

В. А. Глинкин, А. А. Бикташев

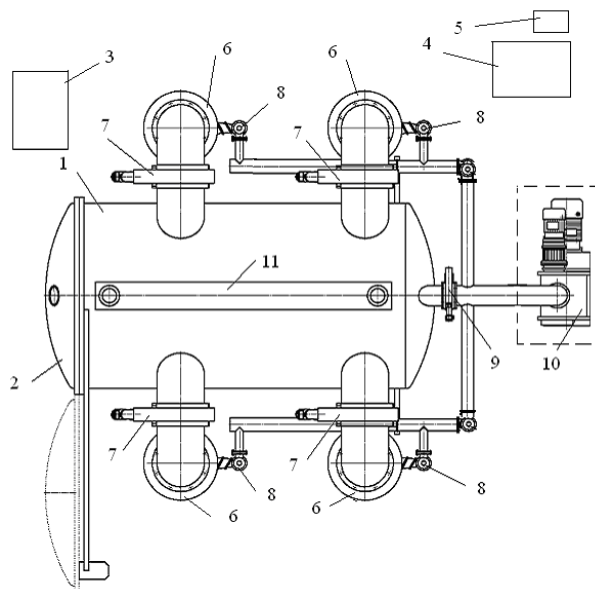
ВАКУУМНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ СЕЛЕКТИВНЫХ ПОКРЫТИЙ*Ключевые слова: вакуумная установка, нанесение покрытий, селективные покрытия.**Разработана установка для нанесения многослойных селективных покрытий в вакууме. Используется дуговой метод и метод плазмохимического осаждения. Максимальная длина покрываемых изделий 2 метра. Представлены основные конструктивные и технологические решения, используемые в установке.**Keywords: vacuum unit, coating, selective coatings.**The vacuum plant was developed for the deposition multilayer selective coatings. Use the arc plasma deposition and plasma chemical deposition method. The maximum length of parts which may be coated – 2 meters. Are presented used in the plant basic design and technological solutions.*

Под селективные покрытиями понимают покрытия, обладающие избирательными свойствами по пропусканию и отражению в отношении падающего электромагнитного излучения, в основном солнечного. Выделяют прозрачные и непрозрачные селективные покрытия. Не прозрачные селективные покрытия обладают высоким коэффициентом поглощения в видимой и ближней инфракрасной областях оптического спектра, т.е. в спектре солнечного излучения. В тоже время они обладают низкой излучающей способностью по сравнению с абсолютно чёрным телом. Прозрачные селективные покрытия обладают высоким коэффициентом пропускания излучения всего солнечного спектра и большим коэффициентом отражения длинноволнового инфракрасного излучения. Разработано большое число таких покрытий, которые наносятся на элементы солнечных энергетических установок [1,2]. К прозрачным селективным покрытиям относятся также низко эмиссионные покрытия на оконном стекле [3]. К селективным относятся также покрытия, работающие в более широком спектре электромагнитных излучений – покрытия защиты от электромагнитных излучений [4] и покрытия снижающие заметность различных военных объектов, самолетов, кораблей и т.д. [5].

Наносят селективные покрытия гальваническим способом, напылением в вакууме, окраской. Но наибольшей эффективностью обладают покрытия, наносимые вакуумными методами. В состав покрытий наносимых вакуумным методом входят слои металлов, соединений металлов – оксиды, нитриды, карбиды, силициды и их смеси, а также пленки, получаемые плазмохимическими методами.

Была разработана вакуумная установка для нанесения селективных покрытий «ВАТТ -1600ДК» (рис.1). Установка обладает технологическими возможностями нанесения многослойных покрытий, состоящих из слоев указанных выше. Первоначальное назначение установки это нанесение селективных покрытий на плоские панели солнечных коллекторов для нагрева воды шириной 145 и длиной 19.60 мм. Но установки позволяет наносить селективные покрытия и другого назначения, на любые элементы, которые можно разместить в пространстве диаметром 400 мм при длине до 2 м. Все определяется только системой крепления на барабане в камере.

