

МНОГОКОМПОНЕНТНЫЕ ПОКРЫТИЯ TiN/Cu, СФОРМИРОВАННЫЕ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ

**А. В. Белый, С. Д. Латушкина, О. И. Посылкина, А. Г. Артемчик,
И. А. Сечко**

Физико-технический институт НАН Беларуси
г. Минск, Республика Беларусь

Введение

Метод магнетронного распыления позволяет получать тонкопленочные покрытия с помощью катодного распыления материала в плазме аномально тлеющего разряда [1,2]. Одной из последних тенденций развития метода магнетронного распыления является использование для нанесения многокомпонентных покрытий композиционных мишеней [3]. Разновидностью таких мишеней являются «мозаичные мишени», которые состоят из матрицы одного металла со вставками других металлов, расположенными в зоне распыления магнетрона. Это дает возможность получать с помощью одного магнетрона многокомпонентные покрытия с различным содержанием элементов.

Однако процесс распыления составных мишеней представляет собой сложный и нелинейный процесс, что может вызывать изменение стехиометрического состава наносимых покрытий по отношению к составу мишени при изменении технологических параметров осаждения. Анализ показывает, что это может быть связано с рядом факторов [4]:

– изменение свойств поверхности многокомпонентной мишени под действием ионной бомбардировки из-за различия коэффициентов распыления входящих в ее состав материалов и диффузии компонентов из объема к поверхностному измененному слою;

– селективным рассеянием распыленных атомов рабочим газом.

Известно, что добавление легирующих элементов (Al, Cu, Cr, В) в покрытия на основе нитрида титана позволяет значительно улучшить их физико-механические свойства [5]. Так применение меди в качестве такого компонента повышает твердость, а также уменьшает модуль упругости и коэффициент трения получаемого покрытия [5]. Цель настоящей работы – изучить процесс формирования покрытий TiN/Cu методом реактивного магнетронного распыления с использованием составной мишени Ti-Cu.

Методика эксперимента

Покрытия были получены с использованием системы магнетронного распыления несбалансированного типа на модернизированной установке ВУ-1А при остаточном давлении атмосферы 10–3 Па. Предварительная очистка образцов проводилась при потенциале смещения $U = 1000$ В в среде аргона в течение $t = 600$ с. Для распыления использовалась составная мишень Ti-Cu. Осаждение металлических покрытий проводилось на образцы из стали Р6М5 и 12Х18Н10Т. Формиро-

вание покрытий проводилось при силе тока на магнетроне от 1 до 4 А, время осаждения слоя составляло 30 мин., поток азота и аргона в камеру составляли 0,6 л/ч и 2,5 л/ч соответственно.

Рентгеноструктурный анализ покрытий проводился на рентгеновском дифрактометре POWDIX 600 в монохроматизированном $\text{CoK}\alpha$ излучении, при напряжении 30 кВ и анодном токе 10 мА. Съёмки осуществлялись в непрерывном режиме со скоростью 0,01 град/с. Для расшифровки фазового состава использовалась картотека PDF-2. При обработке данных рентгеноструктурного анализа использовались программы автоматизированного программного комплекса «Crystallographica Search-Match» и «High Score Plus Demo».

Элементный состав покрытий TiN/Cu определяли электронным микронзондом JEOL JXA 8500-F. Трибологические испытания проводили на трибометре JLTB-02 (J&L Tech Co., Корея), работающем по схеме «шар – диск». Материал шарика сталь ШХ 15, твердость 58...63 HRC, нагрузка на шарик 1 Н, скорость вращения диска 380 об/мин, время испытаний 60 мин. Для сравнительных испытаний по определению коррозионной стойкости сформированных покрытий проводились электрохимические исследования при комнатной температуре в 3 %-ном водном растворе NaCl с использованием потенциостата Multi Autolab M 204.

Результаты исследования и их обсуждение

Известно, что в несбалансированном магнетроне незамкнутые линии магнитного поля с периферии катода направлены к подложке. Поэтому из плазмы могут извлекаться ионные токи значительной плотности даже без внешнего смещения подложки. Такие несбалансированные магнетроны имеют большой потенциал для формирования слоев с улучшенными физико-механическими характеристиками [2].

