

## МИКРО-НАНОСЛОЙНЫЕ ПОКРЫТИЯ, СФОРМИРОВАННЫЕ МЕТОДОМ ВАКУУМНО-ДУГОВОГО ОСАЖДЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЧ-РАЗРЯДА

В.М. Береснев\*, В.Т. Толлок\*, О.М. Швец\*\*, Е.В. Фурсова\*,  
Н.Н. Чернышов\*, Л.В. Маликов\*

\*Научный физико-технологический центр МОН и НАН Украины (Харьков)

\*\*Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт»  
Украина

Поступила в редакцию 12.06.2006

Показана возможность формирования слоистых покрытий TiN/Mo, TiN/БрАЖ9-4 методом вакуумно-дугового осаждения, с использованием ВЧ разряда, для очистки плазменного потока от микрочастиц. На основе расчета скоростей осаждения (толщины) определены технологические параметры, позволяющие формировать нанослоистые структуры. Установлены закономерности изменения фазово-структурного состава, микротвердости получаемых покрытий от давления, ускоряющего потенциала подложки. Изучены триботехнические характеристики покрытий в сравнении с покрытием TiN. Результаты триботехнических испытаний свидетельствуют, что нанослойные покрытия TiN/Mo, TiN/БрАЖ9-4 по своим эксплуатационным показателям существенно превышают покрытие TiN.

### ВВЕДЕНИЕ

Использование технологий модификации материалов, путем ионно-лучевой и ионно-плазменной обработки не всегда обеспечивают функциональные свойства предъявляемые к рабочим поверхностям различных изделий работающих при высоких скоростях и температурах, высоких удельных нагрузках, агрессивных средах и т.д.

Наиболее эффективно решение этой задачи достигается применением покрытий. Такой подход экономически оправдан, поскольку позволяет сократить расход дефицитных и дорогостоящих материалов.

Анализ научных публикаций свидетельствует, что использование вакуумных-дуговых источников в качестве высокоионизированных, возбужденных компонентов потоков металлической плазмы позволяет создавать нанокристаллические и нанослойные материалы в виде покрытий на поверхности различных изделий, и тем самым улучшать эксплуатационные свойств материала [1-5].

Известно, что слоистые покрытия на основе металлов значительно отличаются от микроструктуры и свойств монофазных покрытий на основе простых тугоплавких соединений нитридов, карбидов и т.д. Поэтому, получение нанослойных покрытий с нанокристаллической структурой, высокими физико-механическими свойствами и эксплуатационными характеристиками возможно путем определенного выбора испаряемых материалов, углубления понима-

ния мало изученных процессов формирования покрытий в условиях осаждения потоков многокомпонентной плазмы.

Целью данной работы является получение нанослойных покрытий TiN/Mo, TiN/БрАЖ9-4, микрокристаллического покрытия Fe-TiC с наноструктурой вакуумно-дуговым методом, с использованием ВЧ разряда, изучения влияния параметров осаждения на структуру, физико-механические свойства и триботехнические характеристики.

### МАТЕРИАЛЫ, МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОКРЫТИЙ

Для получения покрытий использовалась вакуумная установка, оснащенная ВЧ-генератором, мощностью 10кВт. Испаряемыми материалами являлись: титан ВТ1-00, молибден МЧВП, бронза БрАЖ9-4. Покрытия осаждали на полированные образцы, стали ВНС-15 (9Х13МЗДЗБ2). Для очистки плазмы от макрочастиц использовались специальной конструкции диафрагмы, на которые подавалось переменное ВЧ напряжение ( $U_{вч} = 1000В$ ). При этом, макрочастицы двигаясь прямолинейно, наталкиваются на диафрагму, не попадают на подложку, однако ионная компонента плазменного потока, за счет ВЧ поля направляется на подложку в обход преграды и тем самым позволяет получать бескапельные покрытия [6]. В качестве реакционного газа применялся газообразный азот.

Морфология поверхности покрытий изучалась при помощи растрового и электронного микроскопов. Элементный состав покрытий определялся методом рентгено-спектрального микроанализа («Самебах»). Фазовый состав покрытий определялся рентгенодифрактометрическим методом (ДРОН-3,0) с использованием  $\lambda$  – Cu – K $_{\alpha}$  излучения (НТУ «ХПИ»).

