

**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 2 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.

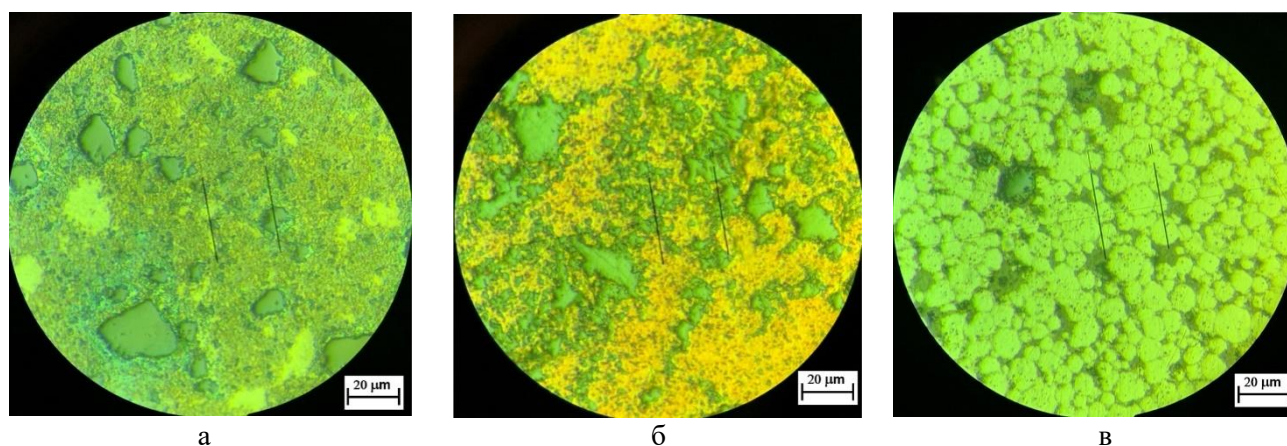


Рис. 1. – Микроструктуры КМ, синтезированные из: а) Co+10 %  $C_{60/70-4}$  час, при  $P=8$  ГПа и  $T=800$  °C;  
б) Cu + 15 %  $C_{60}$  при  $P=8$  ГПа и  $T=1000$  °C; в) Ni+10 %  $C_{60/70-4}$  час при  $P=8$  ГПа и  $T=800$  °C

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

\*)  $C_{60/70-4}$  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  $C_{60/70}$  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  $C_{60/70}$  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