При осаждении покрытий методом магнетронного распыления важным технологическим параметром является сила тока, подаваемого на мишень несбалансированного магнетрона. Исходя из различий в характеристиках элементов (таблица 1), можно предположить, что технологические параметры осаждения будут влиять на массоперенос элементов из мишени в покрытие.

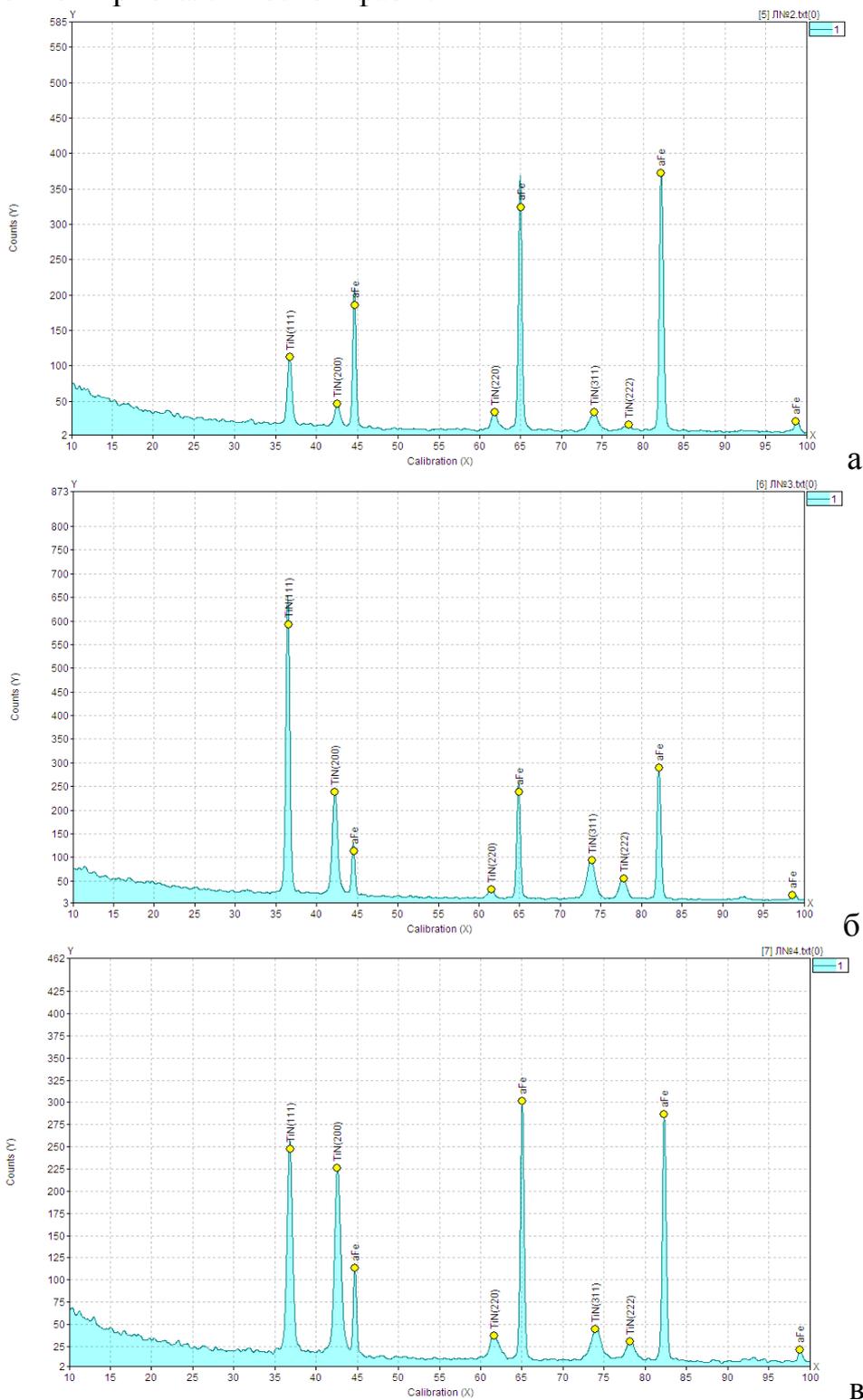
Таблица 1 – Свойства атомов титана и меди