Установка вакуумная напылительная ВАТТ 1600ЭД-К является однокамерной установкой периодического действия, барабанного типа. Количество загружаемых панелей размером 1960 x 145 мм за цикл, 24 шт. Производительность установки, расчетная, 6,8 м²/цикл. Установленная мощность, 40 кВт. Вес установки, не более, 2500 кг.

**Рис. 1 - План установки «ВАТТ -1600ДК»**

Установка состоит из следующих основных частей:

- цилиндрическая вакуумная камера диаметром 1600 мм с внутрикамерным оборудованием - 1, карманом с дуговым распылителем - 11 и крышкой - 2 ;
- система подачи рабочих газов по четырем каналам, один из которых парогазовый,
- система откачки с вакуумными насосами и арматурой для создания и поддержания рабочего давления в вакуумной камере; высоковакуумные диффузионные насосы -6, затворы -7 и 9, клапаны - 8 и 12, форвакуумный агрегат - 10;
- шкаф управления - 3, в котором размещается система управления на базе контроллера и компьютера;

- шкаф питания - 4, в котором размещаются все силовые блоки питания и коммутирующие элементы;
- источник питания дугового испарителя - 5;
- барабан с загрузочной тележкой и приемным устройством;
- система водораспределения с реле протока и коллектора слива.

Карман дугового испарителя (рис. 2) имеет фланцы для ввода питания и охлаждения дугового распылителя. На наружной поверхности кармана закреплена трубка охлаждения. Карман и цилиндрическая обечайка имеют ребра жесткости. Внутри кармана расположены трубки напуска реактивного газа. С внутренней, цилиндрической части камеры карман имеет заслонку 2, предотвращающую попадание в карман и осаждение на его внутренних элементах и дуговым распылителем -1 паров КОС. Заслонка имеет пневматический привод. Внутри кармана расположены трубки для напуска реактивных газов -3.

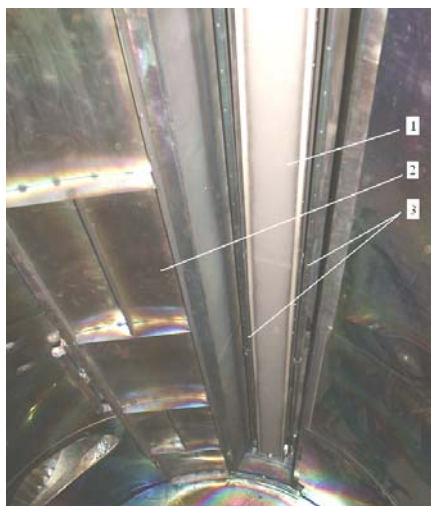


Рис. 2 - Карман с дуговым испарителем

Внутри камеры -1 (Рис.3) расположены направляющие -2 для размещения внутри-камерной тележки -3 с барабаном -4.

Панели - 6 устанавливаются на барабан попарно, листовая поверхность наружу с обеспечением возможности поворота на 180 градусов пары профилей вокруг продольной оси кассеты, на которой они установлены (на рис. 3 установлен один ряд панелей).

Барабан с установленными профилями изолирован от корпуса. В камере, изолированно от корпуса и барабана устанавливается высоковольтный электрод тлеющего разряда - 5. Барабан и электрод связаны с высоковольтными вводами, установленными на корпусе камеры.

Для данной установки был разработан и изготовлен дуговой источник длиной 2980 мм [6]. Ширина источника 100мм, толщина 10 мм. Максимальный рекомендуемый ток для данного источника 220А (в случае мишени из титана).

Применение магнетронного распыления [7, 8] в данной технологии крайне затруднительно в связи с сильным загрязнением мишени при плазмохимическом процессе.

