

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОДЛОЖКИ НА СТРУКТУРУ Cu/a-C ПОКРЫТИЙ

К. А. САХОВСКИЙ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Значительный интерес к алмазоподобным углеродным (a-C) покрытиям вызван уникальным сочетанием их механических, химических и оптических свойств, что позволяет использовать эти покрытия в качестве трибологических, оптических или химически стойких защитных слоёв. Такое сочетание свойств покрытий зависит от содержания в объёме покрытия различных типов углеродных связей: алмазных, графитовых и карбиновых. Алмазоподобные покрытия, формируемые вакуумными методами физического распыления, по своей структуре аморфны и состоят из углеродных кластеров, которые образованы атомами углерода с sp^2 – гибрированными связями, соединены между собой хаотически расположенными атомами углерода с sp^3 – гибрированными связями [1].

На рисунке 1 приведена схема получения a-C покрытий из сепарированного потока импульсной углеродной плазмы на подложки с предварительно осажденными Cu подслоями. Формирование

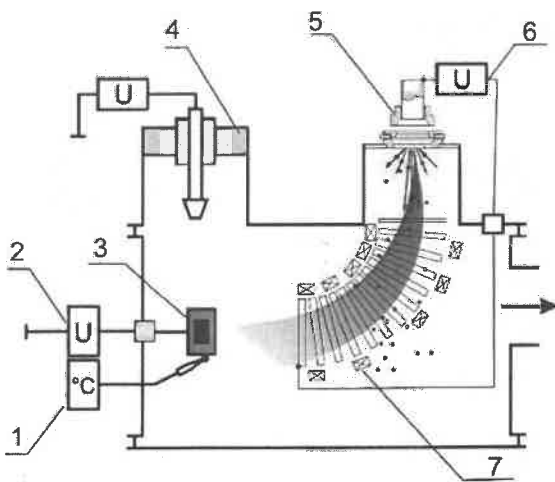


Рисунок 1 – Схема осаждения покрытий:

1 – блок измерения температуры в комплекте с термопарой; 2 – блок питания нагревателя подложек; 3 – нагреватель подложек с закрепленными подложками; 4 – дуговой испаритель постоянного тока (не использовался в данной работе); 5 – источник импульсной углеродной плазмы; 6 – блок питания источника углеродной плазмы; 7 – криволинейный сепаратор импульсного потока углеродной плазмы.

покрытий проводили при напряжении разряда 350 В, частоте следования импульсов 3 Гц. Количество импульсов разряда 3000. Подслои меди осаждались методом магнетронного распыления. Толщина слоев меди определялась временем нанесения покрытий и составляла 100 ± 5 нм.

Фазовый состав покрытий исследовали методом спектроскопии комбинационного рассеяния с помощью микроскопа комбинационного рассеяния Senterra (Bruker, США), возбуждение спектров осуществлялось излучением с длиной волны 532 нм и мощностью 20 мВт. Разложение регистрируемых спектров на D (центр вблизи 1380 см^{-1}) и G пики (с центром около 1560 см^{-1}) осуществляли по методу Гаусса. Параметры структуры углеродных покрытий отражаются в изменении положения G и D пиков, их полной ширины на полувысоте и отношения интенсивностей I_D / I_G , и указывают на изменение степени упорядоченности структуры углеродных покрытий.

На рисунке 2 представлены спектры комбинационного рассеяния (КР) покрытий, осажденных на нагретые до различной температуры кремниевые подложки содержащие Cu подслои.

Полученные спектры состоят из основной полосы, расположенной в области $1560\text{--}1580 \text{ см}^{-1}$ и низкоинтенсивного плеча в области $1360\text{--}1480 \text{ см}^{-1}$.

