

Н.Н.Коваль, Ю.Ф.Иванов, О.В.Крысина, В.В.Шугуров, И.В.Лопатин

Төмен қысымды доғалық разрядта титан нитриді негізінде жасалған көпкомпонентті нанокристалдық бүркемелерді синтездеу

Мақалада иондық-плазмалық қондырғылардың ерекшеліктері мен вакуумдық-доғалық разрядта материалдарды өңдеудің ерекшеліктері қарастырылған. Бүркемелерді қондыруға арналған модификацияландырылған иондық-плазмалық қондырғылардың ерекшеліктері мен басым жақтары сипатталған. Доғалық плазмада генерацияланған газдық және газметалдық плазманың параметрлері келтірілген. Металдық материалдардың бетінің қасиеттерінің өңделуші газразрядты плазманың параметрлерімен байланысы анықталған. Титан нитриді негізінде жасалған көпкомпонентті нанокристалдық бүркемелерді алудың вакуумдық-доғалық плазмалық әдістері сипатталған. Қосымша элементтердің титан нитриді негізінде жасалған бүркемелердің қасиеттері мен құрылымдық-фазалық күйіне әсері көрсетілген.

Н.Н.Коваль, Ю.Ф.Иванов, О.В.Крысина, В.В.Шугуров, И.В.Лопатин

Синтез многокомпонентных нанокристаллических покрытий на основе нитрида титана в дуговых разрядах низкого давления

В статье рассмотрены особенности ионно-плазменного оборудования и обработки материалов в вакуумных дуговых разрядах. Описаны преимущества и особенности модифицированной ионно-плазменной установки для осаждения покрытий. Представлены результаты измерения параметров генерируемой газовой и газометаллической дуговой плазмы. Выявлены зависимости свойств поверхности металлических материалов от параметров обрабатываемой газоразрядной плазмы. Описан метод вакуумно-дугового плазменно-ассистированного осаждения многокомпонентных нанокристаллических покрытий на основе нитрида титана. Продемонстрировано влияние дополнительного элемента на структурно-фазовое состояние и характеристики нитридтитановых покрытий.

УДК 538.95.405

В.Ч.Лауринас, О.Н.Завацкая, С.А.Гученко

Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова (E-mail: exciton@list.ru)

Структурно-фазовый состав и свойства композиционных покрытий

Приведены результаты экспериментального исследования фазового состава и структурных параметров композиционных покрытий, полученных в среде азота. Результаты получены на дифрактометре XRD-6000 на $\text{CuK}\alpha$ -излучении. С помощью системы наноиндентирования по методу Оливера и Фара с использованием индентера Берковича определена нанотвердость композиционных покрытий и их модуль текучести. На установке Quanta 200 3D проведен элементный анализ по толщине покрытия. Анализ полученных экспериментальных результатов позволил выявить влияние газовой атмосферы на структурные и физико-механические свойства композиционных покрытий.

Ключевые слова: плазма, покрытие, нанотвердость, толщина, структура, фазовый состав.

Введение

Одним из способов улучшения свойств поверхности материалов является нанесение композиционных покрытий методом вакуумного ионно-плазменного осаждения [1, 2]. Характерной чертой этих методов является прямое преобразование электрической энергии в энергию технологического воздействия, основанное на структурно-фазовых превращениях в осажденном на поверхности конденсате или в самом поверхностном слое детали, помещенной в вакуумную камеру.

Основным достоинством данных методов является возможность создания весьма высокого уровня физико-механических свойств материалов в тонких поверхностных слоях, нанесения плотных покрытий из тугоплавких химических соединений, а также алмазоподобных, которые невозможно получить традиционными методами.

Получение нанокompозитов с помощью ионно-плазменных методов требует осаждения на подложку многокомпонентных потоков. В большинстве случаев синтез покрытий сложного элементного состава реализуется путем послойного или одновременного осаждения на подложку в атмосфере реакционных газов потоков от двух источников: ионных [3], магнетронных [4], вакуумно-дуговых [5] и их комбинаций [6].

В настоящей работе мы обсуждаем результаты исследования структурно-фазового состава композиционных покрытий, полученных распылением различных катодов. Многие аспекты технологии нанесения подобных покрытий и их свойства обсуждались в работах [7–14].

Объекты и методика эксперимента

Для нанесения покрытий использовались титановые катоды марки ВТ-1-00 по ГОСТу 1908, катоды из стали марки 12Х18Н10Т и композиционный катод Cr – Mn – Si – Cu – Fe – Al. С помощью этих катодов наносились покрытия на установке ННВ — 6.6.И1 на стальную подложку в газовой среде аргона и азота в течение 40 мин при токе дуги $I_u = 80$ А, опорном напряжении $U_{on} = 200$ В и давлении газа в камере $P = 5 \times 10^{-3}$ мм рт. ст.

