

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Вакуумно-дуговые устройства и покрытия. / А.А. Андреев [и др.] – Харьков: ННЦХФТИ, 2005. – 236 с.
2. TiAlN film preparation by Y-shape filtered-arc-deposition system / T. Mashiki [et al.] // Thin Solid Films. – 2008. – Vol. 516. – P. 6650-6654.
3. Ding, X. Abrasive wear resistance of Ti_{1-x}Al_xN hard coatings deposited by a vacuum arc system with lateral rotating cathodes / X. Ding, C.T. Bui, X.T. Zeng // Surf. And Coat. Technol. – 2008. – Vol. 203. – P. 680-684.
4. Mechanical properties and machining performance of Ti_{1-x}Al_xN-coated cutting tools. plating / A. Horling [et al.] // Surf. And Coat. Technol. – 2005. – Vol. 191. – P. 384-392.
5. Шпак, А.П. Механічні властивості покриттів на основі титану. / А.П. Шпак. – К.: ИМФ НАНУ, 2005. – 96 с.

УДК 620.178

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

Онысько С.Р.¹, Хвусевич В.М.¹, Чекан Н.М.², Акула И.П.²

- 1) Брестский государственный технический университет
Брест, Республика Беларусь;
- 2) Физико-технический институт НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь.

В настоящей работе представлены результаты исследований методом скретч-тестирования механизмов разрушения и трещиностойкости покрытий нитрида (ZrN) и карбонитрида (ZrCN) циркония, определены оптимальные условия формирования композиционного покрытия устойчивого к процессам трещинообразования.

Получение покрытий и методы исследований. Покрытия осаждались на основу из стали Х12МФ диаметром 25 мм и высотой 4 мм, закаленную до твердости (57-60) HRC. Для удаления загрязнений перед началом их формирования, поверхность основы обрабатывалась ускоренными ионами аргона при помощи источника «Радикал»: давление аргона $1,1 \times 10^{-2}$ Па, ускоряющее напряжение 3,5 кВ, ускоряющий ток 80 мА, время обработки 20 минут. Покрытия формировались методом катодно-дугового осаждения с использованием мишени из циркония чистотой 99,9 % при токе горения плазмы порядка 90 А и давлении реакционных газов – N₂ около $2,1 \times 10^{-2}$ Па и C₂H₂ в диапазоне $(0,5-1,8) \times 10^{-2}$ Па на серийной установке УВНИПА-1-001. Толщина сформированных покрытий составила (1,0-1,5) мкм.

Элементный состав и типы химических связей покрытий определялись методами микрозондового энергодисперсионного анализа (МЭА) на электронном микроскопе Philips SEM-15 оснащенного приставкой для МЭА.

Твердость покрытий измерялась на микротвердометре ПМТ-3 методом восстановленного отпечатка с использованием алмазной пирамидки Кнупа при нормальной нагрузке 50 г.

Адгезионные испытания для всех образцов проводились методом скретч-тестирования (царапания) пленок с помощью адгезиметра JLST022 (J&L TECH

Co.,Ltd, Южная Корея): диапазон нагрузок на наконечник от 1 Н до 60 Н на длине царапины 20 мм; латеральная скорость перемещения алмазного наконечника 0,25 мм/с при скорости нагружения 0,74 Н/с.

В результате работы были получены 5 типов образцов с тонкопленочными покрытиями на основе циркония. Первый тип соответствует нитриду циркония, покрытие которого имеет бледный золотистый цвет, а остальные (в зависимости от давления ацетилена в вакуумной камере) – карбонитриду циркония, при этом цвет покрытия менялся от ярко-желтого, до темно-фиолетового. Изменение цветовой гаммы косвенно свидетельствует об увеличении концентрации углерода в покрытиях.

Результаты экспериментов и их обсуждение. Вне зависимости от состава газовой реакционной смеси содержание циркония в покрытиях находится примерно на одном уровне в диапазоне (58-64) ат.%. Рост давления газовой смеси в вакуумной камере в пределах $(0,5-1,8) \times 10^{-2}$ Па приводит к снижению содержания кислорода в покрытиях, а углерод при этом растет более чем в 2 раза – с 5,9 ат.% до 14,6 ат.%. Как показывают ранее проведенные исследования [1] состав покрытий не является стехиометрическим и имеет место ситуация с избытком содержания металла, т.е. не все атомы циркония вступают в химическое соединение с азотом и углеродом. А учитывая обязательное присутствие в покрытии соединений типа CN и MeO, а также аморфного углерода, можно говорить о преимущественном, но не преобладающем влиянии соединений типа MeCN на свойства сформированных покрытий. На рисунке 1 представлены данные по твердости полученных покрытий.