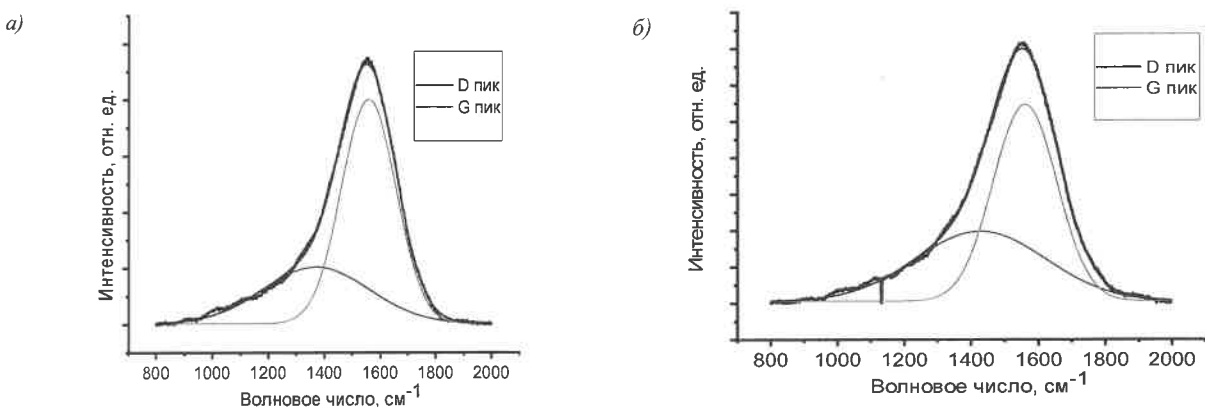


Рисунок 2 – Спектры КР для Cu/a-C покрытий, осажденных при разной температуре подложки: а – температура нагрева подложки $150 \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$; б – температура нагрева подложки $350 \pm 30 \text{ }^\circ\text{C}$

Результаты математической обработки спектров КР приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты математической обработки спектров КР покрытий, осаждённых при различной температуре подложки

Покрытие	Количество импульсов генератора углеродной плазмы	D пик, положение, см^{-1}	D пик, ширина, см^{-1}	G пик, положение, см^{-1}	G пик ширина, см^{-1}	I_D / I_G
<i>Температура осаждения 150 ± 20 °C</i>						
Cu/a-C	3000	1371,1	378,0	1558,5	195,6	0,49
<i>Температура осаждения 350 ± 30 °C</i>						
Cu/a-C	3000	1427,6	386,1	1560,2	189,8	0,72

Проведенные исследования изменения структуры a-C покрытий, осажденных на каталитически активные подслои, показали особенности изменения структуры в зависимости от температуры осаждения.

Известно, что смещение положения G пика в сторону больших волновых чисел происходит тогда, когда размер sp^2 кластеров углерода уменьшается, а их количество и упорядоченность возрастают, что свидетельствует о снижении отношения sp^3/sp^2 . Установлено, что при нанесении углеродного покрытия на подложку, нагретую до 300 °C, значение положения G пика является максимальным, что указывает на рост упорядоченности и, соответственно, на рост sp^2 фазы в покрытии. Увеличение концентрации sp^2 гибриризованных атомов углерода, подтверждает также увеличение отношения I_D / I_G .

В покрытиях с большой долей связей, соответствующих Csp^2 гибридизации, введение медных подслоев в состав покрытия, по-видимому, будет инициировать разупорядочение углеродного материала, следствием которого станет уширение G пика [2–4].

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект № Т22КИТГ-014 на 2022–2024 г.) и Министерства образования Республики Беларусь (номер государственной регистрации 20212075).

Список литературы

- 1 Electronic and atomic structure of amorphous carbon / S. J. Robertson [et al.] // Phys. Rev. B. – 1987. – Vol. 35 (6). – P. 2946–2957.
- 2 Direct quantitative detection of the sp^3 bonding in diamond-like carbon films using ultraviolet and visible Raman spectroscopy / K. W. R. Gilkes [et al.] // J. Appl. Phys. – 2000. – Vol. 87. – P. 7283–7289.
- 3 Continuous deformations in random networks / M. F. Thorpe [et al.] // J. Non-Cryst. Solids. – 1983. – Vol. 57. – P. 355–370.
- 4 XPS and XRR studies on microstructures and interfaces of DLC films deposited by FCVA method / C. K. Park [et al.] // Thin Solid Films. – 2002. – Vol. 420–421. – P. 235–240.

УДК 629.463.077-592-52

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ЗАЗОРЫ В ШАРНИРАХ РЫЧАЖНОЙ ПЕРЕДАЧИ ГРУЗОВОГО ВАГОНА

В. В. СИНИЦЫН

ООО «ТМХ Инжиниринг», г. Брянск, Российская Федерация

Г. И. ПЕТРОВ

Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва

Явление значительного превышения выхода штока тормозного цилиндра рычажной передачи относительно нормативного ($l_{шт} = 25 \dots 65$ мм) у вагонов с отдельным торможением при нормативных зазорах между колодкой и колесом ($\delta_k = 5-8$ мм) имеет существенное влияние на безопасность движения железнодорожного транспорта. В [1] обоснована связанная с этим явлением невозможность выполнения требований нормативной эксплуатационной документации в части прохождения таким вагоном крутого затяжного спуска. При этом были рассмотрены характеристики вновь изготовленного вагона. Однако в процессе эксплуатации указанная проблема значительно усугубляется