

характеризуется высокой производительностью, но имеет существенный недостаток – низкий коэффициент использования испаряемого материала; применение способа ионного осаждения, позволяющего получать покрытия с высокой степенью износостойкости, ограничено трудностью стабилизации плазмы разряда, а также же сложностью оборудования, связанной с необходимостью использования инертных газов.

УДК 621.793

Латушкина С.Д., Жижченко А.Г., Комаровская В.М.

## **МНОГОКОМПОНЕНТНЫЕ ИЗНОСОСТОЙКИЕ ПОКРЫТИЯ**

*ФТИ НАН Беларуси, Минск*

В современных отраслях промышленности требования к сроку службы и эксплуатационным характеристикам изделий постоянно возрастают, что стимулирует усовершенствование методов модификации поверхности. Перспективным направлением является метод электродугового осаждения покрытий, который позволяет формировать на поверхности изделий многокомпонентные защитные покрытия с высокими физико-механическими свойствами. Основным фактором, ограничивающим возможность использования рассматриваемой технологии, является наличие в плазменном потоке капельной фракции, ухудшающей структуру и эксплуатационные характеристики осаждаемых покрытий. Необходимость осаждения высококачественных покрытий с широким диапазоном свойств обуславливает усовершенствование способов снижения гетерофазности плазменного потока, что особенно актуально при формировании многокомпонентных покрытий на основе нитрида титана.

На основе научных и экспериментальных исследований в лаборатории вакуумно-плазменных покрытий Физико-технического института НАН Беларуси разработан способ вакуумно-плазменного формирования многокомпонентных покрытий при двухкатодном распылении с использованием сепарированных плазменных потоков.

Исследование морфологии многокомпонентных покрытий (Ti,Al)N, (Ti,Zr)N и TiN-Cu показало значительное уменьшение в них различного типа структурных дефектов, что свидетельствует об эффективности предложенной сепарирующей системы. Установлено, что эффективность массопереноса зависит от тока дугового разряда и составляет 8–12% в зависимости от состава покрытий (таблица). Показано, что использование Y-образного фильтра макрочастиц позволило снизить дефектность покрытий (Ti,Al)N в 8,5 раза, TiN-Cu в 6,2 раз и (Ti,Zr)N в 4,3 раза.

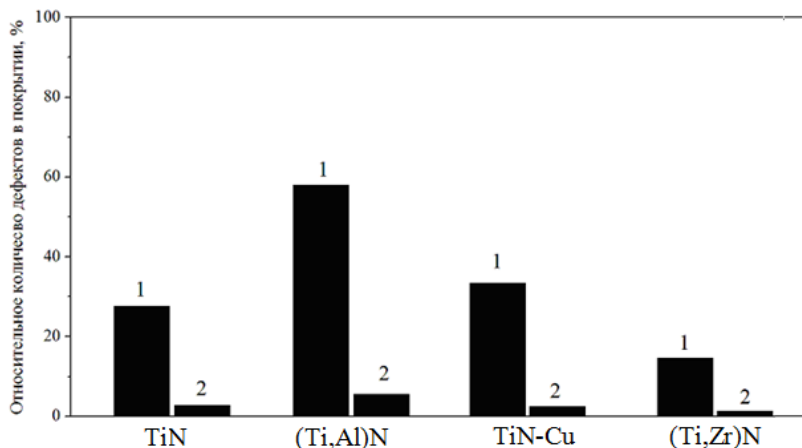
Эффективность пропускной способности плазмооптического  
фильтра

Покрытие	$I_{Ti}$ , А	$I_{лег.}$ , А	Масса покрытия, мг		Эффективность массопереноса, %
			на входе сепаратора	на выходе сепаратора	
TiN-Cu	60	40	16,2	1,5	9,3
		60	18,4	1,8	9,8
		80	21,3	2,2	10,3
(Ti,Al)N		40	14,7	1,2	8,2
		60	16,9	1,3	7,7
		80	18,5	1,5	8,1
(Ti,Zr)N		40	17,7	2,1	11,9
		60	20,8	2,5	12,0
		80	23,1	2,8	12,1