Измерения микротвердости покрытий осуществлялось по методике предложенной в работе [7], в основу которой положены измерения интегральной твердости покрытия и подложки при больших глубинах вдавливания. Микротвердость измерялась на ПМТ-3 при нагрузке 0,05...0,1Н. Значения  $H_v$  усреднялись по 10 измерениям. Испытания на износостойкость проводились по схеме плоскость-цилиндр на машине трения МИ-1М при скорости скольжения 1,0 м/с, в течение одного часа, как в сухую, так и в смазочной среде (масло АМГ-10 + 0,5% оксипрополированного глицерина) при различных нагрузках. В качестве цилиндров использовались полированные ( $R_a = 0,08$  мкм) диски диаметром 40 мм стали X12M (HRC 57-58). Величина объемного износа покрытий рассчитывалась на основании профилографирования «дорожек» трения на образцах-колодках. Для этого после испытаний на износ с помощью профилометра-профилографа (модель 201) записывался рельеф поверхности покрытия в направлении, перпендикулярном продольной оси «дорожки» трения и рассчитывался объемный износ ( $W$ , мм<sup>3</sup>). Величина износа контртела  $W$  определялась методом взвешивания до и после испытаний на аналитических весах с погрешностью  $\pm 0,1$  мг.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ:

### 1. СЛОИСТЫЕ ПОКРЫТИЯ TiN/Mo

Покрытия осаждали послойно, поверхность конденсации вращалась, перемещаясь к зоне титанового и молибденового источника плазмы, которые были расположены под углом 180° друг к другу. На основе расчета скоростей осаждения, была сформирована слоистая структура общей толщиной 1,5 мкм, и соотношением толщины на основе TiN и Mo 2:1, что по данным [8,9] обеспечивает высокие физико-механические, триботехнические и эксплуатационные характеристики получаемых покрытий. Расчетная толщина покрытия TiN составила ~30...40 нм, Mo ~ 15...20 нм. Перераспределение соотношения содержания фаз в покрытиях является результатом преимущественного синтеза TiN

по сравнению с MoN вследствие большего сродства титана с азотом, чем с Mo. Свободная энергия образования TiN в 4,8 раза выше, чем у Mo<sub>2</sub>N.

Изучение морфологии поверхности полученных покрытий свидетельствует, что применение переменного ВЧ напряжения, подаваемое на диафрагму, обеспечивает отсутствие макрокапель на поверхности покрытия. Увеличение потенциала смещения подаваемого на подложку, в частности для Mo (150...350В) [10] приводит к распылению (травлению) поверхности, а также осаждению молибдена, взаимодействию его с компонентами предыдущего слоя (TiN) за счет повышенной активности процессов взаимодействия заряженных частиц с твердым телом.

Характерной особенностью дифрактограмм, полученных TiN/Mo покрытия, является размытие дифракционных максимумов составляющих покрытие фаз, их относительно малые интенсивности, которые свидетельствуют о высокой степени искажений кристаллической решетки и малой величине области когерентного рассеяния (О.К.Р). Покрытия, полученные при  $U_{см} = -100$  В, включают в себе TiN, MoN, с текстурой <111> в плоскости конденсации. При содержании Mo в покрытии 16 ат.%, микротвердость составила 28ГПа.

В покрытиях, полученных при осаждении ( $U_{см} = -200$  В,  $T_k \sim 500...550^\circ\text{C}$ ) снижение уровня микроискажений, степени совершенства текстуры, сжимающих напряжений является следствием равновесных условий роста формируемого покрытия. Наличие диффузного гало под малыми углами отражения рентгеновских лучей и на его фоне малоинтенсивных сильно размытых дифракционных максимумов свидетельствует о нанокристаллической структуре, высоком уровне микроискажений. Увеличение микротвердости, по-видимому, обусловлено радиационно-термическими процессами [11], что приводит к уплотнению покрытия. В образующем покрытии формируется  $Ti_x Mo_{1-x} N$ , не наблюдаются максимумы нитридов молибдена.

