

ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ ПОКРЫТИЙ С СУБМИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРОЙ

Э. З. АХМЕТОВА¹, С. Р. ШЕХТМАН²

¹elvira-ahmetova@yandex.ru, ²shex@inbox.ru

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Аннотация. Рассматривается исследование эксплуатационных свойств многослойных покрытий, полученных при различных режимах и технологиях.

Ключевые слова: многослойные покрытия; ионно-плазменное нанесение покрытий; адгезия; индентор; нанослои; микротвердость.

Детали современного машиностроения работают в жестких температурно-силовых условиях воздействия внешней среды: трения, коррозии, динамических и ударных нагрузок. К ним предъявляются жесткие требования по надежности и ресурсу.

Наибольшее влияние от химических и механических воздействий получает поверхность детали, что приводит к необходимой модификации характеристик и свойств поверхности. Для увеличения сопротивления поверхностного слоя деталей основным разновидностям разрушений и повреждений применяют формирование на поверхности защитного слоя с использованием вакуумных ионно-плазменных технологий (ВИПТ). Ионно-плазменное нанесение многослойных покрытий является самым эффективным методом защиты поверхности от агрессивного воздействия. Достоинством данного метода является возможность создания высокого уровня физико-механических свойств материалов в тонких поверхностных слоях, нанесение плотных покрытий из тугоплавких химических соединений, повышая эксплуатационные характеристики изделий, которые невозможно получить традиционными методами.

Осаждение многослойных покрытий используется как один из самых перспективных методов защиты поверхностного слоя [1, 2]. Ионно-плазменные покрытия с субмикроструктурной структурой (СМК),

в процессе осаждения покрытия происходит ионная бомбардировка подложки, что приводит к активации поверхности и защищает от различных видов износа.

Процесс ионного осаждения выполняется по технологическому процессу в несколько этапов:

1. Подготовка поверхности детали под осаждение.
2. Предварительная очистка.
3. Нагрев поверхности.
4. Формирование многослойного износостойкого покрытия.
5. Охлаждение вакуумной камеры.

Способ, осуществляющий вакуумное ионно-плазменное осаждение покрытий с использованием электродуговых испарителей (ЭДИ) и плазменных ускорителей (в данной работе рассматривается плазменный источник с накальным катодом) для нейтральности потоков плазмы, широко используется в области многослойных износостойких покрытий из разных видов материалов [3]. Использование данного способа позволяет получать нано- и микрослои, из различных материалов можно достигать осаждение слоев разной толщины.

Полученные нанослои позволяют деталям с вакуумными ионно-плазменными покрытиями получать новые свойства. Так называемые эффекты показываются в изменении структуры, температуры механических свойств и процессов диффузии [4].

Создание многослойных износостойких покрытий проделывали последовательным осаждением слоев углерода и титана из плазмы, порождаемой электродуговыми источниками, находящими под определенным углом к поверхности подложки, на модернизированной установке ННВ 6.6-И1. Один из реагентов применяли углерод из твердой фазы (технически чистый графит). Испарители располагались на боковой поверхности цилиндрической камеры под углом 130° друг к другу. Испаряемым материалом были технически чистый графит и технически чистый титан марки ВТ1-00. Во время осаждения покрытий, приспособление с зафиксированными на нем обрабатываемыми деталями вращалось вокруг своей оси и одновременно вокруг оси стола. Толщина покрытий представляла 6...8 мкм, число слоев менялось от 20 до 620.

Покрытия, получаемые по данной технологии, квалифицируются высокой адгезией к материалу подложки. Исследование адгезии методом вдавливания алмазной пирамиды выявило отсутствие растрескивания материала покрытия рядом с зоной воздействия. Испытание объясняет основное достоинство метода ионного осаждения – отличную адгезию покрытий к подложке.

