Предложенные покрытия в 3 и более раз обладают антифрикционными свойствами и могут быть использованы в парах трибосопряжения.

Заключение

Результаты настоящего исследования позволяют сделать вывод, что одновременное нанесение осаждаемых катодов различных металлов (особенно композиционных) в принципе позволяет получать высокоэнтروпийные покрытия. Здесь нужно учесть два момента: во-первых, нужно увеличить число распыляемых катодов; во-вторых, нужно учесть значения коэффициента эрозии для используемых катодов, чтобы распыляемые потоки были эквивалентно пропорциональными.

Благодарность

Работа выполнена по программе Министерства образования и науки Республики Казахстан. Гранты №0118PK000063 и №Ф.0781.

1. Yeh J.W., Chen Y.L., Lin S.J. High-entropy alloys – a new era of exploitation // Materials Science Forum. 2007. Vol. 560. – P. 1-9.
2. Юров В.М., Гученко С.А., Ибраев Н.Х. Определение коэффициента трения скольжения. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2010. №8. – С. 148-152.
3. Крагельский И.В., Виноградова И.Э. Коэффициенты трения. - М.: Машгиз, 1962. – 220 с.

Юров В.М., Сыздыкова А.Ш., Гученко С.А.

Автоволновые процессы в покрытии высокоэнтропийного типа

*Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова
(Казахстан, Караганда)*

doi: 10.18411/lj-09-2019-145

idsp: ljjournal-09-2019-145

Аннотация

Осаждение покрытий в плазме представляет собой термодинамически неравновесный процесс в открытой системе. Нелинейность уравнений возникает из-за движения границы раздела фаз и малой диффузии поверхностных атомов. В этом случае возникает автоволновой процесс.

Из результатов эксперимента видно, что длина волны составляет порядка 10^{-4} м, т.е. скорость массопереноса составляет $\sim 10^{-4}$ м/с. Поскольку скорость массопереноса $V \approx \sqrt{D/t}$, то для коэффициента диффузии получаем оценку $D \sim 10^{-8}$ м²/с. Это отвечает режиму малой диффузии.

Полученные в работе экспериментальные результаты укладываются в модель макроскопической локализации пластического течения. В этой модели показано, что локализация пластического течения в металлах и сплавах имеет ярко выраженный волновой характер.

Ключевые слова: высокоэнтропийные покрытия, автоволновой процесс, длина волны, массоперенос, коэффициент диффузии.

Abstract

The deposition of coatings in a plasma is a thermodynamically nonequilibrium process in an open system. The nonlinearity of the equations arises due to the motion of the phase boundary and the small diffusion of surface atoms. In this case, an autowave process occurs.

It can be seen from the experimental results that the wavelength is about 10^{-4} m, i.e. mass transfer rate is $\sim 10^{-4}$ m/s. Since the mass transfer rate $V \approx \sqrt{D/t}$, for the diffusion coefficient we obtain the estimate $D \sim 10^{-8}$ m²/s. This corresponds to the mode of low diffusion.

The experimental results obtained in the work fit into the model of macroscopic localization of plastic flow. This model shows that the localization of plastic flow in metals and alloys has a pronounced wave character.

Key words: high-entropy coatings, autowave process, wavelength, mass transfer, diffusion coefficient.

Введение

Сами термины «автоволновой процесс», «автоволна» (АВ) были предложены Р.В. Хохловым, хотя теория автоволн была начата математиками - работы Р. Фишера (1937), А.Н. Колмогорова, Г.И. Петровского и И.С. Пискунова (1937), Н. Винера и А. Розенблюта (1946), А. Тьюринга (1952) - задолго до их экспериментального открытия [1]. В последующем теория АВП стала неотъемлемой частью теории самоорганизации или синергетики [2–5].

Осаждение покрытий в плазме представляет собой термодинамически неравновесный процесс в открытой системе. Нелинейность уравнений возникает из-за движения границы раздела фаз и малой диффузии поверхностных атомов. В этом случае возникает автоволновой процесс.

Но как его увидеть? Мы экспериментально засекли этот процесс и доложим его в этой статье.

Объекты и методика эксперимента

В качестве объектов были выбраны катоды 12Х15Г9НД, Cu, Al, которые одновременно осаждались в газовой среде аргона и азота ионно-плазменным методом на установке ННВ-6.6 И1. Микротвердость покрытия измерялась на приборе HVS-1000А с выводом данных на компьютер через 0,1 миллиметр. Общая площадь образца была 20 x 20 мм. Измерения проводились вдоль и поперек. Для нанесения покрытий в качестве подложек использовали полированные диски из стали 45 диаметром 20 мм (рис. 1.2 а), одновременно размещаемые на подложкодержателе с целью осаждения покрытия на разные подложки в идентичных условиях.

а)

б)

Рисунок 1 - Полированные диски из стали 45 (а) и ванна ультразвуковой очистки (б)

Полированные диски готовились следующим образом:

1. Шлифовка и полировка образца на шлифовально-полировальном станке MetaServ 250.
2. Шлифовка SiC абразивной бумагой CarbiMet P180 с подачей холодной воды.

