

# **РАЗДЕЛ ЧЕТВЕРТЫЙ**

## **ФИЗИКА РАДИАЦИОННЫХ И ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

УДК 546.26:539.23

### **МИКРОИНДЕНТИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ЖЕСТКОГО ДИСКА С УГЛЕРОДНЫМ АЛМАЗОПОДОБНЫМ ПОКРЫТИЕМ**

*Н.В. Камышанченко, А.Я. Колпаков, И.Ю. Гончаров, О.А. Дручинина  
Белгородский государственный университет,  
г. Белгород, Россия*

Исследована зависимость времени восстановления деформированной области вокруг отпечатка после микроиндентирования поверхности жесткого магнитного диска персонального компьютера с углеродным алмазоподобным покрытием толщиной 100...200 нм, полученным импульсным вакуумно-дуговым методом, от толщины защитного покрытия и взаимного расположения отпечатков. Размеры отпечатков измеряли с помощью сканирующего зондового микроскопа SMENA-A. Обнаружен эффект восстановления деформированной поверхности с алмазоподобным углеродным покрытием через 24 и 72 ч. Предложен возможный механизм данного явления, связанный с релаксацией внутренних напряжений сжатия в покрытии.

В настоящее время одной из перспективных областей применения тонких пленок алмазоподобного углерода является защита поверхности жестких дисков компьютеров [1]. Определение эксплуатационных характеристик, а именно микротвердости тонких покрытий ввиду малой их толщины, является довольно сложной технической задачей, требующей применения современного оборудования для анализа поверхности и большого объема исследований. Одним из способов определения микротвердости является измерение размера отпечатка, оставленного алмазным индентором после его вдавливания в поверхность с заданной нагрузкой [2]. В последнее время все большее применение находят методы инструментального микроиндентирования, которые имеют высокое пространственное и временное разрешение [3]. При исследовании различных материалов данными методами часто наблюдается явление упругого восстановления размеров отпечатков [4].

В данной работе приведены результаты исследования обнаруженного нами эффекта восстановления деформированной области по изменению интерференционной картины вокруг отпечатка после микроиндентирования на поверхности жесткого диска компьютера с нанесенным на него тонким углеродным алмазоподобным покрытием через 24 и 72 ч. Целью работы было изучение процессов восстановления деформированной области в зависимости от толщины защитного покрытия и взаимного расположения отпечатков.

Объектами исследования являлись образцы из алюминиевого сплава, используемого при изготовлении жестких дисков для компьютеров, на которые

наносилось углеродное алмазоподобное покрытие толщиной 100, 170 и 200 нм импульсным вакуумно-дуговым методом, подробно описанным в работах [5, 6]. В качестве катода использовали графит марки МПГ-6. Перед нанесением покрытия поверхность образцов обрабатывали ионами воздуха с энергией ионов порядка 1 кэВ в течение 25 мин. После этого наносили углеродное алмазоподобное покрытие вышеназванной толщины. Частота следования импульсов 2,5 Гц, при длительности импульсов разряда 0,5...0,6 мс и напряжении на емкостном накопителе 300 В. Углеродная пленка оптически прозрачна, имела интерференционную окраску, соответствующую ее толщине и коэффициенту преломления. Индентирование проводили при комнатной температуре на микротвердомере ПМТ-3М пирамидой Викерса с нагрузкой 0,098 Н. Время выдержки при этой нагрузке составляло 15 с. Толщину покрытия, а также размеры отпечатка измеряли с помощью сканирующего зондового микроскопа SMENA-A. Фотосъемка изменения интерференционной картины вокруг отпечатка индентора производилась при помощи цифровой фотокамеры OLYMPUS C-3040ZOOM непосредственно после разгрузки, а также через 24 и 72 ч (рис. 1, 2 и 3).

Установлено, что непосредственно после разгрузки средняя диагональ отпечатка составляла 4,7 мкм, максимальный размер интерференционной области – 25 мкм, глубина кратера вблизи отпечатка – 0,4 мкм (см. рис. 1,а). Через 24 ч средний размер диагонали не изменился, в то время как максимальный размер зоны деформации уменьшился до 20 мкм, а глубина кратера до 0,2 мкм (см. рис. 1,б).

Через 72 ч зона интерференции не наблюдалась, остался только отпечаток от индентора (см. рис.1,в).

Интересной особенностью зоны деформации является ее смещение относительно отпечатка, что, скорее всего, свидетельствует о неоднородности упругопластичных свойств подложки.