Большая часть экспериментальных данных, обсуждаемых в настоящей работе, получена в Материаловедческом центре коллективного пользования при Томском государственном университете (Россия). Толщина покрытий и их элементный состав измерялись с помощью электронного микроскопа Quanta 200 3D, который представляет собой систему с электронным и сфокусированным ионным пучками. Исследование фазового состава и структурных параметров образцов проводилось на дифрактометре XRD-6000 на CuK_{α} -излучении. Анализ фазового состава, размеров областей когерентного рассеяния, внутренних упругих напряжений ($\Delta d/d$) проведен с использованием баз данных PCPDFWIN и PDF4+, а также программы полнопрофильного анализа POWDER CELL 2.4. Для образцов была определена нанотвердость покрытий с помощью системы нанoidентирования по методу Оливера и Фара с использованием индентера Берковича при нагрузке 1 г и времени выдержки 15 с.

Результаты эксперимента

На подложку из нержавеющей стали было нанесено покрытие Cr – Mn – Si – Cu – Fe – Al в газовой среде азота в течение 40 мин. На рисунке 1 показано электронно-микроскопическое изображение этого покрытия. Для измерения толщины покрытия Cr – Mn – Si – Cu – Fe – Al на его поверхности была вырезана площадка с сфокусированным ионным пучком. Толщина слоя составляет 1 мкм. На рисунке 2 показана толщина покрытия Cr – Mn – Si – Cu – Fe – Al модельного образца № 1.

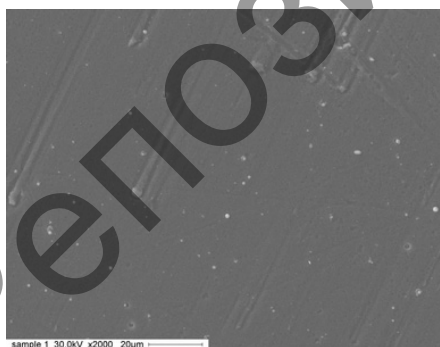


Рисунок 1. Электронно-микроскопическое покрытие Cr – Mn – Si – Cu – Fe – Al

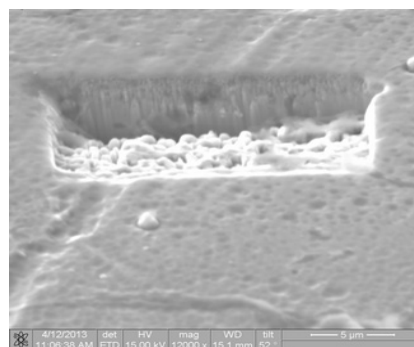


Рисунок 2. Толщина покрытия Cr – Mn – Si – Cu – Fe – Al

Для исследования элементного состава были сделаны три пробы на разных участках выбранной площадки покрытия Cr – Mn – Si – Cu – Fe – Al. На рисунке 3 показан элементный состав покрытия в одной точке выбранной площадки. В таблице 1 приведены процентные соотношения химических элементов покрытия, а в таблице 2 — погрешности измерения.

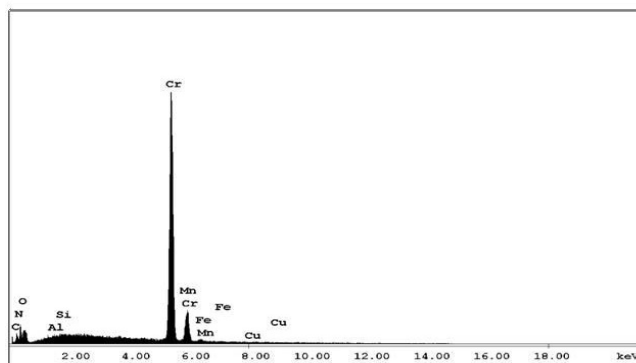


Рисунок 3. РФЭС покрытия Cr – Mn – Si – Cu – Fe – Al

Таблица 1

Элементный состав покрытия Cr – Mn – Si – Cu – Fe – Al

Element	Wt %	At %	K- Ratio	Z	A	F
N	2,89	8,88	0,0151	1,1767	0,4433	1,0024
O	5,72	15,38	0,0387	1,1656	0,5765	1,0057
Al	0,17	0,27	0,0010	1,0846	0,5532	1,0010
Si	0,29	0,45	0,0022	1,1226	0,6748	1,0020
Cr	89,08	73,67	0,8754	0,9802	1,0010	1,0015
Mn	0,00	0,00	0,0000	0,9619	1,0029	1,0004
Fe	1,26	0,97	0,0115	0,9794	0,9295	1,0003
Cu	0,58	0,39	0,0053	0,9445	0,9680	1,000
Total	100,00	100,00				

Таблица 2

Погрешности в определении элементного состава покрытия Cr – Mn – Si – Cu – Fe – Al

Element	Net Inte.	Bkgd Inte.	Inte. Error	P/B
N K	4,92	0,37	3,48	13,22
O K	4,23	0,37	3,79	11,36
Al K	0,71	2,98	26,03	0,24
Si K	1,41	3,35	14,56	0,42
Cr K	155,55	2,60	0,59	59,84
Mn K	0,00	2,18	0,00	0,00
Fe K	1,37	1,91	11,95	0,72
Cu K	0,29	1,00	37,01	0,29

Результаты исследования фазового состава и структурных параметров образца приведены в таблице 3.

