

## **ВЗРИВНО СИНТЕЗИРАН, ДЕАГРЕГИРАН И МОДИФИЦИРАН НАНОДИАМАНТ ЗА ПРИЛОЖЕНИЕ В НАНОМОДИФИЦИРАНИ СПЛАВИ**

**Людмил Марков<sup>1</sup>, Юлиан Караджов<sup>1</sup>, Росица Димитрова<sup>2</sup>, Валентин Манолов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*  
<sup>2</sup>*Институт по металознание, съоръжения и технологии „Акад. А. Балеvски“с център по хидроаеродинамика - Българска академия на науките*  
e-mail: lmarkov@space.bas.bg, doctorka@abv.bg, rossy@ims.bas.bg, v.manolov@ims.bas.bg

**Ключови думи:** нанодиамант (НД), наномодифицирани сплави

**Резюме:** В представената работа е описано приложението на наноразмерен диамант (НД) при получаването на наномодифицирани сплави. Описани са методи за деагрегация на първоначално получените агрегати от НД, както и за тяхната метализация. Представени са резултати от металографски анализ на отливки от сплав AISi7Mg, след въвеждане на НД в стопилката.

## **EXPLOSIVE SYNTHESIZED DEAGGREGATED AND MODIFIED NANODIAMOND FOR APPLICATION IN NANOMODIFIED ALLOYS**

**Ludmil Markov<sup>1</sup>, Julian Karadjov<sup>1</sup>, Rositza Dimitrova<sup>2</sup>, Valentin Manolov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*  
<sup>2</sup>*Institute of Metal Science, Equipment and Technologies “Acad. A. Balevski” with Hydroaerodynamics Centre – Bulgarian Academy of Sciences*  
e-mail: lmarkov@space.bas.bg, doctorka@abv.bg, rossy@ims.bas.bg, v.manolov@ims.bas.bg

**Keywords:** nanodiamond (ND), nanomodified alloys

**Abstract:** The presented work contains a description of the usage of a nanosized diamond in the processes of creating nanomodified alloys. Methods for deaggregation of ND aggregates are presented, along with methods for metallization of ND. Results based on the metallographic analyses of AISi7Mg alloy castings after adding of ND into the melt are given.

Един перспективен метод за подобряване качествата на различни видове сплави се явява тяхното модифициране с наноразмерни частици.

В представената разработка беше използван взривно синтезиран нанодиамант (НД), представляващ фин сив прах, с чистота 99,9%, пикнометрична плътност – 3,16 g/cm<sup>3</sup> и специфична повърхност до 400 m<sup>2</sup>/g. Изследванията, извършени със сканиращ електронен микроскоп и проведената компютърна обработка на образите показват, че частиците НД са почти изометрични със среден размер 4÷7nm.

При обикновени условия частиците са агрегирани в агломерати с гроздовидна форма, достигащи размери от порядъка на микрометри. Разрушаването на тези агрегати беше извършено чрез неколкостепенно замразяване на суспензията от НД и вода при температура на течния азот и последваща обработка с мощен ултразвуков генератор, при използване на подходящи разтворители. При съчетаването на тези два метода се получава НД с описаните по-горе свойства, висока седиментна устойчивост и аномално високи адсорбционни свойства.

При вграждане на нанодиаманти (НД) в метални сплави е целесъобразно те предварително да се металлизират. Разработени бяха различни методи за химическо отлагане на метални покрития върху нанодиамаантите. Най-удачни се оказаха покритията със сребро (10÷50%) и мед (50%).

Метализацията със сребро е проведена по метода на химическо отлагане от разтвор на сребърно комплексно съединение, което при редукция дава метално сребро. При тази реакция, известна като „сребърно огледало”, върху стените на съда не се отложи почти никакво метално сребро, което означава, че то се е отложило изцяло върху повърхността на НД.