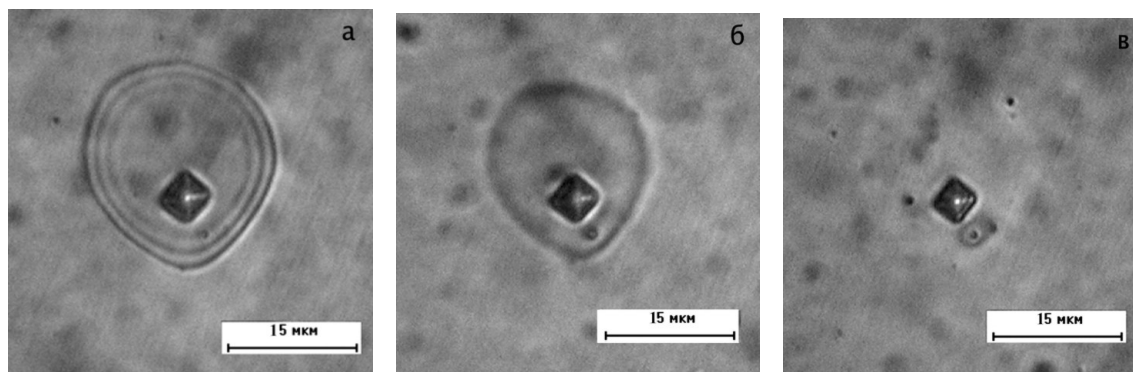


Рис.1. Изменение интерференционной картины вокруг отпечатка при нагрузке  $P = 0,098Н$ , толщина покрытия 170 нм; а – сразу после снятия нагрузки; б – через 24 ч; в – через 72 ч

При расположении отпечатков в непосредственной близости друг от друга (на расстоянии 15 мкм) область деформации представляет собой суперпозицию областей деформации от каждого из отпечатков

(см. рис. 2). Неоднородность и кинетика процесса во времени сохраняются такой же, как в предыдущем случае.

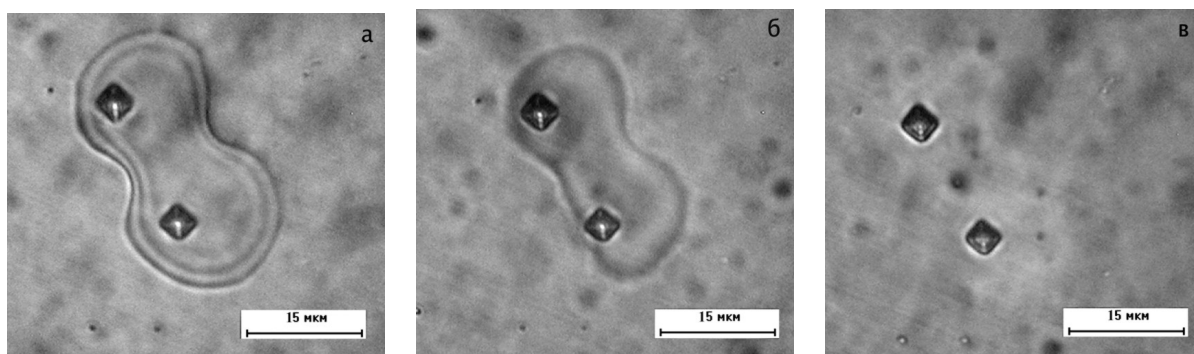


Рис. 2. Объединение областей интерференции у близко расположенных друг от друга отпечатков. Нагрузка 0,098 Н, толщина покрытия 170 нм: а – сразу после разгрузки; б – через 24 ч; в – через 72 ч

Уменьшение толщины твердого углеродного конденсата до 100 нм практически не изменяет максимальной зоны деформации, однако уменьшается

глубина кратера до 0,15 мкм, а время полного исчезновения деформации сокращается до 24 ч (см. рис. 3).