Таблица 3

Фазовый состав покрытия Cr – Mn – Si – Cu – Fe – Al в газовой среде азота

Образец	Обнаруженные фазы	Содержание фаз, об. %	Параметры решетки, Å	Размеры ОКР, нм	$\Delta d/d * 10^{-3}$
Cr – Mn – Si – Cu – Fe – Al в газовой среде азота, 40 мин	FeN _{0.0324}	60,6	$a = 3,598$	103,37	3,460
	TiN _{0.31} O _{0.31}	39,4	$a = 4,211$	25,6	5,143

Для образца № 1 была определена нанотвердость покрытия Cr – Mn – Si – Cu – Fe – Al в газовой среде азота, которая равна 7,413 ГПа, что соответствует 686,57 единицам твердости по методу Виккерса (рис. 4). Были определены: модуль текучести данного покрытия, равный 169,51 ГПа; текучесть, которая составляет 0,68 %, и релаксация покрытия, равная 0,05 %. Для определения всех перечисленных выше параметров было определено число Пуассона для покрытия Cr – Mn – Si – Cu – Fe – Al в газовой среде азота, равное приблизительно 0,30.

На образец № 2 из нержавеющей стали было нанесено покрытие 12X18H10T + Ti в газовой среде азота в течение 40 мин. В результате исследования мы измерили толщину нанесенного слоя и сделали элементный анализ данного покрытия.

На рисунке 5 показано покрытие 12X18H10T + Ti в газовой среде азота модельного образца до начала исследования.

Для измерения толщины нанесенного слоя покрытия 12X18H10T + Ti в газовой среде азота модельного образца № 2 на его поверхности была вырезана площадка с сфокусированным ионным пучком. Толщина слоя составляет 1,5 микрона. На рисунке 6 показана толщина покрытия 12X18H10T + Ti в газовой среде азота модельного образца № 2.

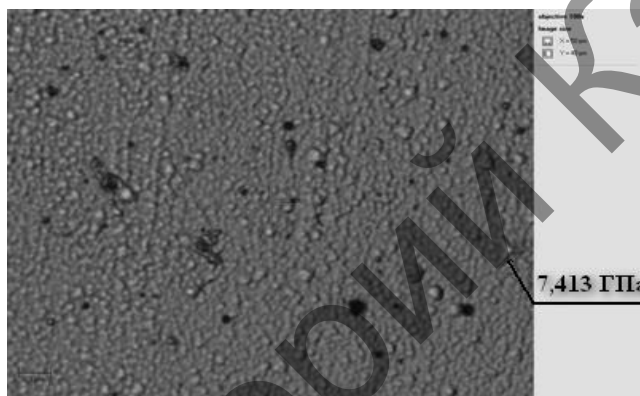


Рисунок 4. Нанотвердость покрытия Cr – Mn – Si – Cu – Fe – Al в газовой среде азота

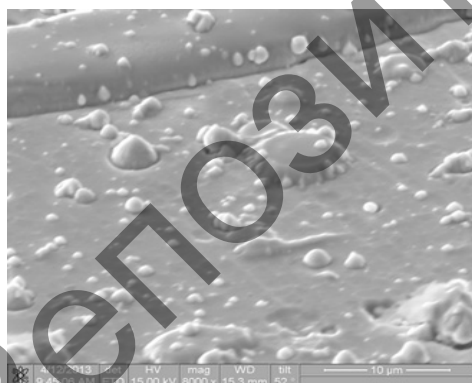


Рисунок 5. Покрытие 12X18H10T + Ti в газовой среде азота

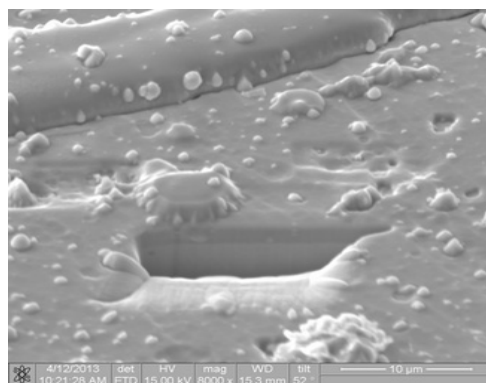


Рисунок 6. Толщина покрытия 12X18H10T +Ti в газовой среде азота

На рисунке 7 показан элементный состав покрытия в одной точке покрытия 12X18H10T с Ti в газовой среде азота.

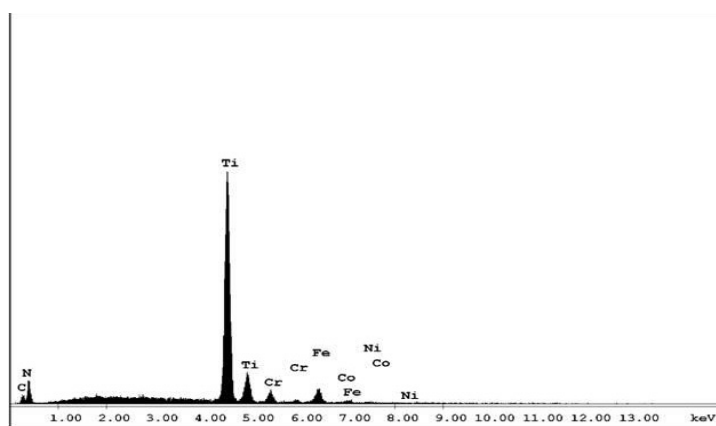


Рисунок 7. Элементный состав покрытия 12X18H10T + Ti в газовой среде азота

В таблице 4 приведены процентные соотношения химических элементов покрытия, в таблице 5 — погрешности измерения.

