

Рисунок 4 – Схема вибрационного точения при дроссельном регулировании амплитуды

## ЛИТЕРАТУРА

1. Молочко, В.И. О влиянии структуры цикла вибрационного резания на шероховатость обработанной поверхности / В.И. Молочко // Вести НАН Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. – 2004. – № 1. – С. 45–52.
2. Свешников, В.К. Станочные гидроприводы: справочник / В.К. Свешников, А.А. Усов. – М.: Машиностроение, 1982. – 464 с.

УДК 621.382.002

Дешковская А.А.<sup>1</sup>, Нагибаров А.В.<sup>1</sup>,  
Лыньков Л.М.<sup>1</sup>, Глыбин В.П.<sup>3</sup>, Фам М.Т.<sup>4</sup>

## ФОРМИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ НАНОСТРУКТУРНЫХ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА СТЕКЛАХ И МЕТАЛЛАХ

1 – *Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,*

2 – *ЧУП «Пара ла Оро»*

3 – *БТУ, г. Минск, Республика Беларусь;*

*Научно-исследовательский центр,*

*г. Роззендорф, Федеративная Республика Германия*

Transparent heat-resistant coatings of 10...30 nm thickness described by  $(ZrO_2)_x(Y_2O_3)_y$  composition are formed on the surface of metals and glasses by thermolysis technique.

Produced coatings possess high adhesive strength, high corrosive and abrasive resistance. Nanocrystalline formations are revealed on samples surface, with quantity of these formations depending on basic solution concentration, formed layers number and thermal treatment mode.

Ion-beam modification of obtained coatings under mixing mode enables said properties enhancing owing to zirconium oxiboride formation at substrate-coating interface as a result of ion-beam synthesis.

В процессе эксплуатации любой материал неизбежно подвергается различным воздействиям (атмосферным, механическим, тепловым и т.д.). Поэтому проблема создания качественных защитных покрытий всегда актуальна.

Целью настоящей работы является формирование на поверхности металлов и стекол прозрачных тонких защитных покрытий с высокой термостойкостью, коррозионной стойкостью и износостойкостью.

В качестве исходного материала для покрытия выбраны цирконийсодержащие соединения, поскольку применительно к поставленной задаче они обладают уникальным сочетанием ценных свойств, а именно: высокой химической стойкостью в широком интервале температур, высокой прочностью, твердостью, термо- и износостойкостью. При формировании на поверхности стекол и металлов защитных покрытий нами использовались метод термолиза и метод ионно-лучевой модификации поверхности.

Объектом исследования были подложки из различных по составу стекол и стали, изготовленные в виде плоскопараллельных пластинок  $10 \times 10$  мм<sup>2</sup> толщиной 1...2 мм. Перед нанесением покрытий образцы подвергались ультразвуковой очистке и промывке спиртом.

Раствор для нанесения покрытий содержал смесь различных веществ, полученных при синтезе органического производного циркония с добавкой концентрированного раствора  $Y(NO_3)_3$ . [1,2].

Формирование покрытия включало 3 этапа [2,3]:

1. Нанесение на поверхность образцов пленкообразующего раствора реакционной смеси.

2. Термообработка: 1) сушка при 100...2000С; 2) отжиг при 500...7000С.

3. Ионно-лучевая обработка.

Раствор реакционной смеси наносился на поверхность металлических образцов кисточкой, а на поверхность стеклянных образцов путем окунания их в раствор с последующим центрифугированием.

В процессе термообработки полностью удалялись растворитель и органические продукты, а на поверхности образца оставалась прозрачная плоская однородная пленка диоксида циркония ( $\approx 10$ нм) обладающая высокой адгезионной прочностью к подложке.

Для усиления прочностных и адгезионных свойств сформированного покрытия использовался третий этап – ионно-лучевая обработка в режиме миксинга (ионное перемешивание). В качестве бомбардирующих ионов были выбраны ионы бора (флюэнс  $\Phi = 10^{15} \dots 10^{18}$  ион/см<sup>2</sup>, плотность тока менее 2 мкА/см<sup>2</sup>). Энергия бомбардирующих ионов выбиралась в зависимости от толщины сформированного покрытия таким образом, чтобы реализовать имплантацию атомов отдачи (Zr и O) в подложку и обеспечить интенсивное атомное перемешивание в приконтактном слое (покрытие-подложка) [3].

