

Рисунок – Внешний вид экспериментальных образцов деталей с покрытием

Исследования синтезируемых покрытий методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии показали, что поверхность композиционных титан-углеродных покрытий представляет сложную смесь оксидов, карбидов, оксикарбидов титана и углерода. Доля карбидных связей титана в общем количестве связей атомов титана находится в диапазоне 10-20%.

УДК 645

Савчиц О.П., Рудская В.В.

## **РАСЧЁТ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА ПОВЕРХНОСТИ ПРИ НАНЕСЕНИИ ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ**

*БНТУ, Минск*

*Научный руководитель: Иващенко С.А.*

При формировании функционального покрытия возникают напряжения, обусловленные значительным разогревом поверхностных слоев основы и несоответствием коэффициентов линейного расширения основы и покрытия. Когда различие коэффициентов значительно, на основу следует вначале нанести демпферный слой, который не только снизит напряжения в покрытии, но и повысит прочность сцепления покрытия с основой. Изучение динамики нагрева поверхности при осаждении покрытия позволяет определить оптимальные условия формирования структуры функционального покрытия и получить покрытия с заданными физико-механическими свойствами.

При формировании вакуумно-плазменных покрытий нагрев основы обусловлен двумя механизмами передачи тепла: путем воздействия ионного потока (ионы материала катода бомбардируют поверхность) и теплообменом между конденсируемым покрытием и основой. В случае ионной бомбардировки процесс передачи тепла осуществляется за счет передачи энергии при упругом ударе, а в случае конденсации частиц тепло передается непосредственно путем теплопередачи от частицы покрытия к обрабатываемой основе. Каналами отвода тепла с поверхности являются: теплопередача и тепловое излучение. Конвективный теплообмен в условиях разрежения, характерных для процессов вакуумно-плазменной обработки незначительный.

Подвод тепла к обрабатываемой поверхности рассматривали в следующих предположениях: напряжение, подаваемое в вакуумную камеру 60 В, давление в камере  $3,2-5,6 \times 10^2$  Па, температура в камере 373 К, материал обрабатываемых изделий – стекло марки М1 ГОСТ 111-2001, поток частиц состоит из ионов титана (рисунок 1), скорость формирования покрытия 0,05...0,1 мкм/мин.



Рисунок 1 – Схема формирования покрытия

В процессе конденсации на поверхности последовательно происходит образование монослоя из атомов титана. Время образования одного монослоя определяется из режимов технологического процесса. Зная скорость формирования покрытия и размеры монослоя покрытия легко определить время  $t_1$  формирования одного монослоя покрытия:

В процессе передачи тепла твердому телу возбуждаются колебания частиц поверхностного слоя.

Поскольку поверхность материала основы бомбардируется ионами титана, то тепловая энергия частицам материала передается потоком титана. Скорость потока ионов титана можно определить, зная скорость формирования покрытия:

Для учета изменения энергии связи в результате разогрева основы необходимо определить температуру  $T_i$  монослоя. Для этого находим эффективную температуру  $T_{эф}$  зная величины теплового потока, поступающего на основу и ухода тепла вглубь основы вследствие теплопроводности.

На основании полученной модели разработана программа в *Matcad*, позволяющая производить расчет температуры  $T_i$  слоев и количества монослоев при нанесении которых температура поверхностного слоя резко приближается к температуре размягчения (рисунок 2).

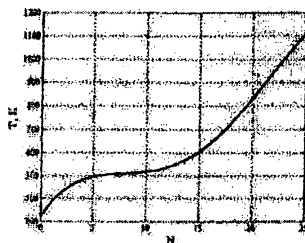


Рисунок 2 — Зависимость температуры основы от количества монослоев покрытия

Анализ полученных данных показывает, что в начальный момент происходит резкий разогрев покрытия до температуры 500 К (5 мономолекулярных слоев покрытия). Далее, происходит плавный разогрев поверхности от 500 К до 600 К (15 мономолекулярных слоев покрытия). Начиная с 15 монослоя температура наносимых последующих монослоев резко возрастает, что может привести к появлению жидкой фазы покрытия. В результате, с этого момента начинается интенсивное образование столбчатой структуры

на поверхности основы, а это приводит к снижению твердости и увеличению пористости покрытия. Следовательно, при нанесении вакуумно-плазменных защитно-декоративных покрытий на изделия из стекла следует ограничивать толщину покрытия из-за опасности расплавления основы.

УДК 62.293

Смыкало А.А.

## **ОБЗОР КОНСТРУКЦИЙ ВАКУУМНЫХ НАСОСОВ BUSCH, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ВАКУУМИРОВАНИИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ**

*БНТУ, Минск*

*Научный руководитель: Горавский С.Л.*

Вакуумирование – удаление (отсасывание) газа, пара из аппаратов (сосудов) с целью получения в них давления ниже атмосферного. В мире существует множество фирм и предприятий по изготовлению вакуумных насосов, к более востребованным относятся: Elmo Rietschle (Германия); Robuschi (Италия); Shinko-Seiki (Япония); Вакууммаш (Россия). Но наибольшее распространение получили вакуумные насосы Busch.

Пластинчато-роторные вакуумные насосы Busch (Rotary vane vacuum pumps) позволяют получать достаточно глубокий вакуум (рисунок 1). Одноступенчатые маслосмазываемые модели от 0,1 до 20 мбар (от 10 до 2000 Па), а двухступенчатые с масляной смкостью до 0,0005 мбар (до 0,05 Па). С учетом того, что 1% атмосферного давления – это примерно 10 мбар (1000 Па), то создаваемый пластинчато-роторными насосами вакуум подходит для большинства промышленных, лабораторных и тем более домашних задач. Производительность вакуумных насосов пластинчато-роторного типа составляет от 2 до 1500 м<sup>3</sup>/час.

Рабочее масло попадает из масляного резервуара в рабочую камеру насоса, где смешивается с откачиваемым воздухом. Затем сжатая воздушно-масляная смесь покидает рабочую