Таблица 4

Элементный состав покрытия 12X18H10T + Ti в газовой среде азота

Element	Wt %	At %	K- Ratio	Z	A	F
N K	4,47	14,18	0,0259	1,1843	0,4877	1,0027
Ti K	73,00	67,66	0,7304	0,9902	0,9969	1,0137
Cr K	5,96	5,09	0,0547	0,9860	0,9196	1,0130
Fe K	14,17	11,26	0,1327	0,9850	0,9486	1,0024
Ni K	2,40	1,81	0,0230	0,9983	0,9620	1,0000
Total	100,00	100,00				

Таблица 5

Погрешности в определении элементного состава

Element	Net Inte.	Bkgd Inte.	Inte. Error	P/B
N K	7,87	1,08	4,74	7,27
Ti K	170,35	2,53	0,92	67,42
Cr K	9,08	1,97	4,68	4,61
Fe K	14,74	1,50	3,37	9,83
Ni K	1,58	1,11	14,52	1,42

Результаты исследования фазового состава и структурных параметров приведены в таблице 6.

Таблица 6

Фазовый состав покрытия 12X18H10T + Ti в газовой среде азота

Образец	Обнаруженные фазы	Содержание фаз, об. %	Параметры решетки, Å	Размеры ОКР, нм	$\Delta d/d \cdot 10^{-3}$
12X18H10T + Ti в газовой среде азота	FeN _{0,0324}	9,8	$a = 3,592$	10,35	2,18
	TiN	85,5	$a = 4,240$	14,71	5,873
	Fe- α	4,6	$a = 2,864$	7,29	4,843

Для образца № 2 была определена нанотвердость покрытия 12X18H10T с Ti в газовой среде азота, которая равна 35,808 ГПа, что соответствует 3 316, 2 единицы твердости по методу Виккерса (рис. 8). Были определены: модуль текучести покрытия 12X18H10T с Ti в газовой среде азота, который равен 378,56 ГПа, текучесть его составляет -0,15 %, релаксация покрытия равна 0,05 %. Для определения всех перечисленных выше параметров было определено число Пуассона для покрытия 12X18H10T с Ti в газовой среде азота, равное приблизительно 0,27.

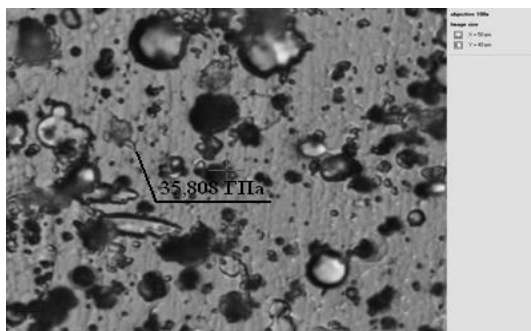


Рисунок 8. Нанотвердость покрытия 12X18H10T + Ti в газовой среде азота

На образец № 3 из нержавеющей стали также было нанесено покрытие 12X18H10T + Ti в газовой среде аргона в течение 40 мин. На рисунке 9 показано покрытие 12X18H10T + Ti в газовой среде аргона образца до начала исследования. Толщина слоя составляет 989,98 нм. На рисунке 10 показана толщина покрытия 12X18H10T + Ti в газовой среде аргона образца № 3.

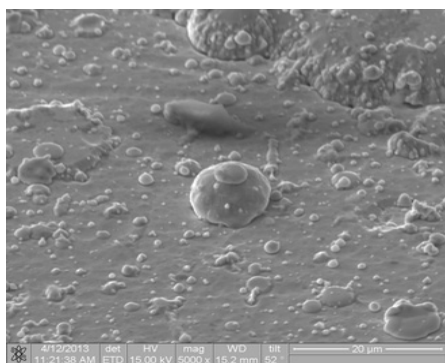


Рисунок 9. Покрытие 12X18H10T +Ti в газовой среде аргона

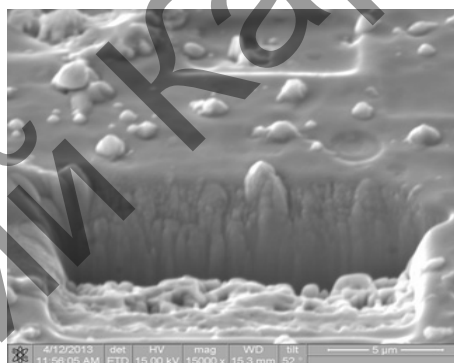


Рисунок 10. Толщина покрытия 12X18H10T + Ti в газовой среде аргона

На рисунке 11 показан элементный состав покрытия в одной точке выбранной площадки покрытия 12X18H10T + Ti в газовой среде аргона. В таблице 7 приведены процентные соотношения химических элементов покрытия, в таблице 8 указаны погрешности измерения.