На приборе ПМТ-3 измеряли микротвердость образцов (табл. 1). В качестве индентора применяли алмазную пирамиду с углом между гранями 132° . Нагрузка на алмазную пирамиду составляла от 1 до 10 гс. Для приобретения результатов в разные этапы измерений время нагружения 20 с и время выдержки под нагрузкой 20 с не изменяли. Погрешность измерения твердости достигает 15–20 %.

Таблица 1

Микротвердость образцов		
Материал	Состояние	Микротвердость, ГПа
13X11H2B МФ-Ш	Исходное	16,5
	с многослойным покрытием Ti-(C-Si)-Ti	18,0
	с покрытием с СМК-структурой	25,9

Рассмотрение характера изменения значений микротвердости выявило, что по

сравнению с трехслойным покрытием микротвердость покрытия с субмикроструктурой больше на 25...50 %.

Фазовый состав и структуру покрытий системы Ti - C - Si проверяли способом рентгеноструктурного анализа на измерительном приборе дифрактометре ДРОН 4.0 в Fe K_α - излучения. Штрихрентгенограммы синтезированных многослойных покрытий системы Ti - C - Si, состоящих из 120 и 620 слоев и отожженных при температурах 470° и 770° C, показаны на рис. 1 а, б, где J/J_0 – относительная интенсивность рефлексов.

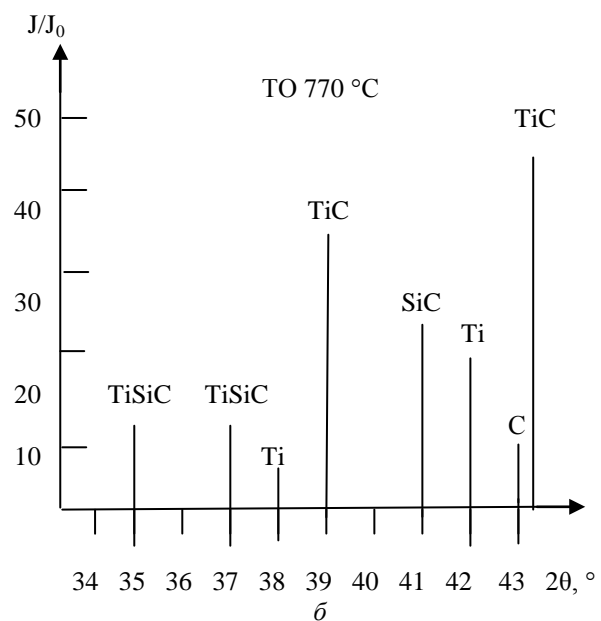
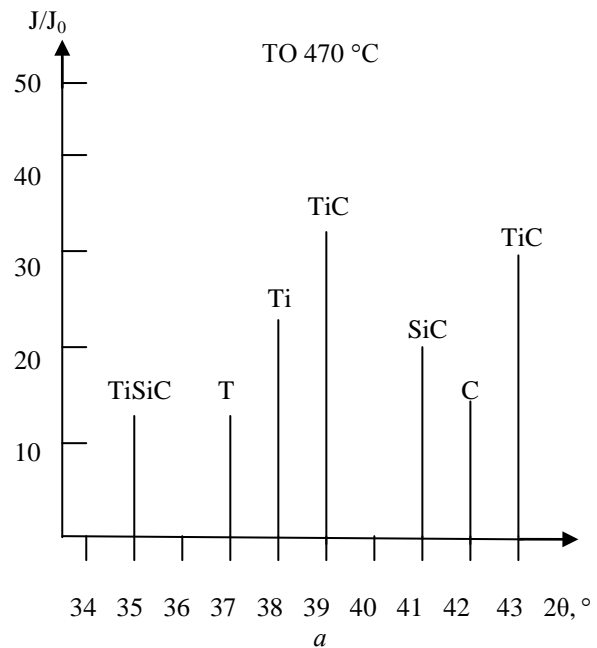


Рис. 1. Штрихрентгенограммы синтезированных многослойных покрытий системы Ti - C - Si: а – 120 слоев с ТО 470° C; б – 620 слоев с ТО 770° C

