

Трибологические свойства градиентных покрытий Ti-Cr-N

В.М.Анищик¹⁾, С.В.Злоцкий¹⁾, Р. Konarski²⁾, Cz. Kiliszek²⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, 220050, г. Минск, пр. Ф. Скорины, 4. Тел. (017) 209-55-12, факс (017) 209-55-12, e-mail: uglov@bsu.by

²⁾Industrial Institute of Electronics, 00-241, Poland, Warszawa, 44/50 Długa St. Tel. (+48 22) 831-52-21 ext. 285, fax (+48 22) 831-21-60, e-mail: pkonarsk@warman.com.pl

Работа посвящена изучению трибологических свойств и элементного состава градиентных покрытий Ti-Cr-N. Сформированные при совмещении плазменных потоков методом КИБ покрытия представляют собой градиентные системы Ti-Cr-N, Ti-N и Cr-N с переменной концентрацией Ti и Cr по глубине. Установлены основные закономерности влияния элементного состава и градиентной структуры на трибологические свойства покрытий.

Введение

Тройные покрытия на основе переходных металлов в настоящее время вызывают большой интерес для получения структур с различными механическими свойствами. Разнообразие процессов кристаллизации и возможность изменения элементного и фазового состава по толщине растущего слоя при использовании физических методов осаждения позволяет получить оптимальные характеристики защитных покрытий: высокую твердость, износ- и коррозионную стойкость [1]. К наиболее износостойким следует отнести тройные нитридные системы на основе Cr, такие как (Ti,Cr)N [2], (Cr,Al)N [3] и (Cr,Ta)N [4], в связи с хорошей износостойкостью нитрида хрома. Однако непосредственное напыление стехиометрических составов соответствующих нитридов на поверхность подложки уменьшает адгезионную прочность благодаря их высокой хрупкости и сжимающим напряжениям [5]. Переход от тройных нитридных систем с постоянным составом к системам с переменной концентрацией элементов, как на межфазной границе, так и внутри покрытия представляют интерес в связи со значительным улучшением адгезионных и трибологических свойств [6]. Покрытия переменного состава, в которых концентрация основных элементов изменяется (возрастает или убывает) с глубиной, получили название градиентных покрытий [5,6,7].

В связи с этим целью данной работы является исследование элементного состава и трибологических свойств градиентных покрытий Ti-Cr-N, сформированных при совмещении плазменных потоков различной плотности.

Методика эксперимента

Градиентные покрытия синтезировались методом конденсации из плазменной фазы в вакууме с ионной бомбардировкой поверхностей образцов (КИБ) [8] при совмещении плазменных потоков титана и хрома в остаточной атмосфере азота. В качестве подложки использовалась углеродистая сталь У8А (0,8 вес.% С, 0,5 вес.% Si, 0,23 вес.% Mn, 0,15 вес.% Cr). Перед осаждением поверхность подложек обрабатывалась ионами Cr в течение одной минуты при отрицательном потенциале подложки 1 кВ, токе горения дуги хромового катода 100 А и давлении в камере 10^{-3} Па. Градиентные покрытия Ti-Cr-N, Ti-N и Cr-N

формировали при изменении токов горения дуги хромового и титанового катодов, постоянном давлении газа азота в вакуумной камере 10^{-1} Па и опорном напряжении – 120 В. Толщина сформированных покрытий составила около 0,8 мкм.

Элементный состав градиентных покрытий определялся методом вторично ионной масс-спектропии (ВИМС). Расчет распределения элементов в покрытиях осуществлялся по концентрационным профилям, полученным с использованием масс-спектрометра SAJW-05. Энергия первичного пучка ионов аргона составляла 5 кВ.

Трибологические испытания по методу "индентор-поверхность" проводились на трибометре ТАУ-1М в условиях сухого трения. Скорость движения столика с образцом составляла 4 мм/с, закругленный индентор с радиусом закругления 0,5 мм был выполнен из твердого сплава BK8 (состав: 92% WC, 8% Co, твердость 87,5 HRC), нагрузка при испытаниях составляла 1Н. Исследование характера треков с помощью оптического микроскопа позволяло качественно характеризовать степень и механизм износа.

Результаты и обсуждение

Данные ВИМС свидетельствуют о формировании градиентных по составу покрытий Ti-Cr-N, Ti-N и Cr-N. На рис.1 показана зависимость ионного тока Ti^+ , Cr^+ , N^+ и Fe^+ от глубины. Как видно, с увеличением глубины проникновения происхо-

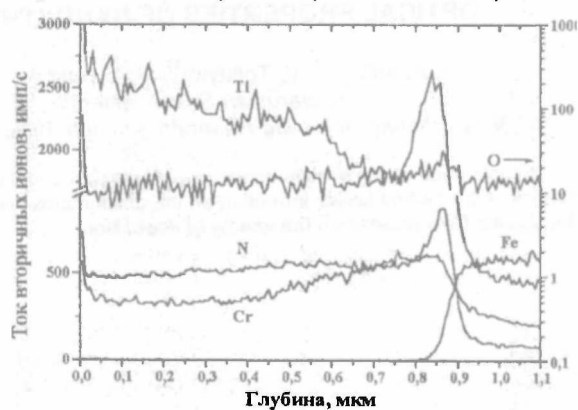


Рис.1. Изменение токов вторичных ионов Ti^+ , Cr^+ , N^+ и Fe^+ с глубиной

дит уменьшение титанового и повышение хромо-
вого тока вторичных ионов (ТВИ). При этом ТВИ
азота остается постоянным. Это свидетельствует
о том, что в формируемой градиентной системе
Ti-Cr-N с ростом толщины покрытия концентрация
титана возрастает, а хрома падает. При чем кон-
центрация азота остается постоянной.