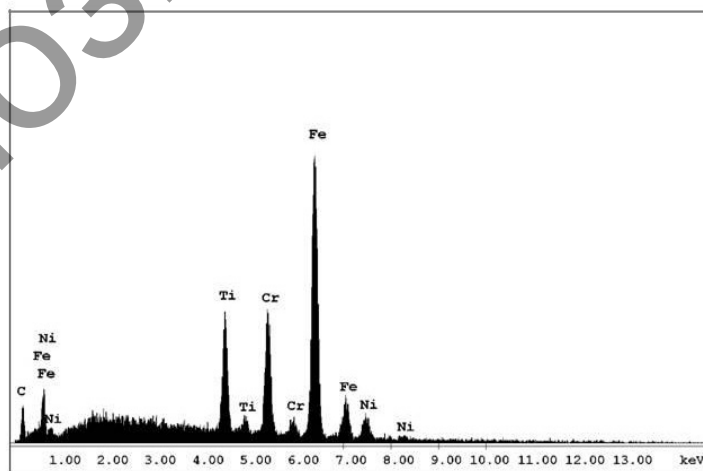


Рисунок 11. Элементный состав покрытия 12X18H10T + Ti в газовой среде аргона

Таблица 7

Элементный состав покрытия 12X18H10T + Ti в газовой среде аргона

Element	Wt %	At %	K- Ratio	Z	A	F
N K	10,26	11,68	0,1089	1,0015	0,9839	1,0765
Cr K	16,05	16,83	0,1750	0,9981	0,9836	1,1103
Fe K	64,96	63,40	0,6408	0,9980	0,9798	1,0089
Ni K	8,73	8,10	0,0840	1,0127	0,9502	1,0000
Total	100,00	100,00				

Таблица 8

Погрешности в определении элементного состава покрытия

Element	Net Inte.	Bkgd Inte.	Inte. Error	P/B
N K	31,50	3,68	2,07	8,55
Cr K	36,02	3,10	1,88	11,64
Fe K	88,33	2,45	1,14	36,02
Ni K	7,16	1,74	4,76	4,11

Для образца № 3 была определена нанотвердость покрытия 12X18H10T + Ti в газовой среде аргона, которая равна 3,339 ГПа, что соответствует 309,27 единицы твердости по методу Виккерса. Как и для первых двух образцов, были определены: модуль текучести, который равен 111,03 ГПа; текучесть, которая составляет 1,07 %; релаксация покрытия, равная 0,08 %. Число Пуассона 0,27.

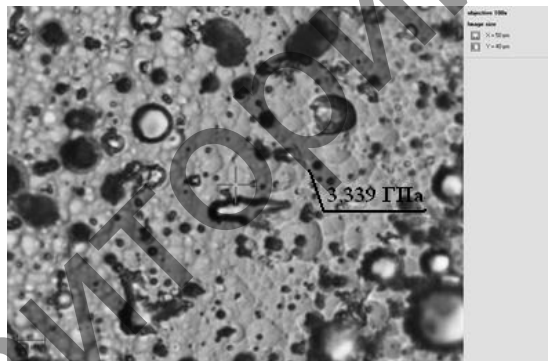


Рисунок 12. Нанотвердость покрытия Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al в газовой среде азота

Обсуждение результатов эксперимента

Из приведенных выше экспериментальных данных следует, что при нанесении покрытий в течение 40 мин формируются покрытия толщиной $1 \div 1,5$ мкм.

Элементный анализ показал высокое содержание Cr в покрытии Cr – Mn – Si – Cu – Fe – Al в газовой среде азота — 89,09%. Покрытие 12X18H10T + Ti в газовой среде азота содержит 73 % Ti, а покрытие 12X18H10T с Ti в газовой среде аргона имеет высокое содержание Fe — 64,96 %.

Данное исследование элементного состава показало, что все элементы рабочих катодов присутствуют в их покрытиях, однако соотношение между ними может значительно изменяться. Это хорошо видно из сравнения РФЭС-спектров катода, полученного нами в [7] (рис. 13), и РФЭС покрытия, показанного на рисунке 3.

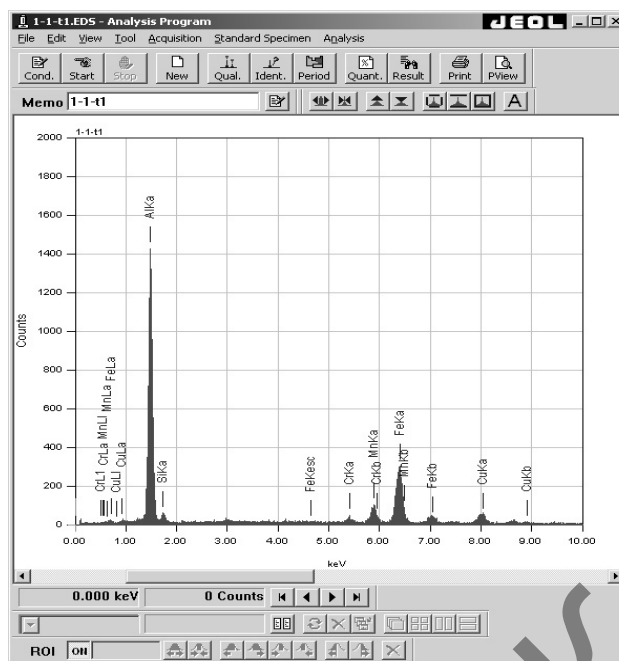


Рисунок 13. РФЭС катода Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al [7]

В первом и во втором покрытиях в результате ионно-плазменной обработки образовались нитриды, что и оправдывает возрастание их нанотвердости. В третьем покрытии нанотвердость увеличилась незначительно относительно нанотвердости подложки.