Элемент	Масса атома, а.е.м.	Энергия ионизации, эВ	Коэффициент распыления
Титан (Ti)	47,867	6,8282	0,53
Медь (Cu)	63,546	7,7264	1,16

Эксперименты показали, что с увеличением силы тока на магнетроне и, как следствие, с изменением условий распыления, наблюдается уменьшение содержания меди в составе пленки от 7,50 % до 2,13 %.

По результатам рентгеноструктурного анализа в составе покрытий системы Ti-Cu-N наблюдаются только рефлексы от фазы нитрида титана (кубическая решетка) с параметрами кристаллической решетки $a = 0,4247 - 0,4263$ нм и размером ОКР 3,11 – 3,63 нм (рисунок 1). Это свидетельствует о том, что, не смот-

ря на наличие меди в составе покрытия (что подтверждает элементный анализ), она не образует соединений с титаном и азотом. Можно предположить, что атомы Си располагаются на границах зерен TiN в аморфном состоянии без образования собственной кристаллической фазы.



а – 2А, б – 3А, в – 4А

Рисунок 1 – Рентгеновские дифрактограммы покрытий системы Ti-Cu-N (подложка 12X18H10T), сформированных при различных значениях тока магнетрона

Фрикционные испытания показали, что наименьшая сила трения наблюдалась для покрытий TiN/Cu, осажденных при токе магнетрона 4 А (рисунок 2). В этом случае содержание меди в покрытии минимально. По-видимому, существенное влияние в этом случае оказывают как структура сформированного слоя, так и шероховатость его поверхности.

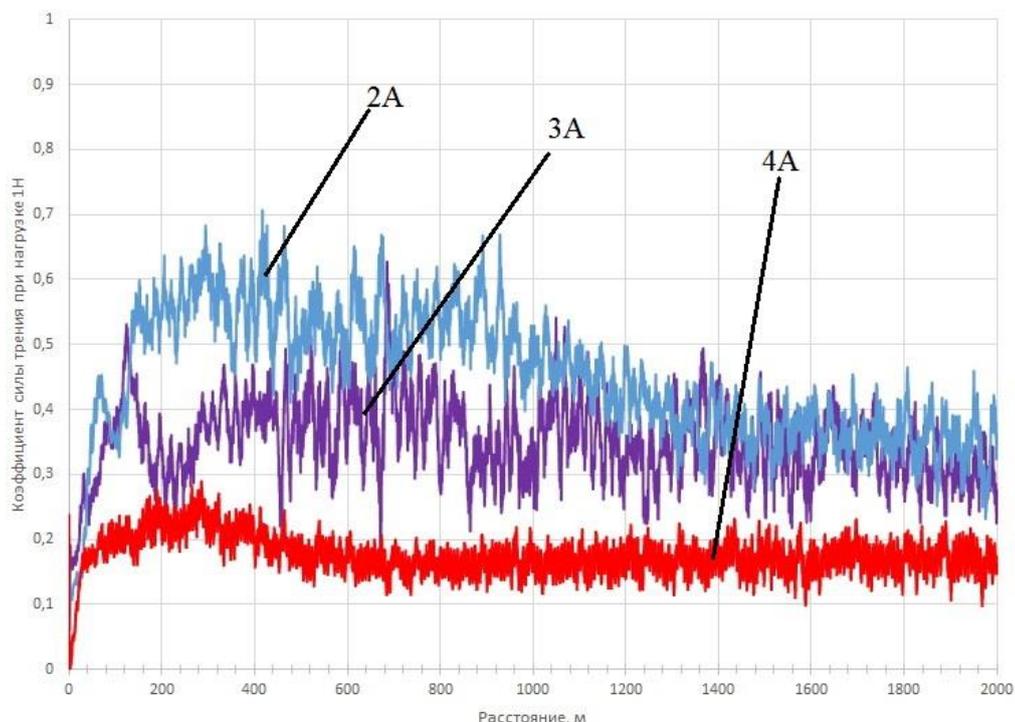


Рисунок 2 – Коэффициенты трения покрытий TiN/Cu (подложка Р6М5) при различных значениях тока магнетрона

