

АСМ-АНАЛИЗ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНИЯ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ

Янь Цуан¹, С. А. Чижик²

¹ Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

² Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Использование углеродных нанотрубок (НТ) и фуллеренов в модифицировании поверхностей трения представляется перспективным в инженерии поверхностей для микросистем. Однако механизм влияния углеродных наноматериалов на трение не до конца ясен.

В работе использован метод АСМ для анализа изменений поверхностей, модифицированных углеродными наноматериалами, происходящих в результате трения и объяснения механизма трения.

Трение покрытий на базе углеродных нанотрубок

Углеродные нанотрубки наносились на поверхность никеля (фольга толщиной 0,1 мм) методом электрофореза из суспензии НТ на базе хлороформа. Исследования трения проводились при возвратно-поступательном скольжении стального шарика-индентора диаметром 3 мм под нагрузкой 50 Н по поверхности образца. На рис. 1 показаны результаты измерения коэффициента трения.

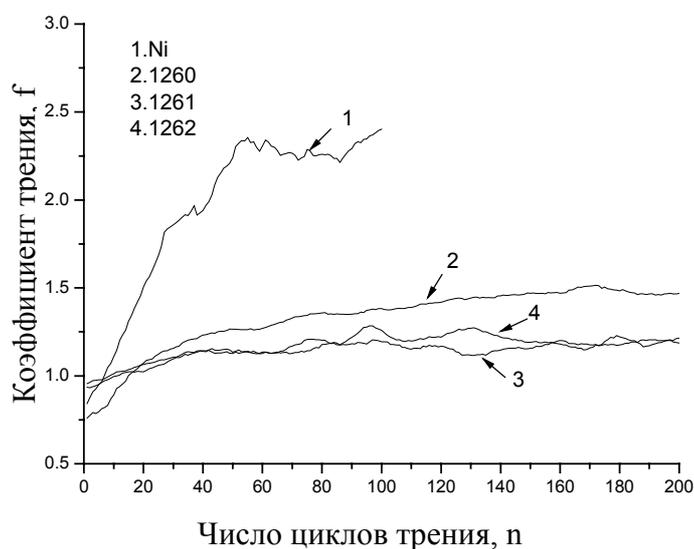


Рис. 1. Зависимость коэффициента трения от числа циклов трения. 1 – не модифицированная поверхность трения; 2, 3, 4 – поверхность никеля, модифицированная углеродными нанотрубками при различных временах модифицирования

Исходная поверхность никеля в процессе воздействия индентора претерпевает значительное деформирование и вследствие этого имеет высокий коэффициент трения. Модифицированные поверхности также обладают высоким коэффициентом трения, однако имеет место снижение трения более, чем в два раза.

На рис. 2 представлены сравнительные исследования поверхностей трения до и после модифицирования.

