogen in diamond nanoparticles // The Journal of Physical Chemistry Letters. – 2012. – № 18. – Pp. 245–249.
7. Boguslavskii L.Z., Nazarova N.S., Vinnichenko D.V., Rud D.D., Urubkov I.V. Electrodischarge Method for Synthesizing Nanocarbon from Gaseous Raw Hydrocarbons // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. – 2011. – Vol. 47. – No. 4. – Pp. 352–358.
8. Guang Feng, De-en Jiang, Peter T.Cummings. Curvature Effect on the Capacitance of Electric Double Layers at Ionic Liquid Onion-Like Carbon Interfaces. // J. Chem. Theory Comput. – 2012. – № 8 (3). – Pp. 1058–1063.
9. Song Li, Guang Feng, Pasquale F. Fulvio, Patrick, C. Hillesheim, Chen Liao, ShengDai, and Peter T. Cummings. Molecular Dynamics Simulation Study of the Capacitive Performance of a Binary Mixture of Ionic Liquids near an Onion-like Carbon Electrode // The Journal of Physical Chemistry Letters. – 2012. – №3 (17). – Pp. 2465–2469.

Надійшла 17.02.2014