

ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УГЛЕРОДНЫХ ПОКРЫТИЙ, ЛЕГИРОВАННЫХ МЕТАЛЛАМИ ИЗ ПЛАЗМЫ ДУГОВОГО И МАГНЕТРОННОГО РАЗРЯДА

А.В. Рогачев¹, А.С. Руденков¹, Д.Г. Пилипцов¹, Сянь Хун Джанг², Н.Н. Федосенко¹

Международная Китайско-Белорусская научная лаборатория по вакуумно-плазменным технологиям

¹Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Гомель, Беларусь, rudenkov@gsu.by

²Нанкинский университет науки и технологии, Нанкин, Китай

Введение. Легированные углеродные покрытия являются сложными объектами, физико-химические и механические свойства которых определяются режимами и условиями формирования, природой отдельных ингредиентов, характером распределения фаз в объеме матрицы, межфазными процессами [1—3]. При формировании покрытий из импульсной углеродной катодной плазмы легирование металлами осуществляется, как правило, путем их электродугового испарения [3]. И хотя при этом предпринимаются меры по сепарации генерируемых потоков, полностью исключить наличие в нем капельной фазы невозможно. Химическое взаимодействие углерода с атомами и ионами металла осуществляется на границе капельной фазы, что приводит к структурной неоднородности и неравномерному распределению механических свойств покрытия, что, в свою очередь, может способствовать абразивному изнашиванию поверхности контртела при работе в паре трения с такими покрытиями.

Цель работы — изучение влияния режимов и условий легирования на морфологию и триботехнические свойства композиционных металл-углеродных покрытий.

Триботехнические испытания проводились по схеме «сфера — плоскость» (шарик радиусом 5 мм из закаленной стали ШХ15, покрытие наносили на кремниевую подложку). Нагрузка равнялась 0,98 Н, средняя скорость перемещения — 0,01 м/с. Затем выполнялся расчёт коэффициента объёмного изнашивания по формуле:

$$j = V/F L \text{ [м}^3\text{/(Н·м)]}, \quad (1)$$

где F — нагрузка (Н); L — путь трения (м); V — объем шарового сегмента изношенного материала (м³).

Из анализа результатов атомно-силовой микроскопии следует, что при аналогичных концентрациях субшероховатость R_{ms} покрытий, легированных медью с использованием магнетронного распыления, ниже в 2 раза, а легированных титаном, в 4,9 раза, чем при электродуговом испарении указанных металлов. Результаты анализа спектров комбинационного рассеяния показывают, что углеродные покрытия, легированные при помощи магнетрона, характеризуются меньшей шириной G-пика и большим значением соотношения I_D/I_G , а значит более высокой степенью упорядоченности и меньшим размером sp^2 -кластеров, чем в случае электродугового испарения.

Установлено, что в общем случае, независимо от выбора способа допирования, коэффициент трения композиционных углеродных покрытий увеличивается с ростом концентрации легирующего металла. Данное наблюдение согласуется с результатами, представленными в работах [4, 5]. Коэффициент объёмного изнашивания контртела при взаимодействии с покрытиями, легированными титаном при помощи магнетрона, в 4,3 раза меньше, чем в случае покрытий, легированных с использованием электродугового испарения, что достигается путем применения предельно диспергированных потоков ионов и атомов металла, отсутствием капельной фазы. Кроме того, покрытия легированные методом магнетронного распыления, согласно данным рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии, характеризуются более высоким содержанием sp^2 -гибридизированных атомов углерода. В процессе трения формируется так называемый слой переноса [4], состоящий в основном из графита, который выступает в роли твердой смазки. Графит намазывается на поверхность контртела, предохраняя тем самым ее от изнашивания.

Таким образом, легирование углеродных покрытий путем распыления металлов магнетроном, в сравнении с покрытиями, легированными методом электродугового испарения, позволяет уменьшить коэффициент объёмного изнашивания контртела за счет отсутствия капельной фазы в потоке металлической плазмы, уменьшения субшероховатости поверхности, более высокого содержания упорядоченных sp^2 -кластеров.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования Республики Беларусь в рамках задания 4.1.02 ГПНИ «Физическое материаловедение, новые материалы и технологии».

1. Grill A. Tribology of Diamond-Like Carbon and Related Materials: an Updated Review // Surface and Coatings Technology. — 1997 (95), 507—513
2. Donnet C., Erdemir A. Tribology of Diamond-like Carbon Films: Fundamentals and Applications. — Springer Science & Business Media. — 2007
3. Рогачев А.В. Триботехнические свойства композиционных покрытий, осаждаемых вакуумно-плазменными методами // Трение и износ. — 2008 (29), № 3, 285—292
4. Grill A. Review of the tribology of diamond-like carbon // Wear. — 1993 (168), 143—153
5. Zou C.W. Effects of Cr Concentrations on the Microstructure, Hardness, and Temperature-Dependent Tribological Properties of Cr-DLC Coatings // Applied Surface Science. — 2013 (286), 137—141