

УДК 621.795

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МНОГОЭЛЕМЕНТНЫХ ПОКРЫТИЙ¹Платонова Е.С., ²Бучинская В., ³Юров В.М., ³Гученко С.А.¹Карагандинский государственный технический университет, Караганда,
e-mail: danilina1969@list.ru;²Вильнюсский технический университет им. Гедеминаса, Вильнюс,
e-mail: Vytautas.Bucinskas@vgtu.lt;³Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова, Караганда,
e-mail: exciton@list.ru

В работе приведены экспериментальные результаты по структуре и механическим свойствам многоэлементных покрытий. Для нанесения покрытий использовались композиционные катоды, полученные методом индукционного плавления. Использован ионно-плазменный метод нанесения покрытия. Покрытия Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al наносились в газовой среде аргона, а покрытия Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al-Ti наносились в газовой среде азота. В первом случае наблюдается глобулярная структура покрытия, а во втором – ячеистая. Микротвердость ячеистой структуры в 2,5 раза больше, чем глобулярной. Измерениями коэффициентов трения показано, что металлические многоэлементные покрытия имеют меньшие значения коэффициентов трения, чем одноэлементные покрытия. Предложена модель и получены формулы для качественного анализа механических свойств металлических покрытий. Полученные результаты можно использовать для создания пар трения с заданными свойствами.

Ключевые слова: покрытие, структура, трение, микротвердость

MECHANICAL PROPERTIES OF MULTIPLE COATINGS¹Platonova E.S., ²Buchinskas V., ³Yurov V.M., ³Guchenko S.A.¹Karaganda State Technical University, Karaganda, e-mail: danilina1969@list.ru;²Vilnyusky Technical University named after Gediminas, Vilnyus, e-mail: Vytautas.Bucinskas@vgtu.lt;³Karaganda State University named after E.A. Buketov, Karaganda, e-mail: exciton@list.ru

The paper presents experimental results on the structure and mechanical properties of multiple coatings. Used for coating composite cathodes obtained by induction melting. Used ion-plasma coating method. Coatings Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al deposited in an argon atmosphere, and the coating Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al-Ti were deposited in an atmosphere of nitrogen gas. In the first case, a globular structure of the coating, and the second – cellular structure. The microhardness of the cellular structure is 2.5 times more than the globular. Measurements of friction coefficients shown that multi-element metal coatings have lower coefficients of friction than singletons coatings. A model is proposed and formulas for qualitative analysis of the mechanical properties of metallic coatings. The results can be used to create friction pairs with the desired properties.

Keywords: coating, structure, friction, microhardness

В последнее время возрос интерес исследователей к синтезу высокоэнтропийных многоэлементных однофазных покрытий вакуумными методами [3]. Это связано с тем, что такие составы практически невозможно получить обычными методами металлургии. В тоже время, варьируя состав распыляемых катодов или мишеней, можно изменять свойства покрытий в зависимости от их функционального назначения в широких пределах, вплоть до получения сверхтвердых нанокристаллических покрытий.

В настоящей работе исследованы механические свойства многоэлементных покрытий и проведен теоретический анализ полученных результатов.

Материалы и методы исследования

Для нанесения покрытий на сталь 12X18H10T ионно-плазменным методом на установке ННВ-

6.6И1 использовались композиционные катоды, полученные методом индукционного плавления. Количественный анализ элементного состава композиционных катодов и покрытий проводился на электронном микроскопе JEOL JSM-5910. Для исследования структуры покрытий в наномасштабе нами использовался атомно-силовой микроскоп (АСМ) NT-206. Измерение микротвердости проводилось с помощью микротвердомера HVS-1000А. Коэффициенты трения определялись на установке, описанной в работе [1].

Исследовались покрытия, полученные распылением катода Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al в среде аргона и покрытия, полученные одновременным распылением катода Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al и титанового катода марки ВТ-1-00 по ГОСТ 1908.

Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 1 и 2 показана структура полученных покрытий. В первом случае наблюдается глобулярная структура, а во втором – ячеистая.