Для покрытия Cr – Mn – Si – Cu – Fe – Al в газовой среде азота нанотвердость равна 7,413 ГПа, для покрытия 12X18Н10Т + Ti в газовой среде азота – 35,808 ГПа и для покрытия 12X18Н10Т + Ti в газовой среде аргона она равна 3,339 ГПа. Из приведенных данных следует, что наибольшей нанотвердостью обладает покрытие 12X18Н10Т + Ti, полученное одновременным распылением титанового катода и катода из нержавеющей стали в газовой среде азота. Представляет интерес сравнение полученных результатов с известными данными по наноиндентированию других материалов. Такие данные представлены в таблице 9.

Таблица 9

Свойства материалов, рассчитанные по данным наноиндентирования [15]

Материал	H, ГПа	E, ГПа	R, %
Медь	2,1	121	14
Титан (OT4-1)	4,1	130	19
Многослойная пленка Ti/α-S:H	8,0	128	34
Аморфная лента Zr – Cu – Ti – Ni	11,5	117	42
Кремний (100)	11,8	174	62
Тонкая пленка Ti – Si – N	28,4	295	62

Результат сравнения показывает, что нанотвердость покрытия 12X18Н10Т + Ti в среде азота превосходит все представленные в таблице 9 материалы, среди которых последние три используются как упрочняющие и абразивные покрытия.

Структурно-фазовый анализ выявил, что покрытие Cr – Mn – Si – Cu – Fe – Al в газовой среде азота имеет две фазы FeN_{0.0324} — 60.6 %, TiN — 39.4 %, покрытие 12X18Н10Т + Ti в газовой среде

азота имеет три фазы $\text{FeN}_{0,0324}$ — 9,8 %, TiN — 85,5 %, $\text{Fe} - \alpha$ — 4,6 %. Последнее обстоятельство приводит к резкому возрастанию нанотвердости. В таблице 10 приведены свойства нитридных покрытий.

Т а б л и ц а 1 0

Свойства нитридных покрытий [16]

Нитрид	Температура плавления покрытия, °С	Микротвердость покрытия, ГПа	Электропроводность покрытия, $\text{мкОм}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$	Поверхностное натяжение покрытия, $\text{Дж}/\text{м}^2$	Поверхностное натяжение металла, $\text{Дж}/\text{м}^2$
TiN	2945	20,0	40	0,474	1,933
ZrN	2955	16,0	18	0,518	2,125
HfN	3330	22,0	32	0,610	2,503
NbN	2320	14,0	78	0,670	2,741
TaN	3360	17,5	180	0,735	3,014

Видно, что и в этом случае твердость покрытий 12X18H10T + Ti в газовой среде азота (35,808 ГПа) превосходит твердость всех представленных в таблице 9 покрытий.

Одна из ключевых проблем, которую следует решить при создании наноконпозиционных ионно-плазменных покрытий, — генерация многокомпонентных потоков, осаждаемых на подложку. Основная идея, использованная в настоящей работе, заключалась в следующем: для генерации многокомпонентных потоков ионов различных металлов, осаждаемых на подложку, мы использовали многофазный композиционный катод на одной пушке вакуумной установки и однофазный катод из титана на другой пушке. В процессе одновременного распыления различных катодов ионы металлов перемешиваются в плазме и, после осаждения, формируют покрытие.

Однако механизм формирования покрытий с высокой твердостью остается пока не совсем ясным, и исследования в этой области только начинают проводиться (см., например, [17]).

Заключение

Основной результат, полученный в настоящей работе, — это формирование сверхтвердого покрытия, полученного при одновременном распылении титанового катода и катода 12X18H10T в среде азота, когда происходит образование нитридных фаз. Этот результат имеет важное практическое значение для упрочнения деталей механизмов и машин различных отраслей промышленности.

В настоящее время в условиях ограниченности материальных средств в промышленном комплексе особое значение приобретают технологии, увеличивающие долговечность (ресурс) деталей и узлов машин.

Из-за поверхностного износа 90 % деталей машин выходит из строя. Нанесение сверхпрочных наноразмерных покрытий — один из наиболее эффективных методов увеличения срока жизни детали.

Полученные нами результаты позволяют говорить о создании принципиально новых свойств поверхности — без существенного нагрева и остаточных напряжений.

В Казахстане не выпускают специальных сталей для изготовления большинства деталей механизмов и машин горнодобывающих, машиностроительных и металлургических предприятий, предприятий химической промышленности и сельского хозяйства. Стоимость различных марок нержавеющей и специальной стали колеблется от 800 до 2000 у.е. В Казахстане они не производятся и импортируются из разных стран.

Разрабатываемые нами технологии придают изделиям из простых марок сталей, которые производятся в Казахстане, эксплуатационные характеристики, не уступающие изделиям из спецсталей. Это приведет к снижению себестоимости продукции примерно в 5–12 раз.