Установлены особенности распределения плазмообразующих материалов (титан, алюминий, медь, цирконий) по пространству вакуумной камеры в процессе осаждения и определено, что для обеспечения стабильности элементного состава по объему осаждаемых покрытий оптимальным значением тока на дополнительном соленоиде является 1 А для покрытий (Ti,Al)N и TiN-Cu, в то время как для (Ti,Zr)N эта величина составляет 3 А. Использование Y-образного плазмооптического фильтра макрочастиц для осаждения многокомпонентных покрытий позволило снизить дефектность многокомпонентных покрытий: (Ti,Al)N в 8,5 раза, TiN-Cu в 6,2 раз и (Ti,Zr)N в 4,3 раза и осадить многокомпонентные покрытия с низкой шероховатостью (0,1–0,2 мкм) и мелкозернистой структурой (рисунок 1).

В результате трибологических испытаний зарегистрировано снижение значений коэффициента сухого трения для многокомпонентных покрытий различного состава по сравнению с покрытиями TiN (рисунок 2).

Согласно полученным результатам, осаждение покрытий улучшает фрикционные характеристики твердого сплава. Минимальный коэффициент трения (0,3) получен для покрытий, содержащих в качестве легирующего элемента медь.



Без использования (1) и с использованием (2) сепарирующей системы

Рисунок 1 – Диаграмма распределения дефектов в покрытиях различного элементного состава:

( $I_{Ti} = 60$  А,  $I_{Al} = 60$  А,  $I_{Zr} = 60$  А,  $I_{Cu} = 60$  А)

Использование сепарирующей системы при осаждении многокомпонентных покрытий позволит решить следующие задачи: равномерное легирование покрытия по всему объему; осаждение покрытий высокой плотности, низкой шероховатости поверхности и однородной структуры при обеспечении прочной адгезии в системе основа-покрытие.

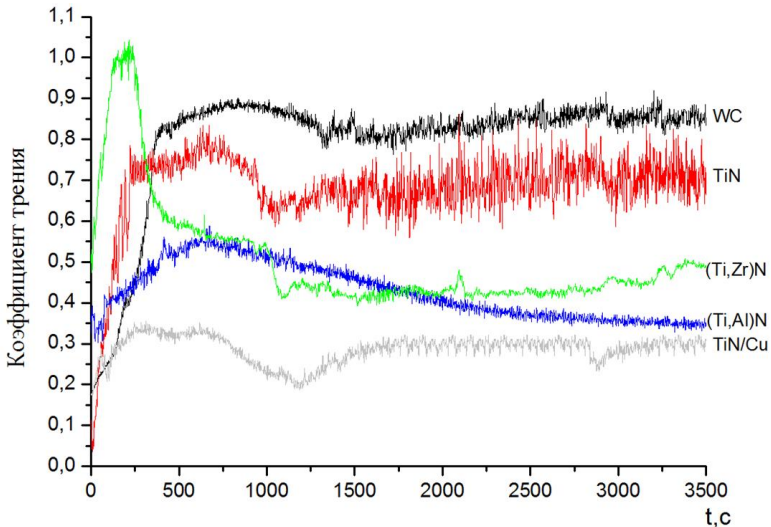


Рисунок 2 – Зависимость величины коэффициента трения от состава многокомпонентного вакуумно-дугового покрытия

УДК 621.793

Терещук О.И., Комаровская В.М.,  
Латушкина С.Д., Гладкий В.Ю.

## **АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СПОСОБОВ МИНИМИЗАЦИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СТЕКЛА**

*БНТУ, Минск*

Изделия из стекла заняли прочное место во многих сферах деятельности человека: волоконнооптические линии связи, кабели которого изготовлены из высокопрозрачного и высокопрочного кварцевого стекла; дисплеи смартфоном, планшетов, телевизоров, при изготовлении которых требуются высокие показатели микротвердости; диски для записи и хранения информации и др.

Расширяющееся практическое использование упрочненных стекол определяет необходимость непрерывного совершенствования