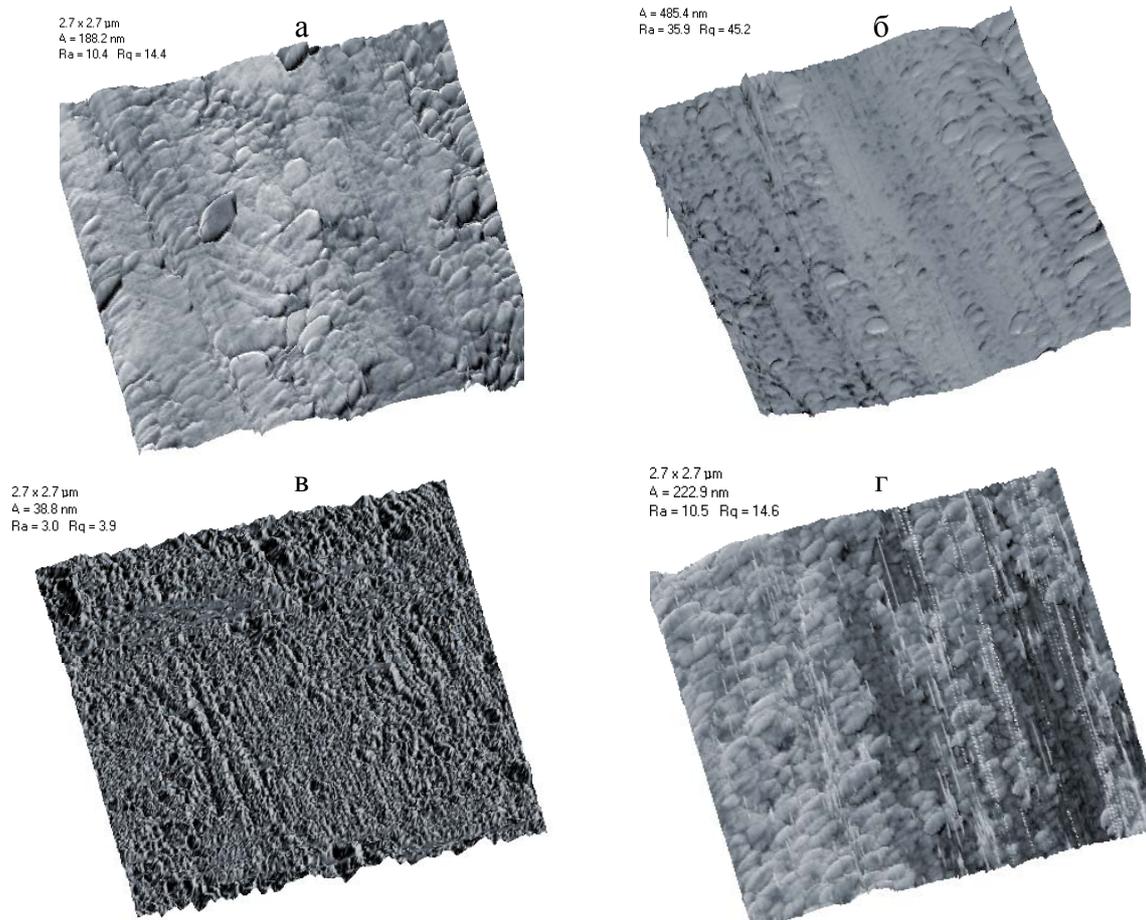


Рис. 2. АСМ-изображения (размер скана 2,5x2,5 мкм): смешанное изображение (топография + латеральные силы) поверхности немодифицированного никеля до трения (а) и после трения (б), поверхности, модифицированной углеродными нанотрубками до трения (в) и после трения (г)

В результате трения сферического индентора по поверхности никеля происходит пластическое деформирование материала в поверхностном слое. При этом не наблюдается значительного изменения локальных механических свойств материала (рис.2,б). В противоположность этому присутствует существенный контраст на модифицированной поверхности трения (рис. 2,г). Возможно, в данном случае имеет место графитизация материала в результате условий высоких фактических давлений и температур в зоне трения [2]. Это и приводит к значительному снижению коэффициента трения для модифицированных поверхностей.

Трение покрытий на базе фуллеренов

Покрытия наносились на подложку полированного кремния путем испарения порошка фуллеренов в вакууме.

Анализ коэффициента трения по схеме, описанной выше, показал его снижение по мере увеличения количества циклов (рис. 3).

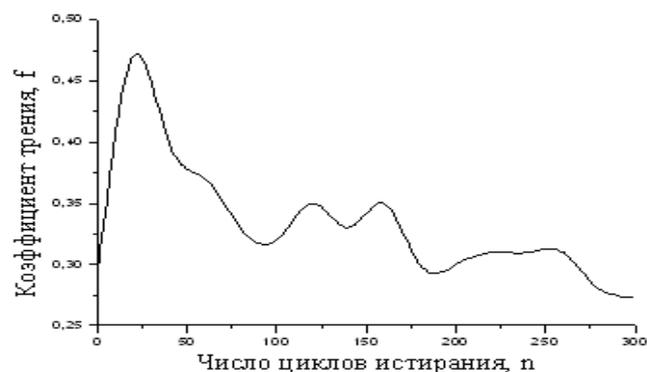


Рис. 3. Коэффициент трения покрытия фуллеренов в зависимости от числа циклов трения

Сравнение АСМ-изображений поверхности покрытия до трения и после (рис. 4) показало кластерную структуру покрытия и существенную ее пластическую деформацию поверхности в процессе трения.