В дальнейшем увеличение напряжения, а значит, температуры осаждения приводит к снижению микротвердости получаемых покрытий до  $H_m \sim 24$  ГПа. Общее содержание Mo в покрытиях с увеличением  $U_{см}$  до 300В уменьшается от 16% до 6,1ат.%, при этом возрастает интенсивность дифракционных максимумов  $TiN_x$  снижается уровень интенсивности некогерентного рассеяния рентгеновских лучей, искажения кристаллической

решетки, что по-видимому, приводит к равновесному условию формирования структуры покрытий. Однако, наряду с этим, существенное значение в изменении структурно-фазового состояния, а значит, и  $H_m$  имеют радиационно-термически активируемые процессы, приводящие, судя по всему, к распаду неравновесных твердых растворов, метастабильных фаз, а также к формированию твердых растворов  $Ti_x Mo_{1-x} N$  на основе растворения нитридов  $Ti$  и  $Mo$  на границе раздела слоев.

Известно, что при заданных условиях осаждения обеспечивается формирование стехиометрических состав  $TiN$  слоев, микротвердость ( $H_m$ ) практически не зависит от  $U_{cm}$  и  $T_k$  и составляет 22...24 ГПа [12]. В тоже время, для монофазных покрытий  $Mo_2N$  фазовый состав, структурное состояние зависит не только от  $P_N$ , но и от  $U_{cm}$  и  $T_k$  (для  $Mo_2N$  оптимальным является  $U_{cm} \sim 25...30V$ ) [13, 14].

Это и является одним из основных факторов, определяющих фазовый состав, изменения значения  $H_m$  формируемых слоистых  $Ti-Mo-N$  покрытий.

Рассмотрим теперь возможности применение полученных покрытий в узлах трения. Для этого нами были изучены триботехнические характеристики полученных покрытий в сравнении с  $TiN$ . В табл. 1 приведены результаты триботехнических испытаний нанослойных покрытий  $TiN/Mo$  в сравнении с  $TiN$ .

Таблица 1

Триботехнические характеристики нанослойного покрытия  $TiN/Mo$  ( $x = 1,0$  м/с;  $P=50$  Н;  $d = 1,5$  мкм)

Основная фаза	Число слоев	$R_d$ , мкм	$W_0 \cdot 10^{-3}$ , мм <sup>3</sup>	$W_{gr}$ , г	$f_{cp}$	$P_{cp}$ , Н
$TiN/Mo$	Много-слойный	0,3	1,0	0,1	0,17	610
$TiN$	Одно-слойный	0,25	1,0	2,1	0,38	550

Как видно из табл. 1 слоистое покрытие  $TiN/Mo$ , обладает высокой критической нагрузкой задиорообразования по сравнению с монофазным покрытием  $TiN$ .

Известно, что уменьшение слоев до наноразмерных величин обуславливает повышение механических характеристик покрытий вследствие увеличения прочностных и упругих свойств материалов. Границы разделов между слоями служат барьерами распространению микротрещин, возникающих под воздействием нагрузки в процессе трения [15]. В связи с этим разрушение локализуется в пределах отдельных слоев,

что и обеспечивает повышение триботехнических характеристик покрытия и эксплуатационных свойств изделия.

## 2. СЛОИСТЫЕ ПОКРЫТИЯ $TiN/BrAJ9-4$

Параметры осаждения были выбраны на основе модели расчета скоростей осаждения, позволяющие формировать слоистую структуру толщиной 2,5 мкм и соотношением толщины на основе  $TiN$  (40 нм) и  $BrAJ9-4$  (~13 нм) 3:1, что по данным [16,17] обеспечивает высокие физико-механические, триботехнические и эксплуатационные характеристики получаемых покрытий.

В процессе нанесения покрытий плоскость конденсации на которой размещались образцы, вращалась со скоростью 9 об/мин вокруг оси камеры, поочередно пересекая потоки плазмы, генерируемые титановым и бронзовым источниками, расположенными, пол углом 180° друг к другу. Характерной особенностью дифрактограммы  $TiN/BrAJ9-4$  покрытия, является наличие диффузного гало под малыми углами отражения, не идентифицированных отображений (табл. 3). Размытие дифракционных максимумов составляющих покрытие фаз, их относительно малые интенсивности являются следствием наноструктурного состояния, высокого уровня микроискажений [18], при этом содержание меди в покрытии составляет 1,6 %.

Возрастание микротвердости покрытия до 30ГПа ( $U_{cm}=200V$ ), обусловлено уменьшением соотношения образующих фаз  $TiN$ ,  $Cu$ ,  $Ti_x Cu_{1-x} N$ , образованием неравновесных твердых растворов, не идентифицированных фаз, увеличением уровня микроискажений с одной стороны, а с другой, по-видимому, обусловлено радиационно-термическими процессами [19], что приводит к уплотнению покрытия.