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

Список литературы

- 1 Кривобоков В.П., Сочугов Н.С., Соловьев А.А. Плазменные покрытия (свойства и применение). — Томск: Изд. Томск. политехн. ун-та, 2011. — 137 с.
- 2 Берлин Е.В., Коваль Н.Н., Шейдман Л.А. Плазменная химико-термическая обработка поверхности стальных деталей. — М.: Техносфера, 2012. — 640 с.
- 3 Watanabe H., Sato Y., Nie C. et al. The mechanical properties and microstructure of Ti-Si-N nanocomposite films by ion plating // Surf. and Coat. Technol. — 2003. — Vol. 169–170. — P. 452–455.
- 4 Carvalho S., Ribeiro E., Rebouta L. et al. Effect of morphology and structure on the elastic behavior of (Ti, Si, Al)N nanocomposites // Surf. and Coat. Technol. — 2003. — Vol. 174–175. — P. 984–991.
- 5 Flink A., Larson T., Sjolen J. et al. Influence of Si on the microstructure of arc evaporated (Ti, Si)N thin films; evidence for cubic solid solutions and their thermal stability // Surf. and Coat. Technol. — 2005. — Vol. 200. — P. 1535–1542.
- 6 Li Z.G., Mori M., Miyake S. et al. Structure and properties of Ti – Si – N films prepared by ISP assisted magnetron sputtering // Surf. and Coat. Technol. — 2005. — Vol. 193. — P. 345–349.
- 7 Гученко С.А., Ибраев Н.Х., Афанасьев Д.А. Композиционные катоды для ионно-плазменных покрытий // Вестн. Караганд. ун-та. Сер. Физика. — 2009. — № 4 (56). — С. 41–47.
- 8 Юров В.М., Гученко С.А., Ибраев Н.Х. и др. Влияние технологических параметров на свойства композиционных покрытий Mn – Fe – Cu – Al // Вестн. развития науки и образования. — 2011. — № 2. — С. 18–23.
- 9 Юров В.М., Ибраев Н.Х., Гученко С.А. Наноструктурные покрытия на основе бинарных сплавов алюминия // Вестн. КазНУ им. Аль-Фараби. Серия физ. — 2011. — № 2 (37). — С. 38–44.
- 10 Юров В.М., Вертягина Е.Н., Гученко С.А., Хуанбай Е. Влияние ионного облучения на свойства наноструктурных покрытий Zn-Al и Fe-Al // Современные наукоемкие технологии. — 2011. — № 5. — С. 63–68.
- 11 Юров В.М., Лауринас В.Ч., Гученко С.А., Завацкая О.Н. Влияние технологических параметров осаждения на поверхностное натяжение композиционных покрытий // Международный журн. прикладных и фундаментальных исследований. — 2012. — № 5. — С. 55–58.
- 12 Юров В.М., Лауринас В.Ч., Гученко С.А., Завацкая О.Н. Поверхностное натяжение ионно-плазменных покрытий // Вестн. Караганд. ун-та. Сер. Физика. — 2012. — № 2 (66). — С. 13–21.
- 13 Юров В.М., Лауринас В.Ч., Гученко С.А., Завацкая О.Н. Образование ячеистой наноструктуры при формировании ионно-плазменных покрытий // Тр. 8-й Междунар. науч. конф. «Хаос и структуры в нелинейных системах. Теория и эксперимент». — Караганда: Изд. Караганд. ун-та, 2012. — С. 288–294.
- 14 Лауринас В.Ч., Юров В.М., Гученко С.А., Завацкая О.Н. Влияние лазерного облучения на свойства многофазных покрытий // Изв. НАН РК. — 2013. — № 2. — С. 155–159.
- 15 Головин Ю.И. Наноиндентирование и механические свойства материалов в наномасштабе (обзор) // ФТТ. — 2008. — Т. 50. — № 12. — С. 2113–2142.
- 16 Юров В.М., Лауринас В.Ч., Гученко С.А. и др. Структура и свойства многофазных ионно-плазменных покрытий. — Караганда: Изд. Казахстанско-Российского ун-та, 2013. — 150 с.
- 17 Соболев О.В., Андреев А.А., Горбань В.Ф. и др. О воспроизводимости однофазного структурного состояния многоэлементной высокоэнтропийной системы Ti – V – Zr – Nb – Hf и высокопрочных нитридов на ее основе при их формировании вакуумно-дуговым методом // Письма в ЖТФ. — 2012. — Т. 38. — Вып. 13. — С. 40–47.

В.Ч.Лауринас, О.Н.Завацкая, С.А.Гученко

Композициялық бүркемелердің қасиеттері мен құрылымдық-фазалық құрамы

Азот газы ортасында алынған композициялық бүркемелердің қасиеттері мен құрылымдық-фазалық құрамын зерттеудің эксперименталдық нәтижелері келтірілген. Нәтижелер CuK_α - сәулелі XRD-6000 дифрактометрдің көмегімен алынған. Беркович индентерін қолданып, Оливер және Фара әдісімен наноиндентирлеу жүйесінің көмегімен композициялық бүркемелердің нанокаттылығы мен аққыштық модулі анықталған. Quanta 200 3D қондырғысының көмегімен бүркеменің бүкіл қалыңдығы бойынша элементтік құрамы зерттелді. Эксперименталдық алынған нәтижелерді сараптау композициялық бүркемелердің физикалық-механикалық қасиеттері мен құрылымына газдық ортаның әсерін анықтауға мүмкіндік берді.