Коррозионная стойкость пленок оценивались по значениям основных электрохимических характеристик (потенциала коррозии ($E_{корр}$), плотности тока коррозии ($I_{корр}$) (таблица 2).

Таблица 2 – Электрохимические характеристики покрытий TiN/Cu (подложка 12X18H10T)

Вид покрытия	Ток магнетрона, А	Элементный состав покрытия			Электрохимические характеристики		
		Ti, ат. %	Cu, ат. %	N, ат. %	$E_{ст}$	$E_{корр}$	$I_{корр} \cdot 10^{-7}$
TiN/Cu	1	33,11	7,50	59,39	-252	-88	2,68
	2	45,49	3,93	50,58	+29	-38	2,62
	3	47,22	3,51	49,27	+34	-25	1,51
	4	50,52	2,13	47,35	+432	+188	0,39

По результатам поляризационных измерений установлено, что покрытия с наименьшим содержанием меди имели наибольший стационарный потенциал и потенциал коррозии, а также минимальный ток коррозии, что свидетельствует о хорошей стойкости покрытий к коррозионному разрушению.

Выводы

Анализ результатов исследования показал, что введение в состав покрытия меди в количестве 2–3 атм. % оказывает существенное влияние на его коррозионную стойкость и фрикционные свойства. Введение Cu в состав покрытия TiN позволяет добиться измельчения зерна, что в результате эффекта зернограничного упрочнения приводит к уменьшению коэффициента трения, а также улучшает антикоррозионные свойства покрытия за счет формирования наноразмерной структуры.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Достанко, А. П. Плазменные процессы в производстве изделий электронной техники. / А. П. Достанко [и др.] // под общ. ред. А. П. Достанко. – Мн. : ФУАинформ. – 2001. Том 2. – С. 453.
2. Берлин, Е. В. Получение тонких плёнок реактивным магнетронным распылением / Е. В. Берлин, Л. А. Сейдман. – М. : Техносфера, 2014. – 255 с.
3. Технологические особенности формирования покрытий Ti-Cr-B-N методом магнетронного распыления на постоянном токе / С. Д. Латушкина [и др.] // Литье и металлургия – 2019. – № 1. – С. 112–118.
4. Raven, M. S. Radio frequency sputtering and the deposition of high-temperature superconductors / M. S. Raven // J. Material science: Materials in electronics. – 1994. – Vol. 5. – P. 129–146.
5. Формирование износостойких наноразмерных покрытий TiN/Cu / С. Д. Латушкина [и др.] // Трение и износ. – 2016. – Т. 37.– № 1. – С. 36–41.

УДК 621.91

СТОЙКОСТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ СВЕРХТВЁРДЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ cBN ДЛЯ ТОЧЕНИЯ ЗАКАЛЁННЫХ СТАЛЕЙ ТИПА СТАЛИ 45

Мартиновская О.В., Горбунов В.П.

Брестский государственный технический университет,
Республика Беларусь

Одной из причин сдерживающих широкое применение лезвийной обработки закалённых сталей инструментом оснащённым вставками из материалов на основе кубического нитрида бора (cBN), является достаточно узкий диапазон скоростей резания, соответствующий эффективной работе инструмента из сверхтвёрдых материалов [1]. Ошибочно принятая скорость резания приводит к интенсивному изнашиванию режущих кромок, что делает нецелесообразным использование дорогостоящего инструмента. Выявление диапазона наилучших скоростей обработки для конкретного материала режущего инструмента позволяет достичь стойкости инструмента, которая делает выгодным отказ от шли-