3. Полировка кругом (ткань с жестким плетением, без ворса) и алмазной пастой с частицами: 1) диаметра 9 мкм, 2) частицами 3 мкм.
4. Полировка кругом (мягкая пористая химически стойкая ткань, без ворса) с использованием полированной суспензии на основе Al_2O_3 (частицы диаметром 0,05 мкм).

В результате была получена зеркальная поверхность, параметры шероховатости исследованы на атомно-силовом микроскопе NT-206 и, в качестве примера, показана в табл. 1. Средняя шероховатость составила 13 нм.

Перед осаждением подложки очищали в ультразвуковой ванне в растворе ацетона с этиловым спиртом (рис. 1 б)

Таблица 1

Параметры шероховатости и статистические характеристики подложек

Подложка	Шероховатость R_a , нм	Дисперсия R_q	Ассиметрия R_{sk}	Экссесс R_{ku}
Ст. 45-1	13,34	18,23	0,17	7,35
Ст. 45-2	13,00	16,6	0,14	6,46
Ст. 45-3	13,89	21,42	0,15	8,97

Результаты эксперимента и их обсуждение

Небольшая часть (из 50 штук) результатов показана на рис. 2.

Рисунок 2 – Автоволны в ионно-плазменном покрытии

Наблюдается квазипериодическая структура, т.е. волновой процесс.

Из рис. 2 видно, что длина волны составляет порядка 10^{-4} м, т.е. скорость массопереноса составляет $\sim 10^{-4}$ м/с. Поскольку скорость массопереноса $V \approx \sqrt{D/t}$, то для коэффициента диффузии получаем оценку $D \sim 10^{-8}$ м²/с. Это отвечает режиму малой диффузии.

Полученные нами выше экспериментальные результаты укладываются в модель макроскопической локализации пластического течения, развитой в работе [6]. В этой

работе показано, что локализация пластического течения в металлах и сплавах имеет ярко выраженный волновой характер. При этом на стадиях легкого скольжения, линейного и параболического деформационного упрочнения, а также на стадии предварительного разрушения наблюдаемые картины локализации суть разные типы волновых процессов. Анализ волновых характеристик таких процессов позволил измерить скорость их распространения ($\sim 10^{-4}$ м/с), длину волны ($\sim 10^{-2}$ м) и установить, что дисперсионное соотношение для таких волн имеет квадратичный характер.

Большой класс (автоволн) АВ-сред условно можно описать с помощью следующей схемы. В открытую распределенную систему извне поступает энергия или вещество, богатое энергией. Эти потоки управляются локальными свойствами регулирующей поверхности или, точнее, пограничного слоя малой толщины.

Во втором классе АВ-сред поверхностные эффекты не столь выражены. Локальная положительная обратная связь обеспечивает наличие N-образной характеристики среды с падающим участком «отрицательного» сопротивления в любом элементарном объеме. К таким средам и пространственно-временным структурам в них относятся автоколебательные реакции Белоусова-Жаботинского, домены в плазме полупроводников и ряд других [2].

К третьему классу можно отнести сложные многофазные среды, в которых неравновесность и АВП поддерживаются за счет энергии лазерного излучения, энергии ионной плазмы, как в наших экспериментах, термохимических реакций и других источников. Подобные явления определяются не только диффузией и теплопередачей, но и гидродинамическими потоками, в частности конвекцией, испарением, кипением, поверхностным натяжением.

Заключение

Полученные экспериментальные данные согласуются с данными, полученными по известным моделям самоорганизации при образовании нанокристаллических покрытий: концентрационного переохлаждения, связанного с градиентом концентрации примеси; ячеек Бенара, связанных с градиентом температур; ячеистой дислокационной структуры, связанной с наличием пластических деформаций в покрытии.

Благодарность

Работа выполнена по программе Министерства образования и науки Республики Казахстан. Гранты №0118PK000063 и №Ф.0781.

1. Yeh J.W., Chen Y.L., Lin S.J. High-entropy alloys – a new era of exploitation // Materials Science Forum. 2007. Vol. 560. – P. 1-9.
2. Васильев В.А., Романовский Ю.М., Яхно В.Г. Автоволновые процессы. - М.: Наука, 1987. - 240 с.
3. Хакен Г. Информация и самоорганизация: Макроскопический подход к сложным системам. - М.: Мир, 1991. - 240 с.
4. Заславский Г.М. Физика хаоса в гамильтоновых системах. - Москва-Ижевск: Ин-т компьютерных исследований, 2004. - 288 с
5. Анищенко В.С., Вадивасова Т.Е., Шиманский-Гайер Л. (), Динамическое и статистическое описание колебательных систем. - Москва-Ижевск: Ин-т компьютерных исследований, 2005. - 156 с.
6. Зуев Л.Б. Данилов В.И., Баранникова С.А. Физика макролокализации пластического течения. - Новосибирск: Наука, 2008. – 328 с.