

Полункін Є. В.<sup>1</sup>  
Рудь О. Д.<sup>1</sup>  
Янченко О. Б.<sup>1</sup>

## РОЗРОБКА НОВИХ ЛЕГУЮЧИХ ТА МОДИФІКУЮЧИХ ПРИСАДОК У СПЛАВИ МЕТАЛІВ, ЩО МІСТЯТЬ ВУГЛЕЦЕВІ НАНОСФЕРИ З ЕНДОЕДРАЛЬНИМИ АТОМАМИ МЕТАЛІВ

Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії ім. В. П. Кухаря НАН України  
Інститут фізики металів ім. Г. В. Курдюмова НАН України  
Вінницький національний технічний університет

### Анотація

*Проведенні дослідження по розробці комплексних модифікуючих присадок у сплави металів, що містять вуглецеві наносфери з ендоедральними атомами металів.*

**Ключові слова:** фулерени, ферохром, модифікуючі присадки з ендоедральними атомами металів.

В даний час наукова база знань про форми графіту (вуглецю) у розплавах високовуглецевих сплавів значно розширилася. Нами розглянута наукова задача взаємодії вуглецевими наночастинками на основі фулеренів, дослідження по впливу на структуроутворення високовуглецевих сплавів.

Враховуючи що однією з властивостей фулеренів, яке кардинально змінює погляди на структуру розплаву, є наявність фізичної поверхні розділу фулерен – розплав з усіма термодинамічними параметрами, властиві фазовим поверхням розділу. Це відкриває можливості пояснення цілого ряду явищ під час модифікування та кристалізації розплавів високовуглецевих сплавів.

Фулерени та вуглецеві наносфери з ендоедральними атомами металів відносяться до так званих фрактальних кластерів, як одиничних наноструктурних елементів, що формують структурну фрактальну основу розплавів. В даний час утворення фрактальних кластерів виявлено практично у всіх рідких металів, а також у чавунах та сталях. Рушійною силою утворення фрактальних дисипативних структур, що самоорганізуються, є прагнення системи до зниження вільної енергії.

Досліджено структуру та хімічний склад вуглецевих наносфер, модифікованих кисневмісними групами, бромом та хлором, синтезованих методом високовольтної високочастотної електророзрядної обробки пропан-бутанової газової суміші. Вперше за допомогою електронної мікроскопії та рентгеноструктурного аналізу встановлена будова наночасток, а коливально-електронні властивості вивчено методами раманівської спектроскопії [1].

Типові електронні зображення УНС представлені на рис.1. Отримані вуглецеві наноматеріали є сфероїдальні наночастки розміром  $\sim 10 \dots 20$  нм, що мають складну ієрархічну структуру. Окремі частинки складаються з багат шарових, частково закритих дефектів графенових оболонок неправильної форми з міжплощинною відстанню  $\sim 0,34 \dots 0,38$  нм (міжплощинна відстань графіту становить 0,3354 нм). У середині частки знаходиться невпорядковане ядро. Окремі частинки збираються в агломерати.

Нерозчинні модифікуючі добавки мають свої особливості, які дозволяють оцінювати їх вплив на процеси структуроутворення у сплавах під час їх кристалізації.

Так, наприклад, введення та розплав тугоплавких частинок можна розглядати як центри кристалізації, це відбувається, якщо на поверхні виникає зародження кристалів первинної фази,

що залежить від властивостей частки та їх розміру, і важливим є їх взаємодія з розплавом. Ця сполука (частка-тверда фаза-розплав) є стійкою, коли вільна енергія системи зменшується.

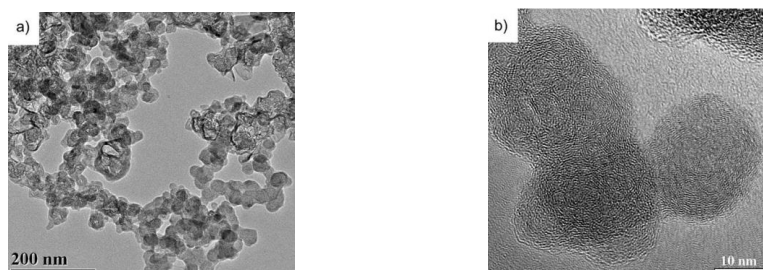


Рисунок 2. Типове ПЕМ-зображення вуглецевих наносфер

Величина оболонки металевої фази лежить на поверхні частки залежить від співвідношення термодинамічних властивостей модифікатора та розплаву, тобто, чим більше різниця між температурами плавлення модифікатора та металу розплаву, тим більша його ефективність. Також важливо враховувати електронну спорідненість модифікаторів та розплаву, тобто модифікаторам необхідно мати металевий тип провідності.

Подальше дослідження та розробка комплексних модифікуючих присадок у сплави металів, що містять вуглецеві наносфери з ендоедральними атомами металів на машинобудівних, чавуно-ливарних та сталеливарних підприємств дасть змогу отримати суттєвий економічний прибуток, оскільки підвищення надійності та довговічності виробів відповідального призначення є актуальним завданням, вирішення якого нерозривно пов'язане з економікою дефіцитних матеріалів та енергоресурсів.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. A. D. Rud, N. E. Kornienko, I. V. Polunkin, L. Z. Boguslavskii, D. V. Vinnichenko, I. M. Kirian, O. F. Kolomys, N. I. Kuskova. Structure of carbon nanospheres modified with oxygen-containing groups and halogens. Applied Nanoscience. 2023. <https://doi.org/10.1007/s13204-023-02817-2>.

**Рудь Александр Дмитриевич** – д.ф.-м.н., завідувач відділу фізико-дисперсних систем, Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України, e-mail: rud@imp.kiev.ua

**Полункін Євген Васильович** – кандидат хімічних наук, завідувач відділу гомогенного каталізу та присадок до нафтопродуктів Інституту біоорганічної хімії та нафтохімії ім. В. П. Кухаря НАН України, e-mail: polunkin@i.ua

**Янченко Олександр Борисович** – канд. техн. наук, доц., кафедри ГМ, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: 1961yab@gmail.com

## DEVELOPMENT OF NEW ALLOYING AND MODIFYING ADDITIVES IN METAL ALLOYS CONTAINING CARBON NANOSPHERES WITH ENDOHEDRAL METAL ATOMS

### Abstract

*Conducting research on the development of complex modifying additives in metal alloys containing carbon nanospheres with endohedral metal atoms.*

**Key words:** fullerenes, ferrochrome, modifying additives, endohedral metal atoms

**Alexander D. Rud** – Doctor of Technical Sciences, Professor of Industrial Engineering., G. V. Kurdyumov Institute for Metal Physics of N.A.S. of Ukraine. email: rud@imp.kiev.ua

**Polunkin Yevhen** - Candidate of Chemical Sciences, Head of Department of Homogeneous Catalysis and Additives to Petroleum Products, V.P. Kukhar Institute of Bioorganic Chemistry and Petrochemistry, NAS of Ukraine, e-mail: polunkin@i.ua.

**Yanchenko Alexander B.** – Cand. tech. Sciences, Associate Professor of Industrial Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail 1961yab@gmail.com.