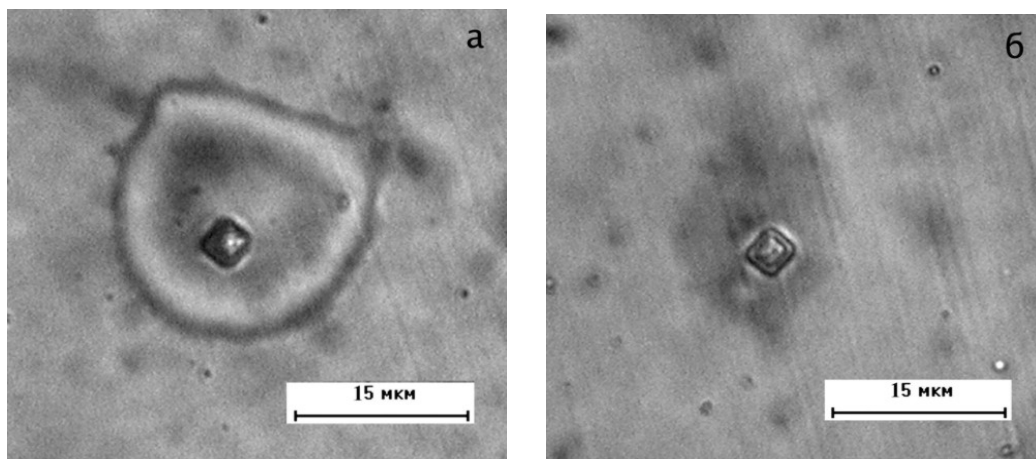


Рис.3. Покрытие толщиной 100 нм: а – непосредственно после снятия нагрузки; б – через 24 ч

При увеличении толщины покрытия до 200 нм также наблюдается эффект восстановления, однако деформированная область не имеет такой интенсивной равномерной окраски, и процесс протекает значительно быстрее и ограничивается одним часом.

В работах [9, 10] предложена модель индентирования системы «пластичная подложка – твердое покрытие», позволяющая объяснить распределение зон пластической и упругой деформации при внедрении в поверхность индентора. Однако нами для учета сложной картины деформации при индентировании использовалось компьютерное моделирование этого процесса для системы «пластичная подложка без твердого покрытия» и «с твердым покрытием» с помощью программы ELCUT, основанной на методе конечных элементов [11].

Результаты компьютерного моделирования (рис. 4) свидетельствуют об изменении картины распределения напряжений в подложке при индентировании в случае отсутствия и наличия углеродной алмазоподобной пленки. Эти результаты являются прекрасной иллюстрацией защитной роли твердого покрытия, нанесенного на пластичную подложку, заключающейся в перераспределении нагрузки на большую поверхность и, соответственно, уменьшении величины давления. Это приводит к изменению соотношения между процессами упругой и пластической деформации.

Достаточно неожиданным оказался эффект *распределенного во времени* (24 и 72 ч) процесса восстановления зоны деформации вокруг отпечатка индентора. Объяснение этого явления возможно при учете особенностей углеродного конденсата [7, 8]. Эти пленки обладают твердостью на уровне натурального алмаза, модулем упругости порядка 600 ГПа, а самое главное, аномально высокими значениями внутренних напряжений сжатия, достигающих 10...12 ГПа [8].

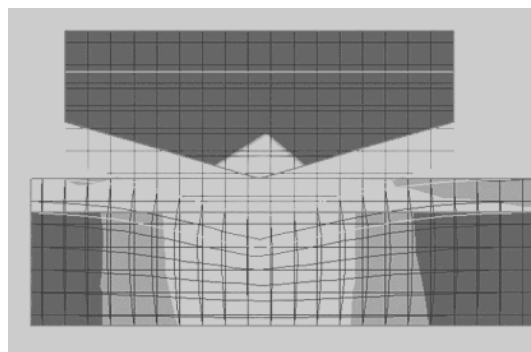
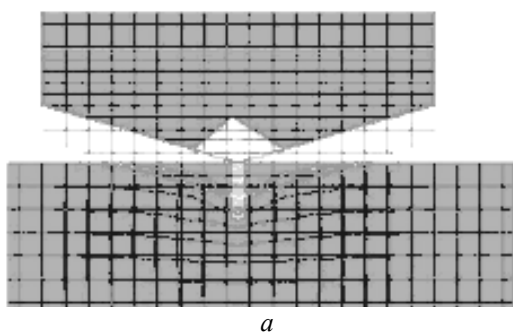


Рис. 4. Моделирование процесса индентирования с нагрузкой 0,098 Н: а – пластичная подложка,  $E = 70$  ГПа; б – такая же подложка со сверхтвердым углеродным алмазоподобным покрытием, модуль упругости пленки  $E = 600$  ГПа

В случае пластичной подложки, высокого значения адгезионной прочности между пленкой и подложкой, а также при условии отсутствия хрупкого разрушения защитного покрытия можно предложить возможный механизм восстановления поверхности после микроиндентирования, связанный с релаксацией внутренних напряжений сжатия в покрытии. Достаточно большое время восстановления может быть в основном связано с медленными диффузионными процессами в самой пленке (перераспределением дефектов, внесенных микроиндентированием, под действием неоднородных полей внутренних напряжений). Этот процесс вероятно можно интенсифицировать в результате термического воздействия, однако в рамках данной работы такие эксперименты не проводились.

Необходимо отметить, что наблюдаемый нами эффект имеется в достаточно узком диапазоне толщины твердого углеродного покрытия (100...170 нм), что связано с характеристиками как материала подложки, так и покрытия, а также величиной внутренних напряжений. С увеличением толщины покрытия до 200 нм интерференционная картина в области, прилегающей к отпечатку, не наблюдается.

