

УДК 669.018.95

Триботехнические свойства металломатричных композиционных материалов в зависимости от состава и структуры армированных углеродных частиц, полученных из фуллеренов под давлением

Воробьева Елизавета Евгеньевна

*Студент 1 курса магистратуры,
кафедра «Материаловедение»*

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана

*Научный руководитель: Л. В. Федорова,
доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение и технологии материалов»*

Высокое давление (5-8 ГПа) и высокотемпературная обработка (800-1200 °С) приводят к коллапсу фуллереновых молекул и превращению фуллеренов в частицы сверхупругой твердой углеродной фазы, которая характеризуется следующими свойствами: твердость $H_{IT} = 14 - 40$ ГПа, модуль индентирования $E_{IT} = 70-240$ ГПа, упругое восстановление при индентировании $\eta_{IT} > 80$ %.

Уникальное сочетание высокой твердости со сверхупругостью при относительно низком модуле индентирования углеродных фаз обеспечивает материалам превосходную износостойкость в сочетании с хорошими антифрикционными свойствами [1]. Такие материалы представляют большой интерес для армирования износостойких композиционных материалов на основе металлов с низким коэффициентом трения скольжения [2].

Для разработки таких КМ необходимо изучение зависимости физико-механических свойств синтезированных углеродных частиц от состава исходных фуллеренов, предварительной обработки фуллеренов, давления, синтеза и размера исходных фуллереновых порошковых частиц.

Металломатричные КМ синтезированы из порошков металлов (Co, Ti, Cu, Ni) с 10 вес. % C_{60} или неразделенной смеси фуллеренов $C_{60/70}$ без предварительной обработки фуллеренов или после обработки в планетарной мельнице в течение 4 часов. Образцы КМ диаметром 5 мм и высотой около 3 мм были изготовлены из смеси порошков металла и 10 вес. % фуллеритов на гидравлическом прессе ДО-138 с усилием 630 тонн в ячейках высокого квазигидростатического давления типа «тороид», используемых для синтеза сверхтвердых материалов. Структуру образцов исследовали с помощью оптического микроскопа Olympus. Размер зерна рассчитывали по методу случайных секущих [3].

Измерение физико-механических свойств (ГОСТ Р 8.748-2011) при комнатной температуре проводили с помощью динамического микротвердомера DUN-211 (Shimadzu, Япония) с записью кривой нагружения – разгрузки под нагрузкой 30 г.

На рис.1 представлены микроструктуры образцов КМ на основе Co, Cu, Ni.

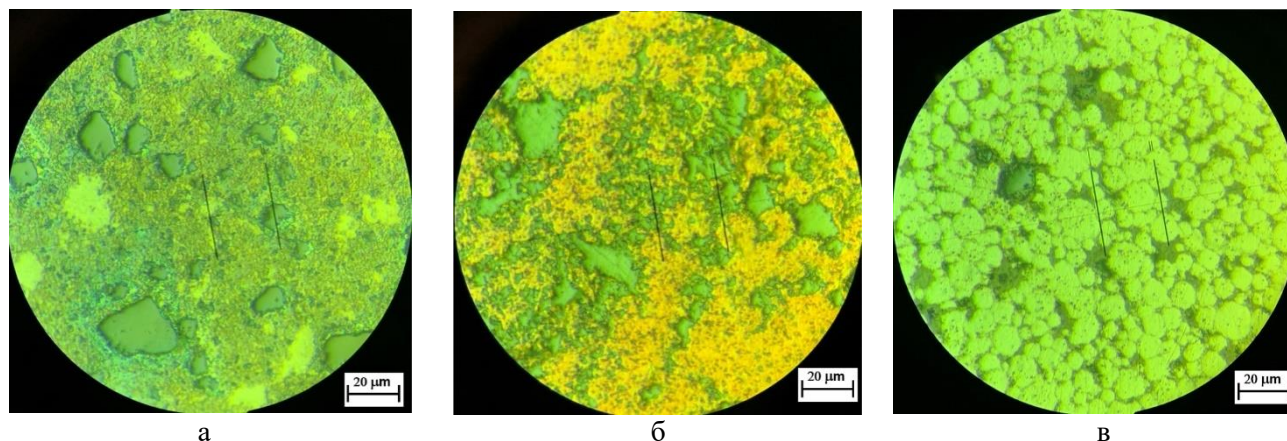


Рис. 1. – Микроструктуры КМ, синтезированные из: а) $\text{Co}+10\% \text{C}_{60/70-4 \text{ час}}$, при $P=8 \text{ ГПа}$ и $T=800 \text{ }^\circ\text{C}$; б) $\text{Cu} + 15\% \text{C}_{60}$ при $P=8 \text{ ГПа}$ и $T=1000 \text{ }^\circ\text{C}$; в) $\text{Ni}+10\% \text{C}_{60/70-4 \text{ час}}$ при $P=8 \text{ ГПа}$ и $T=800 \text{ }^\circ\text{C}$

Результаты измерения физико-механических свойств и размеры углеродных фаз, полученных из фуллеренов под давлением представлены в таблице 1.