Многочисленное повторение указанных этапов приводило к постепенному наращиванию на подложке многослойного покрытия. Исследование износостойкости образцов проводилось двумя методами. В случае стеклянных под-

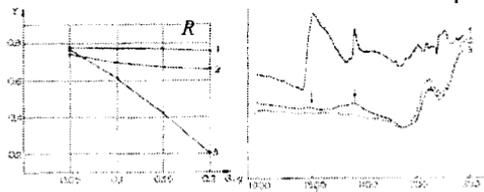
ложек использовался метод газоабразивного износа, при котором образцы подвергались воздействию частиц абразивного материала определенной массы со скоростью 100 м/с в газовой среде [2]. Степень газоабразивного износа оценивалась путем сравнения оптических параметров (коэффициентов направленного пропускания излучения с  $\lambda=0,633\text{ мкм}$ ) для образцов с покрытием и без него. Для стальных подложек использовался метод «игла на диске». Степень абразивного износа оценивалась по количеству материала, ушедшего в стружку, а также по параметрам канавки, остающейся на поверхности образца после воздействия абразива (глубина, длина, ширина) [4]. Роль абразивной иглы выполнял сменный шарик из карбида вольфрама ( $\varnothing=3\text{ мм}$ ), совершающий возвратно-поступательное движение по поверхности образца со скоростью 0,02 м/с. Определялся также коэффициент трения в зависимости от числа циклов.

Исследования коррозионных свойств покрытия проводились методом потенциодинамической поляризации. В качестве электролита использовался 0,5 М раствор  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Скорость изменения потенциала 10 м В/с. Площадь исследуемой области образца 0,07068  $\text{см}^2$ .

Для объяснения наблюдаемых фактов и закономерностей использовался метод ИК спектроскопии отражения и атомная силовая микроскопия (AFM).

Исследование образцов стекол с покрытием из диоксида циркония показало, что даже при малой толщине покрытия (80 нм) износостойкость образцов возрастала почти в 4 раза.

На рис. 1 в качестве примера приведены данные по газоабразивному износу кальцийалюминатного стекла с традиционным покрытием из  $\text{SiO}_2$  (используемым в промышленности в качестве защитного для таких стекол) и покрытием из диоксида циркония. Как видно из рисунка, пропускание стекла с традиционным покрытием резко снижается с увеличением массы абразивных частиц (кривая 3) вследствие абразивного износа поверхности. В то же время видно (кривая 2), что покрытие из диоксида циркония защищает стекло от разрушений, а дополнительная ионно-лучевая обработка (миксинг бором) усиливает эффект повышения износостойкости почти в 4 раза (кривая 1).



волновое число  $\nu$ ,  $\text{см}^{-1}$   
Рисунок 2

Рисунок 1

Замечено, что для тех же стекол сформированное таким образом покрытие увеличивает термостойкость на 800С.

Для объяснения наблюдаемых фактов нами использовался структурно-чувствительный метод – ИК спектроскопия отражения. Анализ ИК спектров

отражения исследуемых образцов позволил выявить наличие диоксиборида циркония в приграничном слое покрытия-подложка в результате твердофазного ионного синтеза, стимулированного ионной бомбардировкой. На рис. 2 приведены ИК спектры отражения исследуемых образцов и образца диоксиборида циркония (кривая 1), полученного термическим синтезом [2]. Как видно из рисунка, при внедрении бора в образец с покрытием из  $ZrO_2$  в его спектре появляются новые полосы (кривая 3), характерные для чистого соединения диоксиборида циркония. Исследования образцов стали (1.4301) с защитным покрытием из диоксида циркония показали значительный рост их износостойкости по сравнению с образцами стали без покрытия.