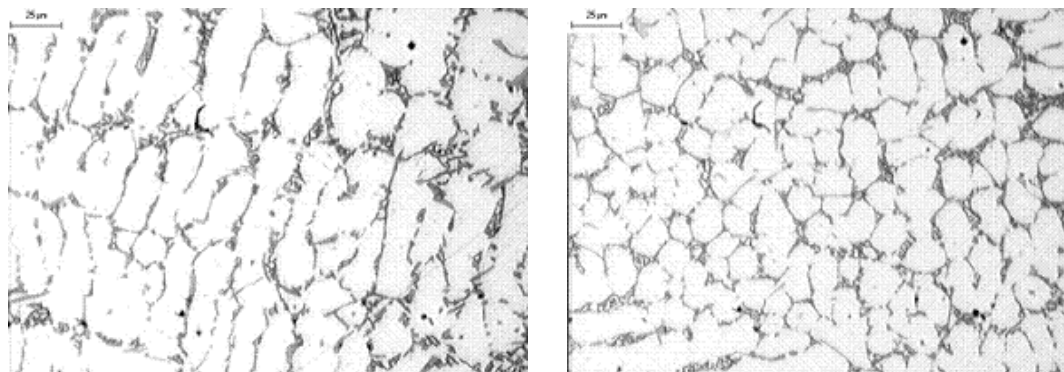
Метализацията с мед е проведена чрез редукция на медна сол с хипофосфит в присъствие на НД. Характерно за метода е, че се отлага мед със значителни примеси от меден хидрид, който би могъл да доведе до възможни проблеми при внасянето на така метализирания НД в сплави. Затова покрития с мед НД бе подложен на термична обработка във вакуум, при която се отделя потенциално рисковият водород и покритието от чиста мед се стабилизира.

Рентгеноструктурният анализ показва, че съдейки по ширината на металния пик покритията се проявяват като наноразмерни с характерен размер почти еднакъв с този на частиците НД. Трудно е да се каже дали това са метални наночастици, прилепнали към НД или повече или по-малко равномерен метален слой, който само рентгенографски се проявява като частица. Във всички случаи, метализацията оскъпява нанодиамантите незначително, но създава на повърхността им здраво захванати метални ядра.

НД са използвани за модифициране на алуминиева сплав AlSi7Mg, като към течната стопилка са добавени поотделно три вида НД с електрохимично покритие (~ 10 %) от различни метали:

- ND+Ag - прах от НД и плакиращ метал Ag. Концентрация на НД - 0.1% и 0.15 % от теглото на стопилката;
- ND+Cu - прах от НД и плакиращ метал Cu. Концентрация на НД - 0.15 %;
- ND+Ni - прах от НД и плакиращ метал Ni. Концентрация на НД - 0.15 %.

Добавката на 0.1 % ND+Ag в стопилката подобрява лятата структура. Формата на алуминиевите зърна от удължена става по-равноосна и размерите на тези окръглени кристални зърна рядко надвишава 50÷60  $\mu\text{m}$  (фиг. 1). Обемната част на сферичните клетки в обработената с НД сплав нараства почти два пъти. Средният диаметър на зърната  $D_{\text{ср}}$  намалява с 26.7 % (от 17.93  $\mu\text{m}$  на 13.15  $\mu\text{m}$ ), а стойностите на DAS - с 6.6 % (от 13.74  $\mu\text{m}$  на 12.84  $\mu\text{m}$ ). Нарастването на микротвърдостта достига 15.3 % (от 58.2  $\text{kg/mm}^2$  на 67.1  $\text{kg/mm}^2$ ).