Полученные относительные интенсивности фаз многослойного покрытия системы Ti - C - Si с числами слоев 120 и 620 в зависимости от температуры отжига отображены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры нанесения и архитектура покрытий

Тем-ра, °C	Число слоев	Относительная интенсивность фаз				
		Ti	TiC	SiC	C	TiSiC
470	120	0,82	1,35	0,73	0,69	3,59
	620	0,66	1,35	0,82	0,77	4,31
770	120	0,62	1,85	0,59	0,52	5,02
	620	0,52	1,85	0,62	0,52	5,73

Сопоставление штрихрентгенограмм, отображенных на рис. 1 говорит о том, что при переходе к покрытию, состоящему из 620 слоев, представлено увеличение интенсивности линий, которые соответствуют Ti, и уменьшение интенсивности линий, соответствующих C и SiC.

Анализ литературных источников результатов экспериментов показал, что вакуумные ионно-плазменные покрытия на основе карбидов металлов способны сохранять функциональное назначение до определенных, критических температур и свои эксплуатационные характеристики.

Для исследования влияния температуры на многослойное покрытие рассматривали три фактора: значение температуры, длительность воздействия и скорость изменения.

Образцы с покрытиями помещали в печь, нагревали до температуры 630 °C, и после этого выдерживали определенное время (4, 8, 16 ч) и проверяли микротвердость. На рис. 2 показано изменение микротвердости покрытий в зависимости от времени нагрева.

Покрытие с субмикроструктурной структурой отличается высокой термостойкостью по сравнению с многослойными покрытиями [5]. Микротвердость покрытия с субмикроструктурной структурой после выдержки при температуре 630 °C в течение 16 ч уменьшается на 15 %, а микротвердость многослойного покрытия уменьшается на 30...35 %. Кроме того, улучшение коррозионных свойств можно объяснить увеличением плотности покрытия, реструк-

туризацией покрытий и уменьшением остаточных напряжений в покрытии.

Максимального значения микротвердости поверхности получает образец с покрытием с субмикроструктурной структурой после отжига при температуре 230 °C, что показывается окончанием формирования карбидов и карбосилицидов титана в процессе термической обработки.

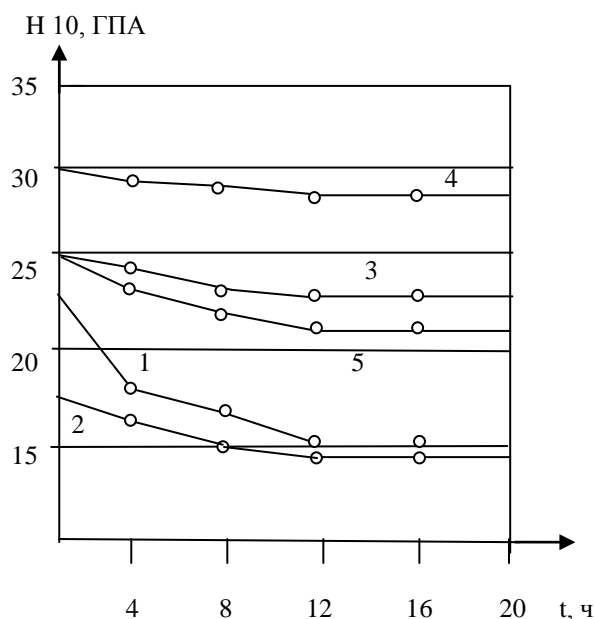


Рис. 2. Зависимость микротвердости от времени нагрева при температуре 630 °C.

Подложка ЭП718ИД: 1 – трехслойное покрытие; 2 – трехслойное покрытие с ТО 230 °C; 3 – покрытие с СМК-структурой; 4 – покрытие с СМК-структурой с ТО 230 °C; 5 – покрытие с СМК-структурой с ТО 630 °C

ВЫВОДЫ

1. При осаждении Ti, повторяющегося с C, в условиях интенсивной ионной бомбардировки ионами Ag формируются переходные слои, состоящие из твердого раствора TiSiC и TiC.