Таблица 2

Технологические параметры и условия эксперимента

Технологические параметры	Значения параметров	Условия эксперимента
$U_{cm}$ , В	~ 100-300	Время осаждения: 90мин; $\omega$ -9 об/мин; $I_{Ti}$ -90А; $I_{Cu}$ -180А; $I_{max}$ -60А; $nR=0,5$
$P_N$ , Па	$2 \cdot 10^{-1}$	
$T$ , С	350... 600	

Дальнейшее повышение потенциала смещения до 300В (температуры осаждения до 600°C) приводит к падению микротвердости покрытий до 10ГПа. Это обусловлено превалированием радиационно-термически

активируемых процессов, приводящих к отжигу дефектов, релаксации искажений в процессе осаждения, к формированию равновесных фаз TiN, Cu,  $Ti_xCu_{1-x}N$  – составляющих слоев покрытия.

Таблица 3  
Фазовый состав TiN/БрАЖ9-4 покрытий, микротвердость, период решетки, потенциал смещения.

Ускоренное напряжение U, В	Микротвердость Н <sub>М</sub> , ГПа	Фаза (hkl)	Текстура, фаза	a, нм
100	26	TiN <sub>2</sub> (111), Cu (100)	TiN <sub>2</sub> (111)	0,4284
		Ti Cu(100)		
200	30	Ti <sub>2</sub> Cu <sub>1-x</sub> N, TiN	Ti <sub>2</sub> Cu <sub>1-x</sub> N (200)	0,4195
300	10	Ti <sub>2</sub> Cu <sub>1-x</sub> N (111)	Ti <sub>2</sub> Cu <sub>1-x</sub> N (200)	0,4167

Это является одним из основных факторов определяющих фазовый состав, значение Н<sub>М</sub> формируемых слоистых покрытий TiN+БрАЖ9-4. При этом существенное значение в изменении структурно-фазового состояния, а, следовательно, Н<sub>М</sub> имеют эффекты, связанные с радиационно- и термически стимулированными процессами, сопровождающиеся распадом метастабильных фаз, а также образованием твердого раствора  $Ti_xCu_{1-x}N$  на основе растворения меди в нитриде титана, на границе раздела слоев. Результаты изучения триботехнические свойства нанослойных покрытий TiN/БрАЖ9-4 толщиной 2,5 мкм в сравнении с монофазным покрытием TiN приведены в табл. 4. Как видно, покрытия TiN/БрАЖ9-4 обладают высокой критической нагрузкой задиорообразования по сравнению с монофазным покрытием TiN.

Таблица 4  
Триботехнические характеристики нанослойных покрытий (x =1,0 м/с; P=100 Н, масло АМГ-10)

Основная фаза	Число слоев	H <sub>крит</sub> , мПа	W <sub>крит</sub> · 10 <sup>-1</sup> , мм <sup>2</sup>	W <sub>крит</sub> , г	ξ <sub>крит</sub>	P <sub>крит</sub> , Н
TiN/БрАЖ9-4	Многослойный	0,3	1,9	0,1	0,09	1240
TiN	Однослойный	0,25	1,9	2,1	0,17	1100

Полученные результаты, свидетельствуют, что в смазочной среде в результате физико-химических реакций на поверхности могут создаваться условия, способствующие более равномерному распределению напряжений и снижению интенсивности разрушений контактирующих материалов. Так, изучение морфологии поверхности трения контртел по покрытию TiN/БрАЖ9-4 в смазочной среде методом растровой микроскопии свиде-

тельствует, что в зоне трения действительно происходит существенные изменение – перенос металлической пленки на контртело (рис. 1).



Рис. 1. Морфология поверхности.