V.Ch.Laurinas, O.N.Zavatskaya, S.A.Guchenko

Structurally-phase structure and properties of composite coverings

Results of an experimental research of phase structure and structural parameters of the composite coverings received in the environment of nitrogen are resulted. Results are received on spectrometer XRD-6000 on $\text{CuK}\alpha$ -radiation. By means of initiation system on method of Oliver and Fara with use of a prism of Berkovich is defined nanohardness of composite coverings and their module of fluidity. On installation Quantata 200 3D the element analysis on a thickness of a covering is carried out. The analysis of the received experimental results has allowed to reveal influence of gas atmosphere on structural and physico-mechanical properties of composite coverings.

References

- 1 Krivobokov V.P., Sochugov N.S., Solov'ev A.A. *Plasma coverings (properties and application)*, Tomsk: Publ. House of Tomsk polytechnical university, 2011, 137 p.
- 2 Berlin E.V., Koval N.N., Scheidman L.A. *Plasma chemical-thermal processing of a surface of steel details*, Moscow: Technosphere, 2012, 640 p.
- 3 Watanabe H., Sato Y., Nie C. et al. *The mechanical properties and microstructure of Ti-Si-N nanocomposite films by ion plating* // Surf. and Coat. Technol., 2003, vol. 169–170, p. 452–455.
- 4 Carvalho S., Ribeiro E., Rebouta L. et al. *Effect of morphology and structure on the elastic behavior of (Ti, Si, Al)N nanocomposites* // Surf. and Coat. Technol., 2003, vol. 174–175, p. 984–991.
- 5 Flink A., Larson T., Sjolen J. et al. *Influence of Si on the microstructure of are evaporated (Ti, Si)N thin films; evidence for cubic solid solutions and their thermal stability* // Surf. and Coat. Technol., 2005, vol. 200, p. 1535–1542.
- 6 Li Z.G., Mori M., Miyake S. et al. *Structure and properties of Ti – Si – N films prepared by ISP assisted magnetron sputtering* // Surf. and Coat. Technol., 2005, vol. 193, p. 345–349.
- 7 Guchenko S.A., Ibraev N.H., Afanasev D.A. *Composite cathodes for ionic-plasma coverings* // Bull. of KarSU. Ser. Physics, 2009, No. 4 (56), p. 41–47.
- 8 Yurov V.M., Guchenko S.A., Ibraev N.H., et al. *Influence of technological parameters on properties of composite coverings Mn – Fe – Cu – Al* // the Bull. of development of science and education, 2011, No. 2, p. 18–23.
- 9 Yurov V.M., Ibraev N.H., Guchenko S.A. *Nanostructural coverings on the basis of binary alloys of aluminium* // Bull. of KazNU of name Al-Farabi. A series physics, 2011, No. 2 (37), p. 38–44.
- 10 Yurov V.M., Vertjagina E.N., Guchenko S.A., et al. *Influence of an ionic irradiation on properties of nanostructural coverings Zn – Al and Fe – Al* // Modern high technologies, 2011, No. 5, p. 63–68.
- 11 Yurov V.M., Laurinas V.Ch., Guchenko S.A., Zavatskaya O.N. *Influence of technological parameters of a deposition on the surface tension of composition coverings* // International magazine of applied and basic researches, 2012, No. 5, p. 55–58.
- 12 Yurov V.M., Laurinas V.Ch., Guchenko S.A., Zavatskaya O.N. *Superficial tension of ionic-plasma coverings* // Bull. of KarSU. Ser. Physics, 2012, No. 2 (66), p. 13–21.
- 13 Yurov V.M., Laurinas V.Ch., Guchenko S.A., Zavatskaya O.N. *Formation of cellular nanostructure at formation of ionic-plasma coverings* // Works VIII the International scientific conference «Chaos and structures in nonlinear systems. The theory and experiment», Karaganda: Publ. KarGU, 2012, p. 288–294.
- 14 Laurinas V.Ch., Yurov V.M., Guchenko S.A., Zavatskaya O.N. *Influence of a laser irradiation on properties of multiphase coverings* // News of National academy RK, 2013, No. 2, p. 155–159.
- 15 Golovin J.I. *Nanoinitiation and mechanical properties of materials in a nanoscale (review)* // Physics status solidi, 2008, vol. 50, No. 12, p. 2113–2142.
- 16 Yurov V.M., Laurinas V.Ch., Guchenko S.A., et al. *Structure and properties of multiphase ionic-plasma coverings*, Karaganda: Publ. House of the Kazakhstan-Russian university, 2013, 150 p.
- 17 Sobol O.V., Andreev A.A., Gorban V.F., et al. *About reproducibility of a single-phase structural condition multielement of highly entropy system Ti – V – Zr – Nb – Hf and highly rigid nitrides on its basis at their formation by a vakuumno-arc method* // Letters in JTF, 2012, vol. 38, No. 13, p. 40–47.