2. В многослойных покрытиях системы Ti - C - Si, исследуемых вакуумным ионно-плазменным осаждением, возможно изменение содержания углерода в большом диапазоне в зависимости от технологического режима.

3. С возрастанием содержания углерода увеличивается микротвердость покрытия. Таким образом, при изменении числа слоев можно в определенной степени управлять процессами и методами перераспределения химических элементов.

4. Получаемые покрытия с субмикрорекристаллической структурой сочетают в себе свойства слоистых систем и специфические характеристики нанобъектов благодаря большому числу слоев и их толщине в нанометровом размере.

5. При уменьшении толщины слоев до нанометровых значений у осажденного многослойного покрытия с субмикрорекристаллической структурой наблюдается переназначение вкладов в прочностные свойства материалов поверхности и объема, что указывает на соединение в основе высокопрочных бездефектных слоев и дефектов в виде границ раздела между слоями.

6. По сравнению с многослойным покрытием микротвердость покрытия с субмикрорекристаллической структурой больше на 25...50 %, термическая стабильность выше на 35 %, что связано с возрастанием содержания карбида и карбосилицида титана в покрытии с субмикрорекристаллической структурой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ширяев С. А.** Получение композиционных покрытий на основе металл-углерод с нанокристаллической структурой. Журнал технической физики, 2003. С. 99-104. [S.A. Shiryaev, «Production of composite coatings based on metal-carbon with nanocrystalline structure». Journal of technical physics, 2003. P. 99-104.]
2. **Головин Ю. И.** Введение в нанотехнологию. М.: Машиностроение-1, 2003. 112 с. [Y.I. Golovin, «Introduction to nanotechnology». M.: Mechanical Engineering-1, 2003. 112 PP.]
3. **Андреевский Р. А., Рагуля А. В.** Наноструктурные материалы. М.: Изд. центр «Академия», 2005. 192 с. [R. A. Andrievsky, A. V. Ragulya, «Nanostructured materials». M.: Izd.center "Academy", 2005. 192 p.]
4. **Будилов В. В., Киреев Р. М., Шехтман С. Р.** Технология вакуумной ионно-плазменной обработки. М., МАИ, 2007. 155 с. [V.V. Budilov, R.M. Kireev, S.R. Shekhtman, «Technology of vacuum ion-plasma treatment». M., MAI, 2007. 155 PP.]
5. **Будилов В. В., Мухин В. С., Шехтман С. Р.** Нанотехнологии обработки поверхности деталей на основе вакуумных ионно-плазменных методов: физические основы и технические решения. М.: Наука, 2008. 94 с. [V. V. Budilov, V. S. Mukhin, S. R. Shekhtman, «Nanotechnologies of surface treatment of parts on the basis of vacuum ion-plasma methods: physical basis and technical solutions». M: Science, 2008. 94 PP.]

ОБ АВТОРАХ

АХМЕТОВА Эльвира Зинфировна, аспирант каф. ТМ.

ШЕХТМАН Семен Романович, д-р техн. наук, доцент каф. ТМ.

METADATA

Title: The study of multilayer coatings with submicrocrystalline structure

Authors: E. Z. Ahmetova¹, S. R. Shekhtman²

Affiliation:

Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

Email: ¹elvira-ahmetova@yandex.ru, ²shex@inbox.ru

Language: Russian.

Source: Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), no. 2 (21), pp. 15-18, 2019. ISSN 2225-9309 (Print).

Abstract: The study of the operational properties of multilayer coatings obtained under different conditions and technologies is considered.

Key words: multilayer coatings, ion-plasma coating, adhesion, indenter, nanolayers, microhardness.

About authors:

АХМЕТОВА, Elvira Zinfirovna., postgraduate student 1 year, Ufa state aviation technical University

ШЕХТМАН, Semyon Romanovich., doctor of technical Sciences, Associate Professor in the Department of mechanical engineering technology, Ufa state aviation technical University