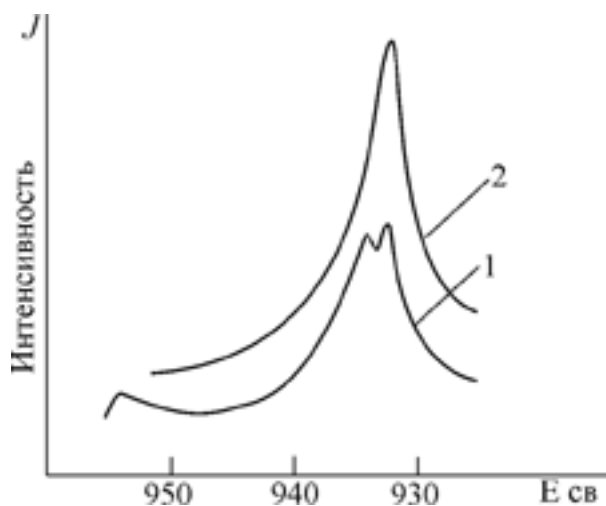
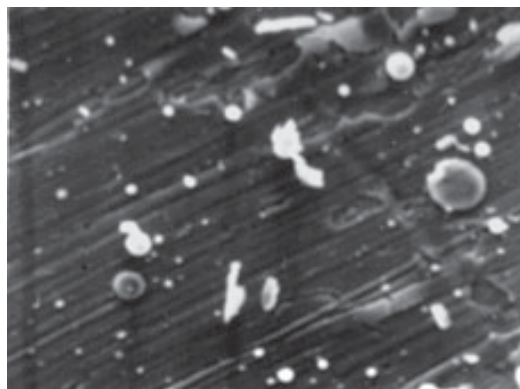


Рис. 2. Вид спектра меди Cu2p3/2 на поверхности трения контртела трения покрытия 1– Cu<sub>2</sub>O (E= 932,6 эВ); 2– CuO (E= 933,8 эВ)

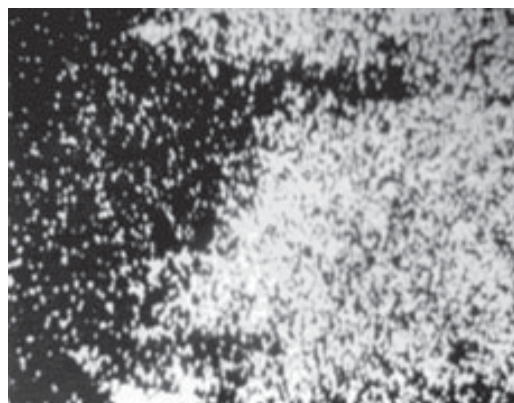
Приведенный факт подтверждается исследованием дорожек трения покрытий TiN/БрАЖ9-4 методом РФЭС (рис. 2). Изучение спектра поверхности трения покрытия показывает, что на ней присутствует как окись, так и двуокись меди. Основная отличительная черта работы пары трения сталь Х12М – покрытие TiN/БрАЖ9-4 связана, по-видимому, с реализацией эффекта избирательного переноса. В результате изучения поверхности контртела методом рентгеноспектрального анализа, наблюдаются отдельные зоны с металлической пленкой (рис. 3).

Полученные результаты можно объяснить с помощью конфигурационной модели вещества (КМВ) [20]. Согласно этой модели, при трении разноименных контактирующих пар, в нашем случае, локализованные

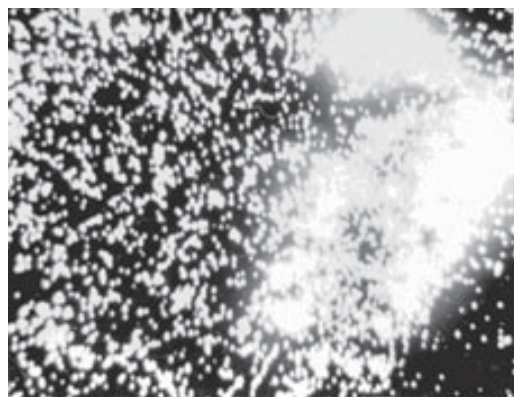
электроны меди имеют конфигурацию  $d^{10}$ , которая менее стабильна, чем конфигурация  $d^5$ , свойственная стали (железу), что и приводит к обогащению поверхностей трения. Это, по-видимому, обуславливает перенос меди на стальную поверхность, образование поверхностной пленки на обеих поверхностях трения. Слоистое покрытие TiN/БрАЖ9-4, характеризуются, кроме того, и наибольшей стабильностью коэффициента трения. Таким образом, по совокупности свойств покрытия TiN-БрАЖ9-4 является наиболее интересными и перспективными для промышленного использования.