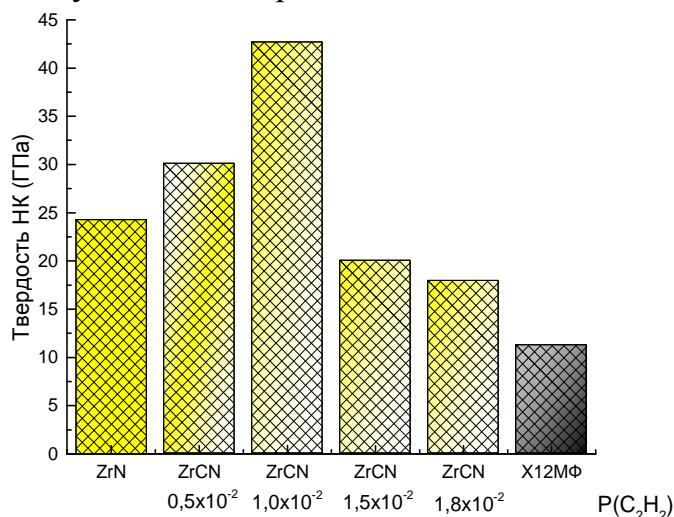


Рисунок 1 – Твердость покрытий

Полученные при нормальных условиях окружающей среды результаты свидетельствуют о существенном влиянии содержания углерода в покрытии на его твердость, которая снижается более чем в 2 раза для покрытий с максимальным содержанием углерода. Уменьшение твердости покрытия ZrCN вероятно связано с образованием большого количества свободного углерода в виде сравнительно мягкого алмазоподобного углерода типа a-C [2], выделяющегося на границах зерен карбонитрида циркония.

На рисунке 2 представлены детализированные фотографии участков царапин и вид трещин, образовавшихся в результате определения адгезии покрытий нитрида и карбонитрида циркония. Можно видеть, что за исключением образца с покрытием ZrCN полученного при давлении ацетилена $1,8 \times 10^{-2}$ Па не наблюдается отслоения покрытия до основы, что свидетельствует об удовлетворительной адгезии исследуемых тонкопленочных материалов к основе. Появление участков отслоенного покрытия на образце вероятно связано с высоким уровнем внутренних ростовых напряжений в покрытии из-за избыточного содержания углерода.

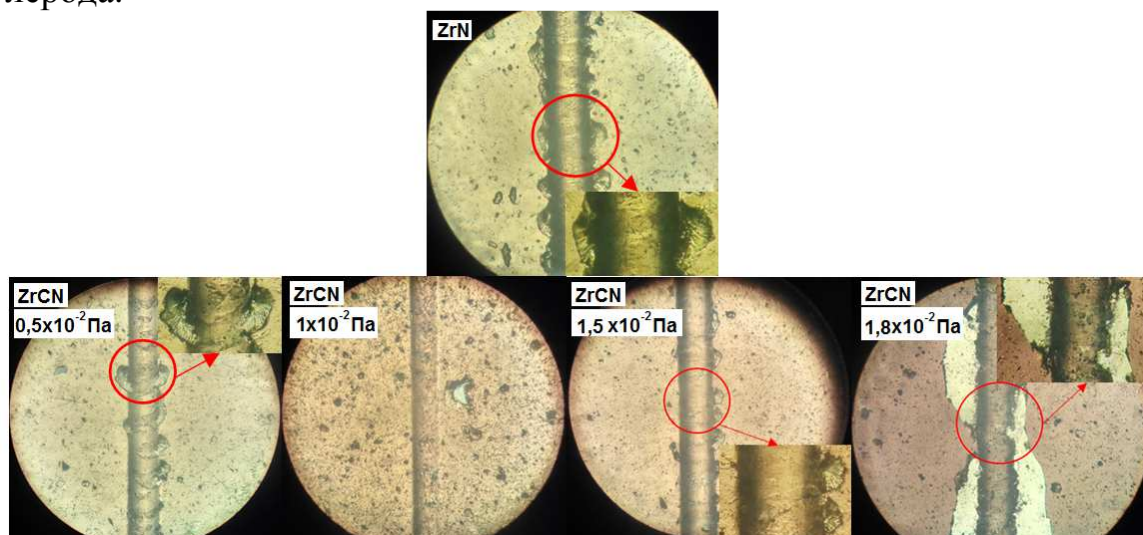


Рисунок 2 – фотографии участков царапин и вид трещин в зависимости от содержания ацетилена

Сводные экспериментальные данные по адгезионной прочности покрытий приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения нагрузок под индентером при трещинообразовании.

