

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОРОШКОВЫХ КОМПОЗИТОВ  
МЕДЬ-УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБКИ**

**Я. М. Орловская**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого», Беларусь*

Научный руководитель В. А. Ковтун

Углеродные нанотрубки и в целом наноструктуры призваны сыграть значимую роль в экономике наступившего века. Интерес к наноструктурным материалам вызван перспективным прикладным значением для многих отраслей народного хозяйства: промышленности, сельского хозяйства, энергетики, специальной техники и др. [1], [2].

Актуальной задачей является улучшение триботехнических характеристик и физико-механических свойств антифрикционных композиционных материалов, используемых в узлах трения. С этой целью в данные материалы вводятся многочисленные добавки в различной концентрации, снижающие коэффициент трения и интенсивность изнашивания.

Обладая механическими свойствами, сопоставимыми со свойствами литых материалов, порошковые материалы имеют более лучшую прирабатываемость, более низкий коэффициент трения и большую износостойкость. Детали из этих материалов обладают свойствами самосмазывания и саморегулирования подачи смазки в зону трения [3].

Одним из перспективных наполнителей, повышающим триботехнические характеристики порошковых материалов, являются наноструктуры углерода. Путем введения наноструктур углерода различной формы, в частности углеродных нанотрубок (УНТ) и луковичных наноструктур углерода (ЛНУ), представляется возможным значительно повысить износостойкость композиционных материалов [4]–[7].

В качестве материала матрицы износостойких композитов триботехнического назначения, получаемых методом электроконтактного спекания, использовали порошок меди электролитический ПМС-1 ГОСТ 4960–75. В качестве комбинированного углеродного наноструктурного наполнителя (КУНН) использовали смесь, состоящую из 20 % УНТ и 80 % ЛНУ, полученную при пиролизе ароматических углеводородов.

Материалы получали методом электроконтактного спекания с использованием модернизированной машины контактной сварки МШ 3207.

В качестве объекта исследования выступали композиционные износостойкие материалы на основе медной матрицы с содержанием углеродного наноструктурного наполнителя от 0,01 до 0,1 мас. %.

Приготовление порошковых композиций при создании материала осуществляли путем механоактивации составляющих компонентов в опытном устройстве для смешивания и активации порошковых материалов в течении 60 мин.

Механические испытания композиционных материалов на основе систем «медь–УНТ» и «медь–ЛНУ» показали, что композиты с трубчатыми наноструктурами углерода по сравнению с композитами, содержащими луковичные наноструктуры углерода, имеют более высокие значения разрушающего напряжения при сжатии (рис. 1). Как видно, прочность композита медь–УНТ незначительно возрастает при увеличении содержания наполнителя до 0,07 мас. %. В то же время необходимо отметить интенсивное снижение прочности композита медь–ЛНУ при дальнейшем увеличении содержания наполнителя в составе материала.

Результаты триботехнических испытаний спеченных антифрикционных материалов на основе медной матрицы и КУНН представлены на рис. 2.

На рис. 3 представлена зависимость изменения разрушающего напряжения при сжатии порошковых композиционных материалов на основе систем «медь–КУНН» в от содержания нанонаполнителя.

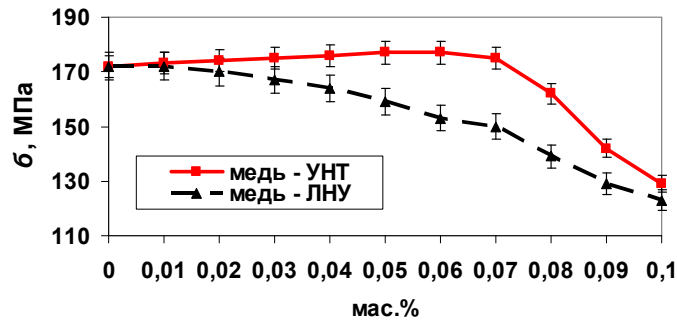


Рис. 1. Зависимость разрушающего напряжения при сжатии порошковых композиционных материалов медь–УНТ и медь–ЛНУ от содержания наполнителя

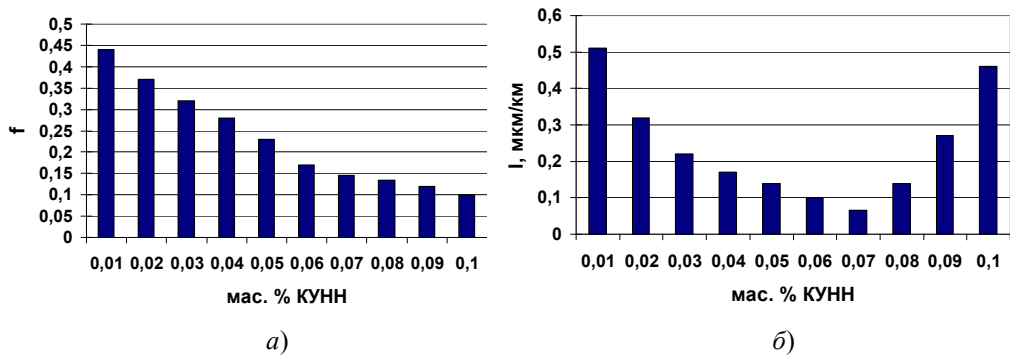


Рис. 2. Зависимость коэффициента трения (а) и интенсивности изнашивания (б) порошкового износостойкого композиционного материала медь–КУНН от содержания КУНН