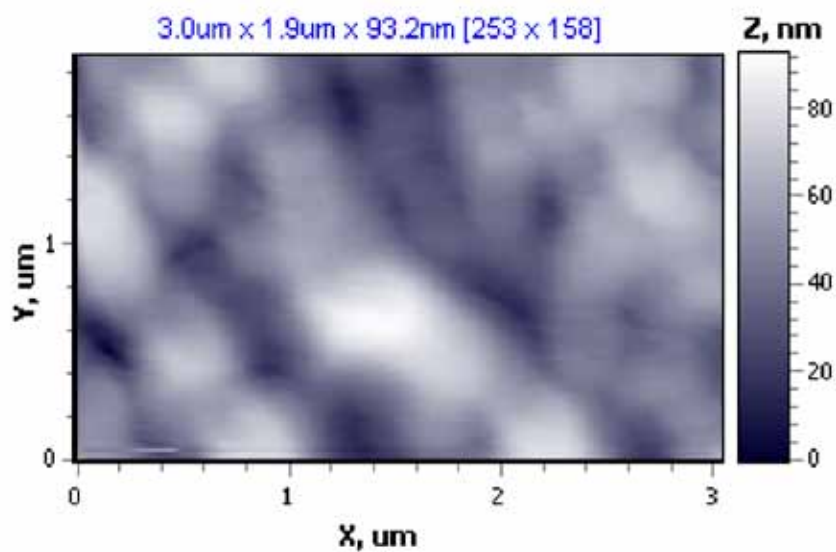


Рис. 1. ACM-изображение покрытия Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al в среде аргона

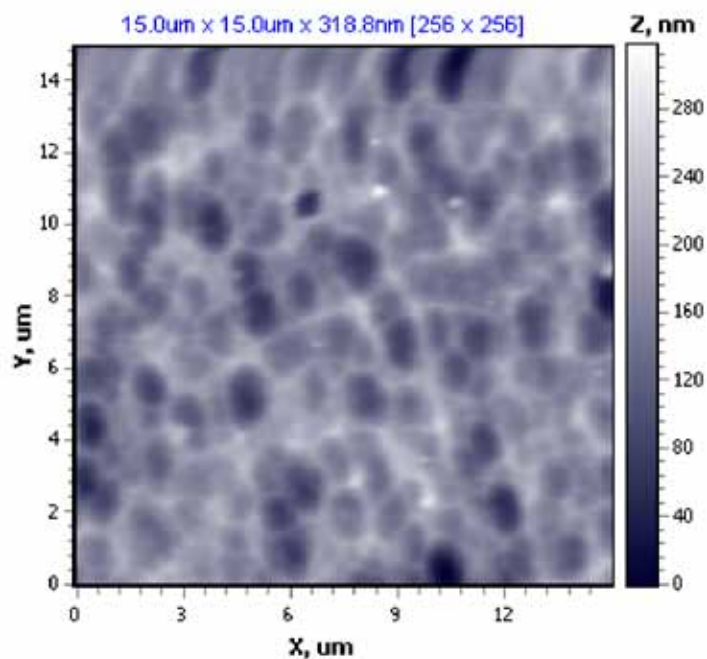


Рис. 2. ACM-изображение покрытия Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al-Ti в среде азота

Микротвердость по Виккерсу для покрытия Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al в среде аргона составляет 133,8 HV, а для покрытия Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al-Ti

в среде азота – 328,0 HV, т.е. возрастает почти в 2,5 раза. В табл. 1 приведены коэффициенты трения исследованных покрытий.

Таблица 1

Коэффициенты трения многоэлементных покрытий

Покрытие	Коэффициент трения		
	Пластина с покрытием	Алюминиевая пластина	Медная пластина
Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al (нанесенное в среде аргона)	0,403	0,302	0,269
Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al-Ti (нанесенное в среде азота)	0,431	0,344	0,243

Здесь наблюдается следующая картина: для одноименных пар покрытий коэффициент трения больше, чем для разноименных, а для покрытия Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al-Ti, нанесенного в среде азота он больше, чем для покрытия Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al, нанесенного в среде аргона.

Наблюдаемая глобулярная структура покрытия Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al, нанесенного в среде аргона, описывается моделью, предложенную впервые в работе [6]. Образование ячеистой структуры покрытия Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al-Ti, нанесенного в среде азота оказывается вопросом не столь тривиальным. Образование такой структуры рассмотрено нами в работе [4] и в принципе укладываются во все рассмотренные там модели: концентрационного переохлаждения, связанного с наличием радиального градиента концентрации примеси нитридов титана и хрома; ячеек Бенара, возникновение которых обусловлено наличием вертикального градиента температуры; ячеистой дислокационной структуры, связанной с наличием пластических деформаций в покрытии. Окончательный выбор модели и, соответственно, управляющего параметра пока

еще не сделан. Резкое возрастание микротвердости покрытия Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al-Ti, нанесенного в среде азота, связано с образованием нитридных фаз. В основном, это нитриды титана и хрома.