Табл. 1. Состав исходной смеси и параметры синтеза композиционных материалов; физико-механические свойства синтезированных армирующих углеродных частиц из фуллеренов, размер частиц.

Состав КМ	P, ГПа - T, $^\circ\text{C}$	$H_{\text{Г}}$, ГПа	$E_{\text{Г}}$, ГПа	$\eta_{\text{Г}}$, %	Размер фазы, мкм
$\text{Cu}+15\%\text{C}_{60}$	8-1200	15,9	89,3	84	24
$\text{Ti}+\text{C}_{60/70}$	5-800	14,3	71,6	88,5	76,45
$\text{Co}+10\%\text{C}_{60/70}$	8-1200	28,2	151,1	87,6	57
* $\text{Cu} + 10\%\text{C}_{60/70-4 \text{ час}}$	8-800	40,7	261,7	81,2	67,5
$\text{Cu}+10\%\text{C}_{60/70-4 \text{ час}}$	8-800	38,5	239,1	79,2	38
$\text{Co}+10\%\text{C}_{60/70-4 \text{ час}}$	8-800	31,5	197,9	78,2	25
$\text{Ni}+10\%\text{C}_{60/70-4 \text{ час}}$	8-800	33	195,1	81	
$\text{Ti} + 10\%\text{C}_{60/70-4 \text{ час}}$	8-800	33,8	196	80,4	
$\text{Co}+10\%\text{C}_{60/70-4 \text{ час}}$	8-800	30,5	178,8	78,6	13

*) $\text{C}_{60/70-4 \text{ часа}}$ - предварительная обработка в планетарной мельнице в течение 4-х часов

Согласно результатам исследований (табл. 1.) ведущую роль в получении высокой твердости фаз из фуллеренов при их коллапсе играет состав исходных фуллеренов: фаза, полученная из смеси $\text{C}_{60/70}$ при давлении 5 ГПа имеет такие же твердость и модуль, как у фазы, полученной из C_{60} при 8 ГПа. Предварительная механоактивация (измельчение) исходной смеси $\text{C}_{60/70}$ приводит к росту твердости в 2 – 2,5 раза синтезированных углеродных фаз от 15 до 30 – 40 ГПа, росту модуля индентирования в 2,5 – 3,5 раза от 71 до 261 ГПа при сохранении высокой упругости

$\eta_{IT} > 78 \%$. Состав металлической матрицы не влияет на физико-механические свойства синтезированных углеродных фаз: КМ на основе Co, Ti и Ni при одинаковом размере углеродных частиц имеют близкие значения твердости и модуля индентирования $H_{IT}=30-33$ ГПа и $E_{IT}=180-200$ ГПа. Металлическая матрица при коллапсе фуллереновых молекул и образовании сверхупругой и твердой атомарной углеродной фазы играет роль пластичной среды, передающей давление.

Армирующие углеродные частицы в КМ на основе меди, полученные при одинаковых условиях из одинакового фуллеренового сырья, при разнице в размере почти в 2 раза (68 и 38 мкм) имеют близкие значения твердости и модули упругости $H_{IT} = 41$ и 38 ГПа; $E_{IT} = 260$ и 240 ГПа.

В дальнейшем будут определены триботехнические свойства КМ в зависимости от состава и структуры армирующих углеродных частиц, полученных из фуллеренов под давлением.

Автор выражает благодарность сотрудникам лаборатории №7 ИМЕТ РАН Черногоровой О. П. и Дроздовой Е. И.

Литература:

1. A. Leyland and A. Matthews, Surf. Coatings Technol., 177–178, 317 (2004).
2. Черногорова О. П., Дроздова Е. И., Блинов В. М., Бульенков Н.А. Структура и свойства сверхупругих и твердых углеродных частиц, армирующих износостойкие композиционные материалы, полученные из смеси порошков железа и фуллеренов под давлением // Российские нанотехнологии. 2008. Т. 3. №5–6. С. 150-157.
3. Салтыков С. А. М.: Металлургия// Стереометрическая металлография. - 1976. – Т. 1. – 205–212