а



б



в

Рис. 3. Микроструктура поверхности корнтртела (а) и распределения Cu через 30 мин (б) и 1 часа (в) эксплуатации (б, в – съемки в лучах  $\text{CuK}_\alpha$ );  $\times 500$ .

## ВЫВОДЫ

1. Показана возможность создания нанослойных TiN/Мо, TiN/БрАЖ9-4 покрытий, методом вакуумно-дугового осаждения с использованием для очистки плазменного потока от микрочастиц ВЧ разряда, в условиях вращения плоскости конденсации относительно плазменных потоков.

2. Для слоистых покрытий установлено, изменение от  $U_{\text{см}}$  (энергии ионов) фазово-структурных характеристик  $\gamma$ ,  $H_{\text{м}}$  получаемых покрытий. Возрастание микротвердости слоистых покрытий связано не только со структурно-фазовым состоянием покрытия, но и с радиационно-термическими процессами его формирования, особенностями структурного состояния получаемых слоистых структур.

3. При трении системы сталь X12M – покрытия TiN/БрАЖ9-4 в среде масло АМГ-10+0,5% глицерина обнаружен эффект избирательного переноса меди на контртело.

4. На основе анализа полученных результатов установлено, что наилучшими свойствами обладают нанослойные покрытия TiN/БрАЖ9-4 и TiN/Мо. Их изнашивающая способность уменьшилась в 20 раз по сравнению с TiN, критическая нагрузка увеличилась на 12% по сравнению с TiN.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Beresnev V.M. Ion-plasma multicomponent films layers // International Conf. Modification of Properties of Surface Layers MPSL. – Sumy (Ukraine). – 1993. – P. 43.
2. Knotek O., Lufner F. and Krdmer G. Multikomponent and multilayer physicall vapor deposited coatings for cutting tools // Surf. And Coat. Technol.– 1992.– v. 54/55.– P. 241– 248.
3. Кунченко Ю.В., Кунченко В.В., Карتماзов Г.П., Неклюдов И.М. О формирование микро-нано-кристаллических покрытий методом вакуумно-дугового осаждения // Физическая инженерия поверхности.– 2004.– Т. 2, № 1. – С. 102– 108.
4. Кунченко В.В., Кунченко Ю.В., Карتماзов Г.П., Неклюдов И.М., Мигаль А.А., Романов А.А., Гладких Н.Т., Крышталь А.П., Казаринов Ю.Т. Наноструктурные свехтвердые nc-TiN/б-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> покрытия, полученные методом вакуумно-дугового осаждения // Вопросы атомной науки и техники-сер."Физика радиционных повреждений и радиационное материаловедение".– 2006.– №4 (89).– С. 185– 190.
5. Кунченко Ю.В., Кунченко В.В., Неклюдов И.М., Кармазов Г.П., Андреев А.А. Слоистые Ti-Cr-N покрытия, получаемые методом вакуумно-дугового осаждения //