Покрытие	L_{C1} (Н) / l_1 (мм)	L_{C2} (Н) / l_2 (мм)	L_{C3} (Н) / l_3 (мм)
Образец №1	17,78 / 5,5	22,27 / 7,2	55,37 / 18,7
Образец №2	16,47 / 5,3	23,96 / 7,8	52 / 17,2
Образец №3	36,08 / 12	38,22 / 12,6	47,43 / 15,7
Образец №4	23,69 / 7,1	29,3 / 8,5	53,17 / 17,6
Образец №5	17,43 / 5,4	19,24 / 6,2	38,05 / 12,56

Нагрузка, при которой появляется устойчивый сигнал от датчика акустической эмиссии, свидетельствующий о начале процессов трещинообразования в покрытии без учета влияния основы, соответствует параметру L_{C1} ; нагрузка при которой начинается процесс интенсивного трещинообразования – параметру L_{C2} ; нагрузка при которой на периферии царапины начинают появляться сколы покрытия и его отрыв от материала основы – параметру L_{C3} .

Дополнительные данные по трибологии показывают, что в зависимости от сформированного покрытия и длины царапины, коэффициент трения на разных участках принимает значения, показанные на рисунке 3.

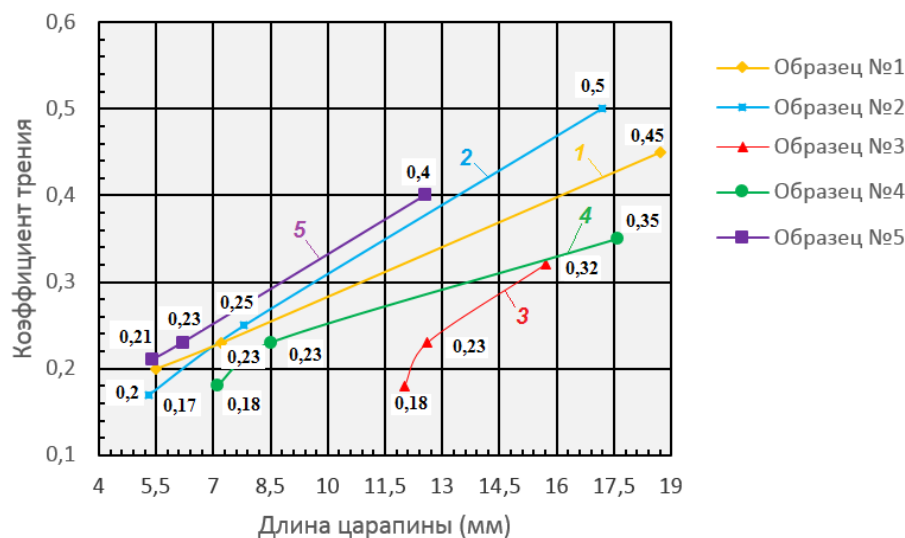


Рисунок 3 – Значения коэффициентов трения в зависимости от длины царапины

Заключение. Результаты проведенных исследований демонстрируют, что повышение содержания углерода в покрытии карбонитрида циркония до некоторого предела положительно сказывается на препятствовании процесса трещинообразования. Наиболее вероятной причиной такого поведения является формирование наноразмерной структуры тонкопленочного материала, когда зерна карбонитридной керамики находятся в матрице аморфного углерода. Изменяя всего один параметр процесса формирования покрытия ZrCN – давление реакционного углеводородного газа, можно управлять характеристиками синтезируемого тонкопленочного материала в зависимости от текущих требований к нему: твердость, износостойкость, определенное трение в паре и т.д.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Чекан, Н.М. Износостойкие нанокристаллические покрытия для штамповой оснастки / Н.М. Чекан и др. Материалы Международной научно-технической конференции «Современные методы и технологии создания и обработки материалов», Минск, 16-18 сентября 2014 г. // Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2014, Т. 2, С. 6-16.
2. Robertson, J. Diamond-like amorphous carbon // Materials science and engineering. 2002. Vol. 37. P. 129-281.