

ФОРМИРОВАНИЕ НАНОКОМПОЗИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННЫМ МЕТОДОМ

¹ *Физико-технический институт НАН Беларуси,*
² *БНТУ, Минск*

Современные знания о природе прочности материалов показывают, что структурно-фазовое состояние тонкого поверхностного слоя имеет значительное влияние на износ и разрушение материалов. Следует также отметить, что все чаще условия эксплуатации современной техники и режущего инструмента близки к экстремальным. Учитывая вышесказанное, наиболее актуальными задачами в области инженерии поверхности являются разработка новых методов модификации поверхности и новых классов покрытий – наноструктурных. Механические свойства нанокристаллических материалов определяются малыми размерами их зерен и высокой объемной долей, занимаемой границами зерен, которые ограничивают движение дислокаций и активируют новые механизмы пластической деформации и разрушения.

Одной из наиболее перспективных технологий формирования наноструктурных покрытий является вакуумно-плазменная, в частности метод конденсации покрытий из плазменной фазы в вакууме с ионной бомбардировкой поверхности (метод КИБ). Технология вакуумно-плазменного осаждения позволяет получать многокомпонентные нанокристаллические покрытия из тугоплавких соединений с гораздо более мелким зерном, чем в случае других альтернативных нанотехнологий (компактирования из ультрадисперсных порошков, кристаллизация из аморфной фазы, интенсивная пластическая деформация и т.п.).

В настоящее время существуют два основных метода ограничения роста кристаллитов в покрытиях: введение в состав

растущего конденсата легирующих элементов и формирование многослойных двухфазных наноструктур. Введение в состав простых металлических нитридов дополнительных элементов позволяет модифицировать их структуру и способствует повышению механических и трибологических свойств покрытий. В частности к таким покрытиям относятся многокомпонентные на основе нитридов титана [3–5].

В последнее время проводится большое количество теоретических и экспериментальных исследований свойств многокомпонентных наноструктурных покрытий. Результаты исследований свидетельствуют, что данные покрытия превосходят по свойствам нитрид титановые покрытия [6–8].

Исследования влияния технологических параметров процесса осаждения на структуру и механические свойства таких покрытий являются весьма актуальными.

В данной работе проводилось исследование физико-механических свойств вакуумно-плазменных многокомпонентных покрытий на основе TiN, легированного Al, Cr, Cu с целью определения оптимальной концентрации легирующей компоненты, обеспечивающей повышение физико-механических свойств покрытий.

Процесс формирования покрытий осуществлялся с использованием установки модели УРМ 3.279.048 предназначенной для нанесения износостойких, упрочняющих и декоративных покрытий методом электродугового напыления. Данная установка оснащена спроектированным и разработанным в лаборатории вакуумно-плазменных покрытий Физико-технического института сепаратором макрочастиц (рисунок 1, 2).

Разработанная система позволяет не только существенно снизить содержание макрочастиц в плазменном потоке, но также осаждают многокомпонентные и многослойные покрытия.

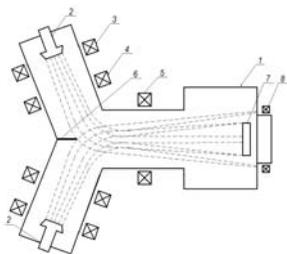


Рисунок 1 – Схема формирования вакуумно-плазменных покрытий

В настоящей работе для получения многокомпонентных покрытий были использованы катоды из титана, алюминия, хрома, меди, реакционный газ – азот. Изменение фазового состава покрытий обеспечивалось изменением тока дугового разряда на дополнительном катоде (алюминиевом, титановом, медном). Рентгеноструктурный и рентгенофазовый анализ покрытий проводился с помощью дифрактометра ДРОН-3 в фильтрованном Cu-K_α излучении. Поверхность и структура пленок исследовалась на растровом электронном микроскопе РЭМ S-4800 Hitachi. Состав покрытий определялся электронным микросондом EPMA. Микротвердость покрытий измеряли нанотвердомером Dugamín при нагрузке 25 г. Для определения шероховатости покрытий использовался профилометр 296-ой модели.

Как показали оптические исследования структуры и морфологии осажденных покрытий, использование сепарирующей системы позволило осаждать покрытия без макрочастиц, что указывает на эффективную работу сепарирующего устройства. Шероховатость покрытий в зависимости от элементного состава составляла 0,15-0,25 мкм.

Исследование влияния технологических параметров на структурно-механические характеристики осаждаемых покрытий позволило установить корреляционные зависимости размера зерна и микротвердости от элементного состава материала покрытия (таблица).