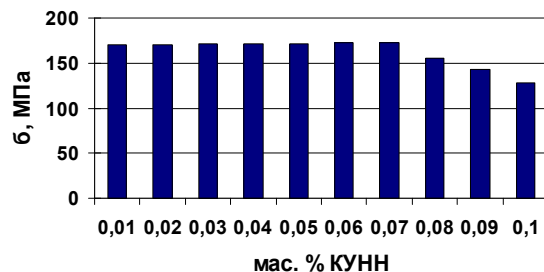


Рис. 3. Зависимость разрушающего напряжения при сжатии порошковых композиционных материалов медь–КУНН от содержания КУНН

Исследования физико-механических и триботехнических свойств износостойких материалов от содержания в них КУНН показали, что наиболее оптимальным является применение 0,06–0,07 мас. % КУНН. При этом обеспечиваются интенсив-

ность изнашивания 0,06...0,07 мкм/км при коэффициенте трения, равном 0,14, предел прочности при сжатии 165...170 МПа.

Как известно, изнашивание поверхностей деталей возникает под действием трения и зависит от материалов деталей, качества обработки их поверхностей, нагрузки, скорости относительного перемещения поверхностей, их температур и других факторов.

Основываясь на этом, было сделано предположение о вероятном механизме работы КУНН в износостойком композиционном материале в процессе сухого трения. Вероятно, частицы углеродного наноструктурного наполнителя в процессе трения по мере изнашивания материала выходят из междендритного пространства на поверхность трения композиционного материала. В дальнейшем наноструктуры углерода, попадая между участками контактирующих поверхностей трения композиционного материала и контртела, препятствуют процессу образования металлических связей и схватыванию между частицами композиционного материала и контртела.

В подтверждение данного предположения были проведены исследования продуктов износа износостойкого композиционного материала на основе медной матрицы и КУНН (рис. 4).

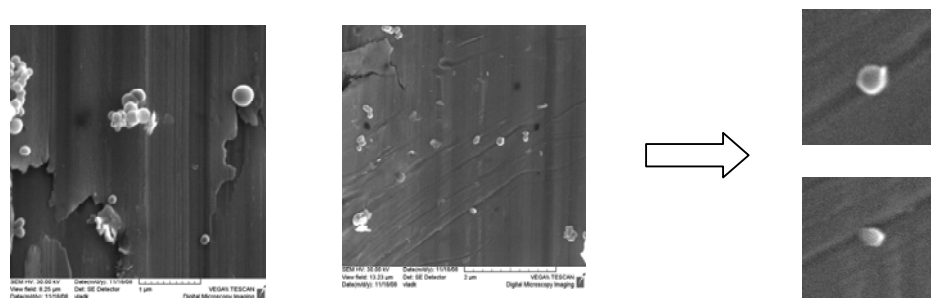


Рис. 4. Поверхность частиц продуктов износа композиционного материала на основе порошковой системы «медь–КУНН»

Снижение интенсивности изнашивания обеспечивается специфическим движением наноструктур углерода по поверхности трения материала. На основании результатов микроструктурных исследований можно предположить, что частицы КУНН перемещаются по поверхности трения износостойкого материала в бороздах, образуемых ими под действием нагрузок и сил трения, что способствует снижению коэффициента трения.

Сравнение свойств разработанных и традиционно используемых в машиностроении порошковых антифрикционных материалов на медной и бронзовой матрицах в узлах «сухого» трения показало, что новые получаемые электроконтактным спеканием материалы на основе механоактивированных смесей порошков меди и наноструктур углерода обладают в 1,5–2 раза более низкой интенсивностью изнашивания и на 30–50 % более высоким пределом прочности при сжатии.

#### Литература

1. Головин, Ю. И. Введение в нанотехнологию / Ю. И. Головин. – М. : Машиностроение, 2003. – 112 с.
2. Трибология: Исследования и приложения: опыт США и стран СНГ / ред. В. А. Белого, К. Лудемы, Н. К. Мышкина. – М. : Машиностроение, 1993. – 454 с.
3. Материалы антифрикционные порошковые на основе меди. Марки: ГОСТ 26719–85. – Введ. 01.01.1987. – М. : Гос. ком. СССР по стандартам : Ин-т проблем материаловедения, 1986. – 11 с.
4. Processing of carbon nanotube reinforced aluminum composite / T. Kuzumaki [et al] // J. Mater. Res. – 1998. – Vol. 13, N 9. – P. 2445–2449.

## **Секция II. Материаловедение и технология обработки материалов 139**

---

5. Processing of ductile carbon nanotube/C60 composite / T. Kuzumaki [et al] // Mater.Trans. – 1998. – Vol. 39, N 5. – P. 574–577.
6. Nanomaterials: Synthesis, Properties and Applications / Ed. by A.S. Edelstain, C. Cammarata. – Institute of Physics Publ., Bristol and Philadelphia, 1996. – 360 p.
7. Ковтун, В. А. Наноструктуры углерода: свойства и перспективы применения в порошковых композиционных материалах триботехнического назначения / В. А. Ковтун, В. Н. Пасовец // Трение и износ. – 2006. – Т. 27, № 2. – С. 206–215.