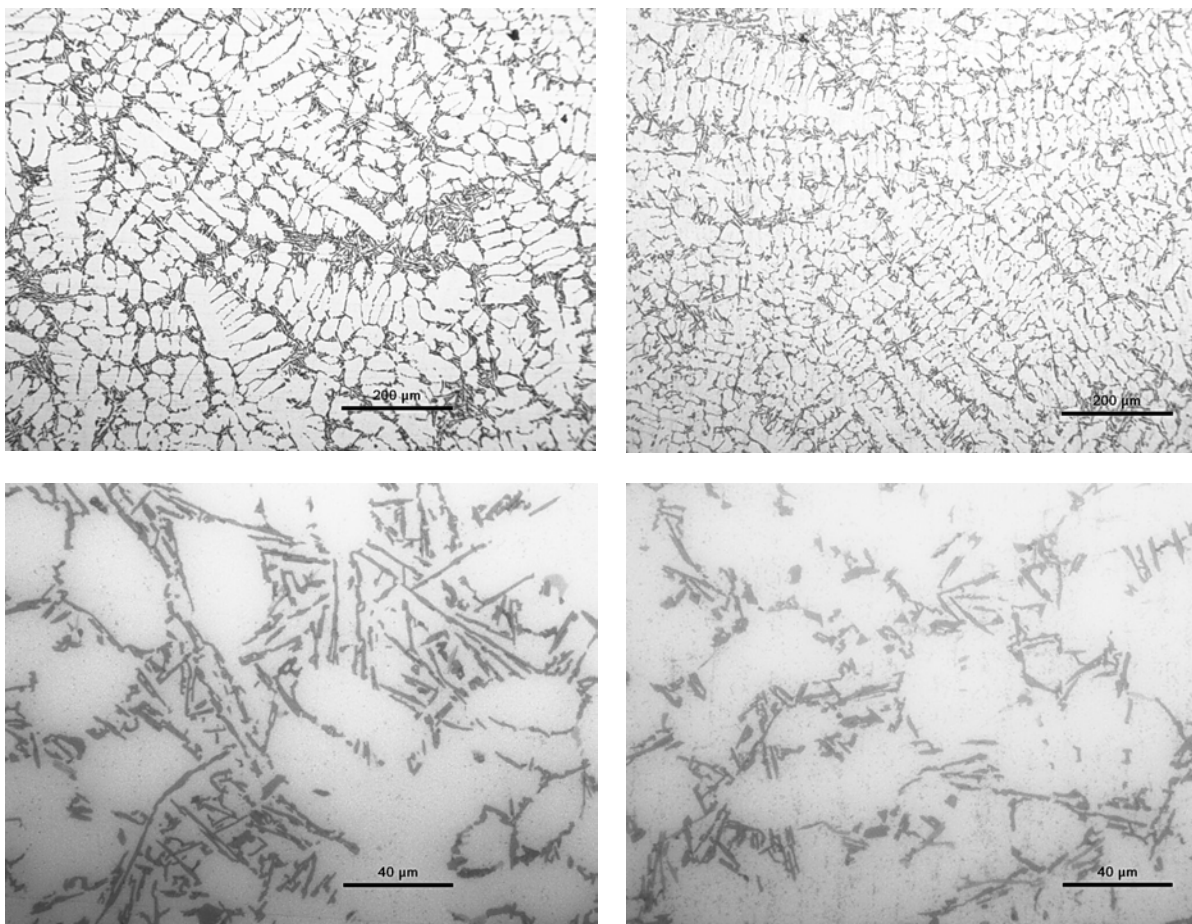


а) изходна

б) с 0.1 % ND+Ag

Фиг. 1. Микроструктура (LM) на сплав AlSi7Mg

НД са използвани и за модифициране на отливка на реално използван в промишлеността детайл – т.нар. „Лодка носеща”, която е част от електропреносната мрежа. Тя е отлята от сплав тип AlSi7Mg (EN AC42000AlSi7Mg), като към стопилката са добавени 0.15% ND+Ni (ND:Ni 1:0.1).



а) изходна

б ) с 0.15% ND + Ni

Фиг. 2. Металографски снимки (LM) на сплав EN AC42000AlSi7Mg

В отливката с добавени НД (фиг.2) се наблюдава промяна на алуминиевите зърна, които стават по-равносни. Средният им диаметър намалява с 30% (от 26.3  $\mu\text{m}$  на 18.4  $\mu\text{m}$ ), DAS намалява с 25.5% (от 23.9  $\mu\text{m}$  на 17.81  $\mu\text{m}$ ), средният диаметър на Si-частици намалява с 65 % (от 9.23  $\mu\text{m}$  на 3.23  $\mu\text{m}$ ). Микротвърдостта се увеличава с 13.1 % (от 61  $\text{kg/mm}^2$  на 69  $\text{kg/mm}^2$ ), границата на провлачане нараства с 2.3% (от 128 МПа на 131 МПа), границата на якост – с 4.2% (от 192 МПа на 200 МПа), а относителното удължение нараства с 3.7% (от 2.7% на 2.8%).

#### Изводи:

1. Използваните методи за деагрегация и модификация на НД са подходящи за целта.
2. Представени са резултати от влиянието на нанодиамантите върху микроструктурата и механичните свойства на сплав AlSi7Mg и отливка тип „Лодка носеща“.
3. Внедряването на НД в сплави, полимери и композити е целесъобразно, като при Al сплави легирането с диамантен прах подобрява твърдостта и якостта. [2]

#### Литература:

1. US патент № 5,353,708
2. Бузекова - Пенкова, А. Програма и методика за провеждане на експеримент „обстановка“ на основата на дисперсноукъчана алуминиева сплав. Осма научна конференция с международно участие „Космос, екология, сигурност“, SES 2012, София, България, 4-6 Декември 2012 год.

Работата е част от Проект ТК01/076, финансиран от MOMH.