Чтобы проанализировать полученные результаты по трибологическим свойствам полученных покрытий, рассмотрим коэффициенты трения одноименных и разноименных пар металлов (табл. 2 и 3) из работы [2].

Из табл. 2 и 3 видно, что коэффициенты трения разноименных пар ниже, чем для одноименных. Табл. 1 показывает аналогичный результат. Воспользуемся результатом, полученным нами в работе [5]. Для коэффициента трения получено следующее выражение:

$$k_{mp} = CT \frac{A}{\mu} \bar{N}, \quad (1)$$

где A – работа (энергия) разрушения при трении (по Боудену), T – температура, μ – химический потенциал металла, \bar{N} – среднее число элементарных носителей разрушения (пропорциональное числу контактов или шероховатости), C – постоянная.

Таблица 2

Коэффициенты трения для одноименных пар материалов [2]

Комбинации материалов		Коэффициент трения
Алюминий	Алюминий	1.05 – 1.35
Медь	Медь	1.0
Сталь	Сталь	0.8
Хром	Хром	0.41
Никель	Никель	0.7–1.1

Таблица 3

Коэффициенты трения для разноименных пар материалов [2]

Комбинации материалов		Коэффициент трения
Алюминий	Низкоуглеродистая сталь	0.61
Латунь	Сталь	0.35
Медь	Низкоуглеродистая сталь	0.53
Никель	Низкоуглеродистая сталь	0.64

Для разноименных пар металлов нами получено [5]:

$$k_{mp} = CT \frac{A}{V_k} \bar{N}, \quad (2)$$

где V_k – контактная разность потенциалов, пропорциональная разности химических потенциалов контактирующих металлов

Формулы (1) и (2) качественно объясняют полученные нами результаты (табл. 1). Если покрытие будет тверже, то и работа по его разрушению при трении будет больше. Коэффициент трения будет возрастать. Поскольку V_k всегда меньше суммы химических потенциалов компонент покрытия, то коэффициенты трения разноименных пар металлических покрытий всегда будут меньше, чем одноименных.

Увеличение химического потенциала металлического покрытия приводит к уменьшению коэффициента трения (формула (1)), поэтому многоэлементные покрытия будут иметь меньшие коэффициенты трения, чем простые (одноэлементные) покрытия (сравните табл. 1 и 2, 3).

Заключение

Полученные в настоящей работе формулы, позволяют целенаправленно синтезировать покрытия с заданными триболо-

гическими свойствами. Основная проблема состоит в генерации многоэлементных плазменных потоков. В большинстве случаев эта проблема не вызывает принципиальных затруднений.

Работа выполнена по программе МОН РК 055 «Научная и/или научно-техническая деятельность», подпрограмма 101 «Грантовое финансирование научных исследований».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колесников В.А., Байсагов Я.Ж., Юров В.М. Информационно-измерительный прибор для определения коэффициента трения скольжения // *Фундаментальные исследования*. – 2011. – №12. – Часть 1. – С. 121-124.
2. Крагельский И.В., Виноградова И.Э. Коэффициенты трения. – М.: Машгиз, 1962. – 220 с.
3. Соболев О.В., Андреев А.А., Горбань В.Ф. и др. О воспроизводимости однофазного структурного состояния многоэлементной высокоэнтропийной системы Ti-V-Zr-Nb-Nf и высокотвердых нитридов на ее основе при их формировании вакуумно-дуговым методом // *Письма в ЖТФ*, 2012, том. 38, вып. 13. – С. 40-47.
4. Юров В.М., Лауринас В.Ч., Гученко С.А., Завацкая О.Н. Образование ячеистой наноструктуры при формировании многофазных покрытий // *Наноматериалы и нанотехнологии*. – 2012. – № 2. – С.17-24.
5. Юров В.М., Гученко С.А. Некоторые вопросы физики сухого трения // *Вестник КарГУ. Физика*. – 2011. – № 1 (61). – С. 44-51.
6. Barna P.B., Adamik M. Formation and Characterization of the structure of surface coating // *In Protective Coatings and Thin Films*. Edited Pfeleau Y., Barna P.B. – 1977. Kluwer Academic, Dordrecht, The Netherlands. – P. 279 – 297.