В табл. 1 в качестве примера приведены экспериментальные данные по износостойкости одного из образцов с покрытием и без него. При данном числе циклов (40 000 и 80 000) абразивный износ у исследуемого образца в отличие от исходного отсутствует. Коэффициент трения у этого образца в 2 раза ниже, чем у исходного (без покрытия).

Таблица 1 – Параметры абразивного износа образцов стали 1.4301 до и после формирования защитного покрытия

Число циклов	Параметры канавки	Исходный образец	Образец с покрытием
40000	Объемные потери, мкм <sup>3</sup>	0,68	-
	Глубина, мкм	0,57	-
	Ширина, мкм	122	-
	Длина, мкм	1693	1854
	Площадь, мкм <sup>2</sup>	40	-
80000	Объемные потери, мкм <sup>3</sup>	1,02	-
	Глубина, мкм	0,72	-
	Ширина, мкм	153	-
	Длина, мкм	1846	1822
	Площадь, мкм <sup>2</sup>	55	-

Изучение коррозионной стойкости образцов с защитным покрытием показало, что несмотря на его малую толщину (300 Å) коррозионная стойкость значительно выше, чем без защитного покрытия. Плотность коррозионного тока для защищенного образца составила  $5,68 \cdot 10^{-9}$  А/см<sup>2</sup>, в то время, как для образца без покрытия –  $1,33 \cdot 10^{-2}$  А/см<sup>2</sup>.

Структурные исследования, проведенные с помощью атомного силового микроскопа AFM, позволили выявить наличие нанокристаллических образований на поверхности. Средняя величина кристаллов составляла  $950 \times 625 \times 163$  нм<sup>3</sup> [4]. Количество кристаллов на поверхности зависит от режима термообработки образцов, числа сформированных слоев и концентрации раствора. На поверхности стекол и металлов методом термолитиза сформированы прозрачные термостойкие покрытия толщиной 10...30 нм, состав которых отвечает общей формуле  $(ZrO_2) \cdot (Y_2O_3)$ .

Сформированные покрытия обладают высокой адгезионной прочностью, высокой коррозионной и абразивной стойкостью. Причиной этого является на-

личие на поверхности образцов нанокристаллических образований. число которых зависит от концентрации исходного раствора и режима термообработки. Ионно-лучевая модификация полученных покрытий в режиме миксини улучшает указанные выше свойства за счет образования диоксиборида циркония в результате ионно-лучевого синтеза на границе подложка-покрытие. Исследования износостойкости и коррозионной стойкости образцов, а также морфологии поверхности с помощью АФМ проводились в Институте ионно-лучевой физики и материаловедения в г. Розендорфе (Германия).

В заключение авторы благодарят руководство этого института за предоставленную возможность проведения экспериментов, а также сотрудников института А. Шнайдер, Р. Хюллер за техническую помощь.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Л.М. Лыньков, В.В. Соловьев, Л.И. Шишакова, С.Л. Прищепа, ДАН БССР, т. XXXVII, № 3, 1993, с. 45-47.
2. A. Deshkovskaya, V. Yanishevski, S. Gritsai, L. Linkov, I. Skornyakov *Nucl Instr. and Meth in Phys. Res. B* 80/81 (1993), 1230-1232.
3. А. Дешковская, Л. Нагибаров, В.П. Глыбин «Способ формирования защитного покрытия». Патент на изобретение РБ Госрегистр № 5135 от 2003.01.21.
4. Доклады БГУИР, электроника, материалы, технологии, информатика / А Дешковская, Л. Лыньков, А. Нагибаров, М. Фам, Э. Рихтер, т. 1 №2, 2003, стр 73-80.

УДК 677.017

Дмитриев А.П., Царёва А.А., Буркина О.А

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ НОВЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет», г. Витебск, Республика Беларусь*

The research shows the analysis of molding properties of new textile materials manufactured in the Republic of Belarus. The materials which were tested by the authors of the research are generally used for sewing industry. On the grounds of the results of the experiments and requirements to the textiles their potential for using as parts of footwear uppers was analyzed. The recommendations on their usage in footwear industry are submitted

Текстильные материалы широко применяют для изготовления обуви различного назначения. Среди этих материалов важнейшее значение имеют тка