- Вопросы атомной науки и техники.– Сер. "Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение".– 2007.– № 2 (90).– С. 203–214.
6. Положий К.И., Береснев В.М. Подавление капельной фазы в вакуумно-дуговых распылительных системах // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2005. – №5. – С. 69–72.
  7. Манника И.П., Маникс Я.Е., Муктепал Ф.О. Определение микротвердости тонких пленок и покрытий.–Саласпилс: Институт Физики, 1990.– 38 с.
  8. Износостойкое покрытие: А.с. 906190 МКИ С23 С13/02/ М.С. Борушко, В.М. Береснев, В.Н. Барков, В.М. Мацевитый, И.А. Бурахович, Я.М. Шкловский (СССР). – № 2780554. Заявлено 04.07.79. Опубл. 14.10.1981, Бюл. № 38. – 2 с.
  9. Beresnev V.M., Geluh O.N., Kovalenko I.A., Fedorenko A.I. The study of friction and the ion-plasma coverings // Intern. Conf. Modification of Properties of Surface Layers MPSL. – Sumy (Ukraine). – 1993. – P. 90.
  10. Шулаев В.М., Андреев А.А. Высокотвердые наноструктурные Мо-N покрытия // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета.– 2006.– Вып. 33.– С.57– 59
  11. Бакай А.С., Слепцов С.Н., Жуков А.И. Радиационно-диффузионная модель уплотнения пленок, осаждаемых из ионно-атомных потоков. // Металлофизика и новейшие технологии. – 1995.– Т. 17, № 9.– С. 42– 51.
  12. Андреев А.А., Саблев В.П., Шулаев В.М., Григорьев С.Н. Вакуумно-дуговые устройства и покрытия.– Харьков: ННЦ "ХФТИ", 2005. – 235 с.
  13. Perry A.J., Baouchi A.W., Peterson J.H., Posder S.D. Crystal structure of molybdenum nitride films made by reactive cathodic arc evaporation // Surface and Coating Technology.– 1992.– v.54/ 55.– P. 261– 265.
  14. Андреев А.А., Булатова Л.В., Булатов А.С., Кострица Т.В., Романов А.А. Структура высокотвердых покрытий на основе молибдена, полученных при конденсации плазмы вакуумно-дугового разряда // МиТОМ.– 1981.– №5.– С.33– 35.
  15. Табаков В.П., Смирнов М.Ю., Циркин А.В. Разработка многослойных покрытий для условий прерывистого резания // Резание и инструмент в технологических системах. – 2005. – № 69. – С. 301– 310.
  16. Мацевитый В.М., Полянин Б.А., Береснев В.М., Удовенко Е.С. Нанесение бронзового покрытия методом вакуумно-плазменной конденсации // Авиационная промышленность.– 1985.– № 8.– С. 60.
  17. Береснев В.М. Вакуумно-дуговые многослойные покрытия // Физическая инженерия поверхности.– 2005.– Т.3, №1– 2.– С.79– 81.
  18. He J.L., Sethuhara Y., Shimuzu I., Miyake S. Structure refinement and hard-ness encancement of titanium films addition of copper // Surface and Coatings Tecnology.– 2001.–V.137.– P. 38– 42.
  19. Евдокимов И.Н. Влияние неравновесных фазовых переходов в твердых телах на процессы, вызываемые ионной бомбардировкой // Поверхность.– Серия "Физика, химия, механика".– 1989.– Т.10.– С. 5–18.
  20. Самсонов Г.В., Прядко И.Ф., Прядко Л.Ф. Конфигурационная модель вещества. – К.: Наукова думка, 1971. – 230 с.

**МІКРО-НАНОШАРОВІ ПОКРИТТЯ  
СФОРМОВАНІ МЕТОДОМ ВАКУУМНО-  
ДУГОВОГО ОСАЖДЕННЯ З  
ВИКОРИСТАННЯМ ВЧ-РОЗРЯДУ**

**В.М. Береснев, В.Т. Толок, О.М. Швець,  
О.В. Фурсова, М.М. Чернишов,  
Л.В. Маліков**

Доведено можливість формування шарових покриттів TiN/Mo, TiN/БрАЖ9-4 методом вакуумно-дугового осадження з використанням ВЧ-розряду, для очищення плазмового потоку від мікрочастинок. На основі розрахунків швидкості осадження (товщини) визначені технологічні параметри, які дозволяють формувати нанощарові структури. Установлено закономірності зміни фаза-структурного складу, микротвердості отриманих покриттів від тиску, прискорюваного потенціалу напруги, який подається на підкладинку. Вивчено триботехнічні характеристики покриттів у порівнянні з покриттям TiN. Результати триботехнічних випробувань свідчать, що нанощарові покриття TiN/Mo, TiN/БрАЖ9-4 за своїми експлуатаційними показниками суттєво перевищують покриття TiN.

**MICKRO-NANOLAYER COVERINGS  
PRODUCED BY THE METHOD  
VACUUM-ARC DEPOSITION  
FROM USE THE HF-DISCHARGE**

**V.M. Beresnev, V.T. Tolok, O.M. Shvets,  
E.V. Fursova, N.N. Chernyshov, L.V. Malikov**

The opportunity of formation of layered coverings TiN/Mo, TiN/БрАЖ9-4, by a method of vacuum-arc sedimentation with use HF of the discharge, for clearing a plasma stream of microparticles is shown. On the basis of calculations speed (thickness) the technological parameters are determined, allowing to form nanolayers structures. Laws of change phase-structural structure, microhardness of received coverings from the pressure, the accelerating potential of a substrate are established. Shown, that a study flowing of friction characteristics of coverings in comparison with covering TiN. Results friction tests testify, that nanolayer coverings TiN/Mo, TiN/БрАЖ9-4 on the operational parameters essentially exceed covering TiN.