На границе покрытие-подложка наблюдается
повышение тока ионов титана и хрома (рис. 1).
Повышение тока вторичных ионов Cr^+ свидетель-
ствует о формировании переходного хромо-
вого слоя. А рост ТВИ титана обусловлен более высо-
ким значением коэффициента вторичной эмиссии
атомов Ti^+ . Повышение эмиссии ионов титана
связано с увеличением концентрации оксида ти-
тана [9], который формируется на начальном эта-
пе осаждения покрытия. Повышение concentra-
ции ионов O на границе подложки представлено
на рис. 1 в виде небольшого увеличения тока
вторичных ионов кислорода.

На рис.2. представлена зависимость коэффи-
циента трения для покрытий градиентных и по-
стоянного состава от числа циклов трения.

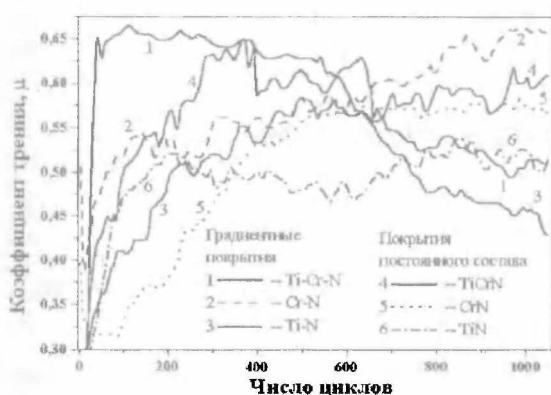


Рис.2. Коэффициент трения градиентных покрытий и покрытий постоянного состава

Коэффициент трения (μ) для градиентных по-
крытий изменяется при увеличении числа циклов
трения, что говорит о формировании неоднород-
ной по глубине структуры покрытий. Причем для
двойных градиентных систем Ti-N и Cr-N при уве-
личении числа циклов трения происходит рост μ ,
который для Ti-N он достигает максимума (0,70),
а затем уменьшается до 0,43. Коэффициент тре-
ния для Cr-N продолжает расти и достигает 0,66.
В тоже время μ для тройной градиентной систе-
мы Ti-Cr-N изначально показывает высокое зна-
чение (около 0,65), а в процессе испытания
уменьшается до 0,51.

Для покрытий постоянного состава коэффи-
циент трения покрытия TiCrN превышает значе-
ния для нитридов титана и хрома (0,60 и 0,52,
0,57, соответственно).

На рис.3-5 представлены треки износа гради-
ентных покрытий Ti-Cr-N, Cr-N и Ti-N.

Треки износа покрытия Ti-Cr-N и Ti-N гладкие
без сильных царапин, причем ширина трека для
двойной нитридной системы больше, чем для
тройной. При этом, для градиентного покрытия
Cr-N наблюдаются два трека износа: широкий