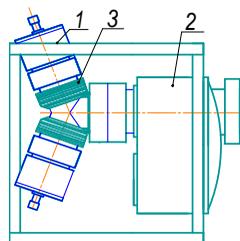


Рисунок 2 – Схема расположения сепаратора для двухкатодного распыления

Таблица – Структурные и механические характеристики многокомпонентных покрытий

Покрытие	$I, \text{Å}$ титанового катода	$P \cdot 10^{-2},$ Па	$I, \text{Å}$ дополнительного катода	Процентное содержание элемента		$d,$ нм	$L,$ нм	$H,$ ГПа
				Ti	легирующий элемент			
Ti-Al-N	55	0,6	40	88,4	11,6	0,421	10	36
			50	84,1	15,9	0,419	12	37
			60	49,8	50,2	0,419	15	28
			70	34,6	65,4	0,418	28	20
Ti-Cr-N	55	0,6	50	82,0	18,0	0,423	19	30
			60	74,1	25,9	0,423	17	34
			70	53,5	46,5	0,422	21	37
			80	43,5	56,5	0,421	19	38
TiN/Cu	55	0,6	40	98,5	1,5	0,426	21,5	42
			50	98,0	2,0	0,425	22	40
			60	85,0	15,0	0,425	76	17

Согласно анализу полученных результатов, уменьшение параметра решетки для (Ti,Al)N и (Ti,Cr)N обусловлено процессами замещения в кубической решетке атомов титана меньшими по размеру атомам алюминия или хрома соответственно.

Для покрытий системы TiN/Cu повышения параметра решетки по сравнению с TiN обусловлены, по-видимому, высоким уровнем сжимающих напряжений.

Также четко просматривается зависимость микротвердости покрытий от размера зерна. Установлено, что уменьшение размера зерна до 10-22 нм повышает микротвердость формируемых покрытий до 35-42 ГПа, что согласуется с работами других исследователей [9, 10]. Как видно из полученных результатов, легирование покрытий на основе TiN позволяет существенно изменить механические характеристики покрытий, обеспечивая повышение эксплуатационных свойств изделий с покрытиями. Однако выбирая состав материала защитного слоя, всегда необходимо учитывать условия работы изделия с покрытием, тем самым повышая эффективность его использования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gleiter, H. Nanostructured materials: basic concepts and microstructure / H. Gleiter // *Acta mater.* – 2000. – V. 48. – P. 1-29.
2. Овидько, И.А. Зернограничное проскальзывание и зарождение нанотрещин вблизи вершин трещин в нанокристаллических металлах и керамиках / И.А. Овидько, А.Г. Шейнерман // *Материалы физики и механики.* – 2010. – № 10. – С. 37-46.
3. Коваль, Н.Н. Структура и свойства нанокристаллических покрытий Ti-Si-N, синтезированных в вакууме электродуговым методом / Н.Н. Коваль [и др.] // *Известия ВУЗов. Физика.* – 2007. – № 2. – С. 46-51.
4. Musil J. Morphology and Microstructure of Hard and Superhard Zr-Cu-N Nanocomposite Coatings / J. Musil, J. Vlcek, P. Zeman, Y. Setsuhara, S. Miyake, S. Konuma, M. Kumagai, C. Mitterer // *Japan. J. Appl. Phys.* – 2002. – V. 41. – P. 6529-6533.
5. Латушкина, С.Д. Нанокompозитные покрытия (Ti,Al)N, осажденные из сепарированной вакуумно-дуговой плазмы / С.Д. Латушкина [и др.] // *Вести НАН Беларуси.* – № 3, 2012. – С. 39-43.
6. Васильев, В. Структура и твердость Ti-N и Ti-Si-N

покрытий, осажденных из фильтрованной вакуумно-дуговой плазмы / В. Васильев [и др.] // Вопросы атомной науки и техники. – 2009. – № 2. – С. 173-180.

7. Береснев, В.М. Многокомпонентные и многослойные вакуумно-дуговые покрытия для режущего инструмента / В.М. Береснев, М.Ю. Копейкина, С.А. Клименко // Вопросы атомной науки и техники. – 2008. – № 1. – С. 152-158.

8. Андреев, А.А. Вакуумно-дуговые устройства и покрытия / А.А. Андреев, В.П. Саблев, В.М. Шулаев. – Харьков: «ННЦ «ХФТИ»», 2005. – 235 с.

9. Коротаев, А.Д. Наноструктурные и нанокompозитные сверхтвердые покрытия / А.Д. Коротаев [и др.] // Физическая мезомеханика. – 2005. – № 5. – С.103-116.

10. Волосова, М.А. Технологические принципы осаждения износостойких нанопокpытий для применения в инструментальном производстве / М.А. Волосова, С.Н. Григорьев // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2010. – № 6. – С. 37-42.

УДК 666.3-022.532-026.564.3+661.862'022

Петюшик Е.Е., Афанасьева Н.А., Дробыш А.А.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НАНОСТРУКТУРНОЙ КЕРАМИКИ

БНТУ, Минск

Для изучения комплекса структурных и каркасных характеристик наноструктурной керамики (НСК), полученной методом гидратационного твердения дисперсного алюминия марки ПАП-2, с бипористой структурой были использованы стандартные методики, используемые в каталитическом материаловедении и порошковой металлургии.

В результате исследования процесса твердения ПАП-2 установлено, что сформированная наноструктурная керамика (НСК) имеет бипористую структуру и состоит из соединенных