Таким образом, в настоящей работе мы наблюдали явление, которое в дальнейшем можно использовать для визуализации и анализа деформаций при индентировании, а также для оценки общей деформации системы «сверхтвердая пленка – пластичная подложка». Установлено, что эффект восстановления деформированной области вокруг отпечатка после микроиндентирования поверхности жесткого диска компьютера с тонкой алмазоподобной пленкой может происходить только при определенном соотношении между толщиной углеродного покрытия и внутренними напряжениями в нем.

## ЛИТЕРАТУРА

1. S.G. Bull, A.M. Korsunsky. Mechanical properties of thin carbon overcoats // *Tribology International*. 1998, v. 31, N 9, p. 547–551.

2. В.К. Григорович. *Твердость и микротвердость металлов*. М.: «Наука», 1976, 230 с.
3. Ю.И. Головин, В.И. Иволгин, В.В. Коренков, Р.И. Рябко. Определение комплекса механических свойств материалов в нанобъемах методами наноиндентирования // *Конденсированные среды и межфазные границы*. 2001, т. 3, № 2, с. 122–135.
4. И.Ю. Головин, В.И. Иволгин, Р.И. Рябко. Вязкоупругое восстановление различных материалов в области динамического наноконтакта // *Письма в ЖТФ*. 2004, т. 30, в. 5, с. 64–69.
5. А.И. Маслов, Г.К. Дмитриев, Ю.Д. Чистяков. Импульсный источник углеродной плазмы для технологических целей // *Приборы и техника эксперимента*. 1985, № 3, с. 146–149.
6. В.П. Гончаренко, А.Я. Колпаков, А.И. Маслов. Способы получения алмазных и алмазоподобных покрытий, особенности применяемого оборудования // *Материалы VII Конференции стран СНГ по проблеме «Радиационная повреждаемость и работоспособность конструкционных материалов»*, Белгород, 1997.
7. Arup Gangopadhyay. Mechanical and tribological properties of amorphous carbon films // *Tribology Letters*. 1998, N 5, p. 25–39.
8. V.N. Inkin, G.G. Kirpilenco, A.J. Kolpakov. Internal stresses in ta-C films deposited by pulse arc discharge method // *Diamond and Related Materials*. 2001, N 10, p. 1103–1108.
9. Xi Chen, Joost J. Vlassak. *A numerical study on the measurement of thin film mechanical properties by mean of nanoindentation*. Harvard University, Cambridge, MA 02138.
10. Zeng Zuwei. Adhesion Mechanics of Thin-Films Indentation // *School of Mechanical & Production Engineering*. Nanyang Technology University, Singapore, January, 2004, 120 p.
11. *Пакет ELCUT. Студенческая версия 4.2.2.4., TOP*, Санкт-Петербург.

## МИКРОІНДЕНТИРУВАННЯ ПОВЕРХНІ ЖОРСТКОГО ДИСКУ З ВУГЛЕЦЕВИМ АЛМАЗОПОДІБНИМ ПОКРИТТЯМ

*М.В. Камішанченко, О.Я. Колпаков, І.Ю. Гончаров, О.А. Дручиніна*

Досліджена залежність часу відновлення деформованої області навкруги відбитка після мікроіндентування поверхні жорсткого магнітного диску персонального комп'ютера з вуглецевим алмазоподібним покриттям товщиною 100...200 нм, отриманим імпульсним вакуумно-дуговим методом, від товщини захисного покриття та взаємного розташування відбитків. Розміри відбитків вимірювали за допомогою скануючого зондового мікроскопу SMENA-A. Виявлено ефект відновлення деформованої поверхні з алмазоподібним вуглецевим покриттям через 24 та 72 години. Запропоновано можливий механізм даного явища, пов'язаний з релаксацією внутрішніх напружень стиснення покриттів.

## MICROINDENTIFICATION OF HARD DISK SURFACE WITH CARBON DIAMOND-LIKE COATING

*N.V. Kamyshanchenko, A. Ya. Kolpakov, I. Yu. Goncharov, O. A. Druchinina*

Dependence of time of recovery of the deformed area around of a print after microindenting surface of a rigid magnetic disk of a personal computer with a carbon diamond-like film thickness of 100...200 nm, deposited by pulse arc discharge method, from thickness of a sheeting and a relative positioning of prints is investigated. The sizes of prints measured with the help scanning probe microscope SMENA-A. The effect of restoration of the deformed surface with a diamond-like carbon coating in 24 and 72 hours is found out. The possible mechanism of the given phenomenon connected to a relaxation of internal stresses of compression in a covering is offered.