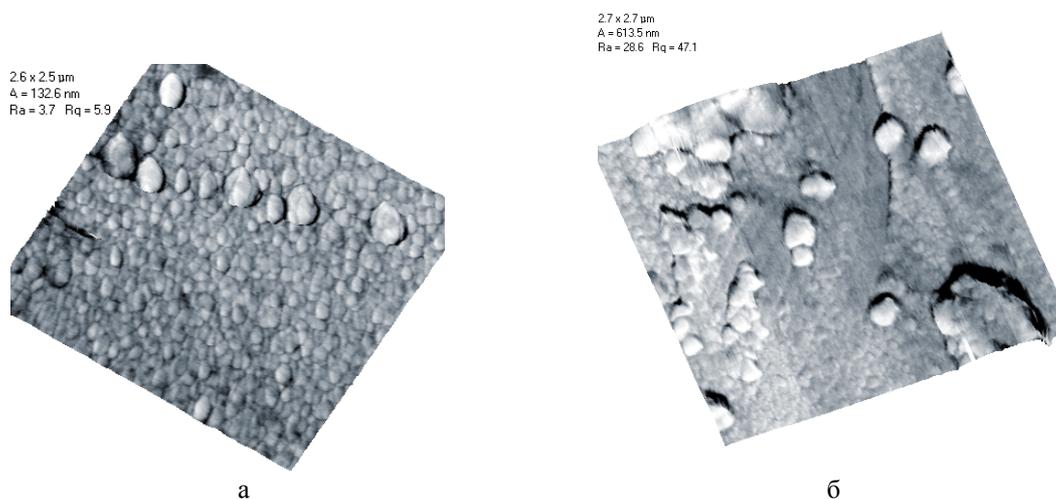


Рис. 4. АСМ-изображения (размер скана около 2,5x2,5 мкм): смешанное изображение (топография + латеральные силы) поверхности фуллеренового покрытия до трения (а) и после трения (б)

При этом не обнаруживается существенного изменения состояния материала на изображении латеральных сил, которые могли бы дать объяснения снижению трения.

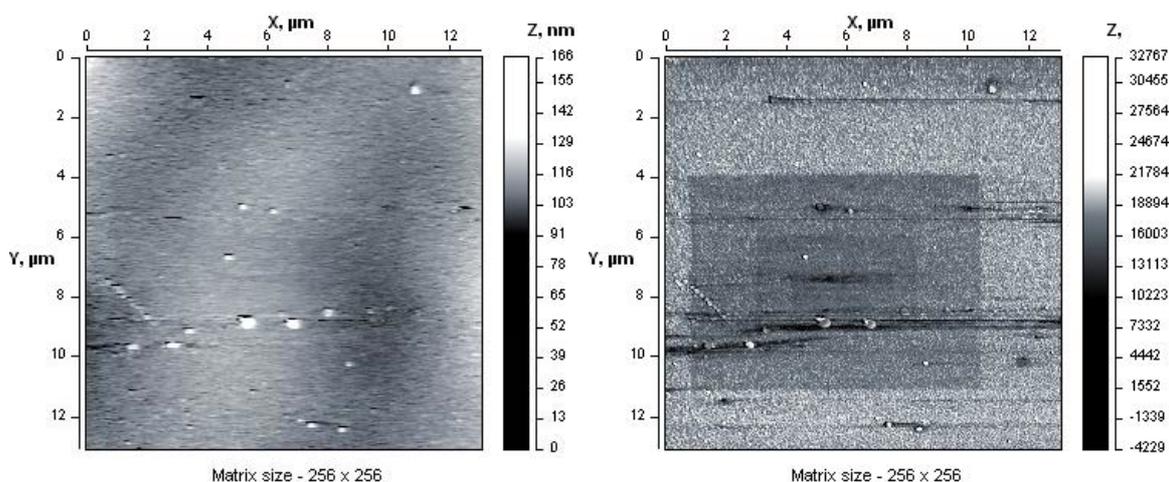


Рис. 5. Результаты многократного сканирования фуллеренового покрытия: а – топография и б – изображение латеральных сил, полученные при одном сканировании.

Однако удалось обнаружить интересные факты при изучении поверхности покрытия при использовании АСМ-зондов с жесткой консолью (40 Н/м) в контактном режиме сканирования. На рис. 5 приведены результаты исследования.

Интересным является факт значительного контраста на изображении латеральных сил как результат воздействия острия зонда, при этом на изображении топографии какие либо результаты воздействия острия не обнаружены. По-видимому, состояние кластеров фуллеренов претерпевает процесс самоорганизации при локальных механических воздействиях острием. Природа данных самоорганизаций не ясна, однако можно предположить, что именно данные тонкие изменения в состоянии фуллереновых кластеров приводят к снижению коэффициента трения.

Литература

1. The MEMS Handbook. Ed. by M. Gad-el-Hak. CRC Press. 2002.
2. Ahn H.-S., Chizhik S. A., Dubravin A. M., Kazachenko V. P., Popov A. N. Application of phase contrast imaging atomic force microscopy to tribofilms on DLC coatings // Wear 249 (2001). P. 617 – 625.