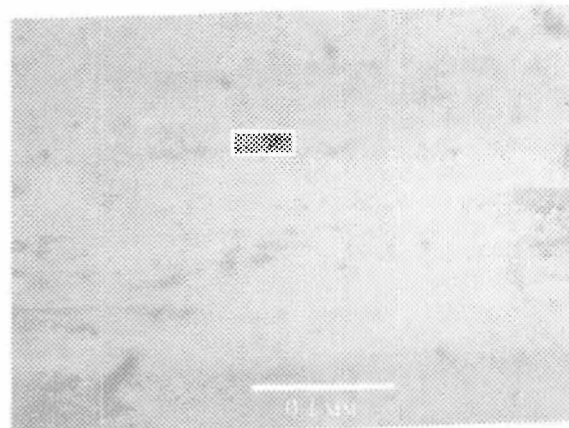


Рис.3. Трек износа в градиентном покрытии Ti-Cr-N

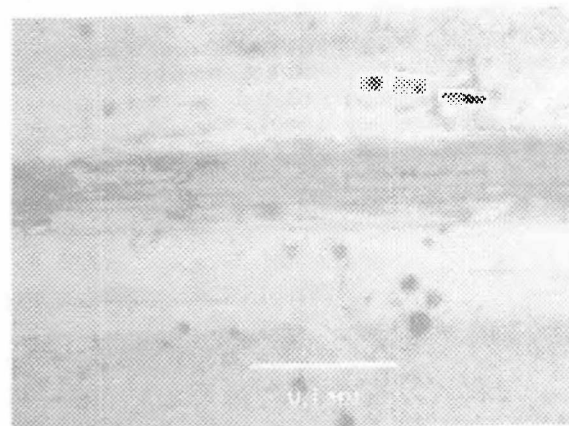


Рис.4. Трек износа в градиентном покрытии Cr-N

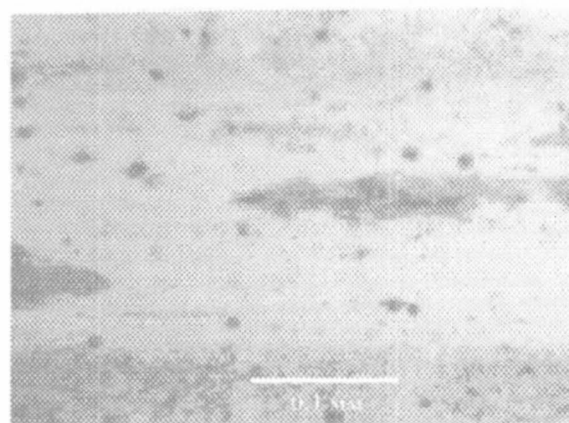


Рис.5. Трек износа в градиентном покрытии Ti-N

трек и внутри его узкий с ярко выраженными ца-
рапинами (рис. 4). Для покрытия постоянного
состава CrN трек износа имеет подобную струк-
туру. Причем ширина треков износа градиентных
покрытий меньше, чем для покрытий постоянного
состава.

Таким образом, для градиентных покрытий, со-
держащих титан, коэффициент трения имеет
меньшее значение, а ширина трека износа боль-
шее, чем для покрытия Cr-N. Причем коэффи-
циент трения для покрытий Ti-Cr-N и Ti-N уменьша-

ется с увеличением циклов трения, а для Cr-N возрастает.

По-видимому, такое поведение коэффициента трения и ширины трека износа связано с реакцией TiN с кислородом и формированием в треке оксида титана [10]. В процессе интенсивного трения выделяющаяся тепловая энергия приводит к окислению покрытия, что в свою очередь уменьшает его твердость, адгезию и износостойкость. В хром содержащих покрытиях, реакция спадает и останавливается благодаря образованию слоя оксида хрома, который защищает поверхность. Поэтому в системе Ti-Cr-N износ меньше, чем в двойной Ti-N.

Заключение

Методом вакуумно-дугового осаждения сформированы градиентные покрытия Ti-Cr-N, Cr-N и Ti-N с переменной концентрации элементов Ti и Cr. При этом с ростом толщины покрытий концентрация титана возрастает, а хрома падает.

Коэффициента трения градиентной системы Ti-Cr-N меньше, чем для покрытия постоянного состава TiCrN.

Градиентные системы Ti-Cr-N, Ti-N и Cr-N показывают большую износостойкость в сравнении с покрытиями постоянного состава.

Список литературы

1. Knotek O., Löffler F., Kramer G. // Surface and Coatings Technology. - 1993. - V.59. - P.14.
2. Hones P., Sanjines R., Levy F. // Thin Solid Films. - 1998. - V. 332. - P.240.
3. Lin R. Y., Pakala M. // Surface and Coatings Technology. - 1996. - V. 81. - P.233.
4. Saha R., Inturi R. B., Barnard J. A. // Surface and Coatings Technology. - 1996. - V. 82. - P.42.
5. Wen F., Dai H., Huang N., Sun H., Leng Y. X., Chu P. K. // Surface and Coatings Technology. - 2002. - V. 156. - P.208.
6. Jehn H. A. // Surface and Coatings Technology. - 2000. - V.131. - P.433.
7. Zeng Xianting, Zhang Sam, Hsieh Joe // Surface and Coatings Technology. - 1998. - V. 102. P.108.
8. Khadasevich V.V., Solodukhin I.A., Uglov V.V., Hartmann J., Hammerl V., Rauscherbach B. // Surface and Coatings Technology. - 1998. - V. -98. - P.1433.
9. Черепин В.Т. Ионный зонд. - Киев: Наук. думка, 1981. - 328 с.
10. Zeng W.H., Hsieh J.H. // Surface and Coatings Technology. - 2000. - V. 130. P.240.

TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF Ti-Cr-N GRADED FILMS

V.M.Anishchik¹⁾, S.V.Zlotski¹⁾, P. Konarski²⁾, Cz. Kiliszek²⁾

¹⁾Belarussian State University, 220050 Minsk, F.Skorina av. 4. Tel. (017) 209-55-12, fax (017) 226-55-52, e-mail: uglov@bsu.by

²⁾Industrial Institute of Electronics, 00-241, Poland, Warszawa, 44/50 Długa St. Tel. (+48 22) 831-52-21 ext. 285, fax (+48 22) 831-21-60, e-mail: pkonarsk@wanman.com.pl

Ti-Cr-N coatings are formed by condensation method from a plasma phase in a vacuum by ion bombardment of sample surfaces with combined Ti and Cr plasma flows in a residual nitrogen atmosphere. The coatings Ti-Cr-N, Ti-N и Cr-N represent the graded composition structure with variable concentration of elements on depth. The interdependence of element composition and graded structure with tribological properties of coatings is established.