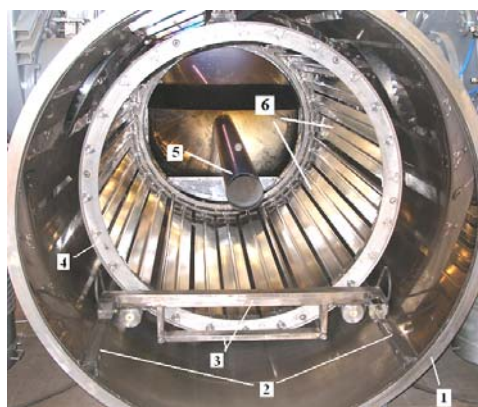


Рис. 3 - Внутренние элементы камеры

У источника с такой геометрией очень трудно обеспечить жесткость конструкции и обеспечить герметичность при использовании системы прямого охлаждения мишени. В связи с этим была применена мембранная система косвенного охлаждения. Она изготовлена из двух тонкостенных медных листов сваренных по периметру, между которыми протекает охлаждающая жидкость. При протекании жидкости одна из стенок мембраны плотно прилегает к задней стенке мишени, обеспечивая высокую эффективность отвода тепла. Для предотвращения провисания центральной части конструкции источник имеет третью дополнительную опору крепления, расположенную в середине.

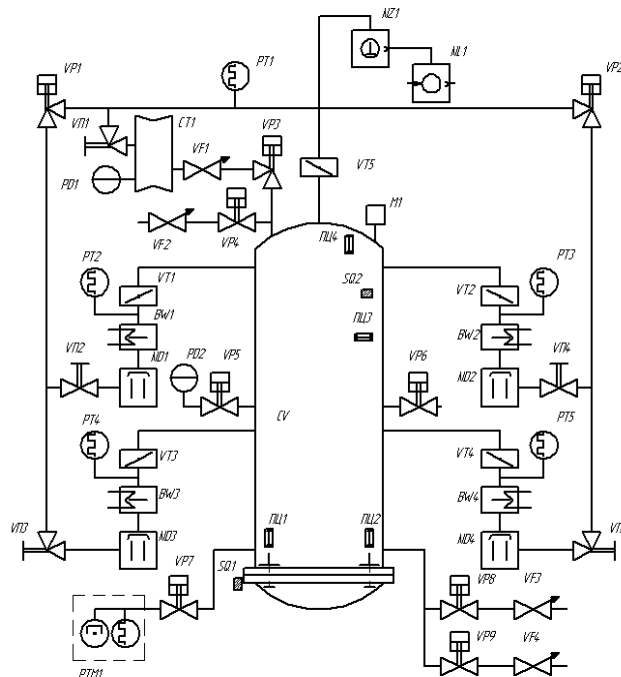


Рис. 4 - Вакуумная схема установки

Вакуумная система (рис. 4) состоит из четырех высоковакуумных откачных постов, включающих в себя диффузионный насос НВДМ-400, затвор 23ВП-400, ловушку ЛА-400, угловой патрубков Ду-400. Форвакуумная система состоит из форвакуумного насоса Е1М275, насос Рутса с гидрокинетической муфтой ЕН1200, а также вакуумной арматуры на базе

клапанов типа КВМ-63 и КВЭ-63 с пневмоприводом. Механизм прижима крышки, механизм перемещения заслонки, механизма поворота планет, также приводятся в действие с помощью пневмоприводов.

Напуск рабочих газов Ar , CO_2 , O_2 в камеру осуществляется с помощью регуляторов напуска типа РРГ – 12, закрепленных на единой панели. Управление подачей газов обеспечивается контроллером по заданной программе. Пары КОС подаются в камеру напрямую без РРГ.

Технологические операции, проведение которых обеспечивается на установке:

- очистка в разряде – 20-40 кГц, 1-1,5 кВ, в среде аргона или остаточного газа; разряд зажигается между барабаном с изделиями и антенной, расположенной в центре камеры;

- ионная очистка и травление при смещении на изделии 1-1,5 кВ и работающем дуговом испарителе;

- нанесение слоя металла методом дугового испарения при токе до 200 А;

- нанесение слоя соединения металла реактивным дуговым испарением; реактивный газ напускается через трубки газонапуска, расположенные в кармане дугового распылителя;

- нанесение слоя плазмохимическим методом в разряде – 20-40 кГц, 400-1000В.

Физико-оптические свойства покрытия зависят от условий нанесения (давления в вакуумной камере, парциальное давление реакционного газа, величина натекания и газовыделения, скорости осаждения, тока разряда, температуры подложки, состояния покрываемой поверхности) и могут изменяться в широких пределах. До нанесения покрытия поверхность покрываемых изделий подвергается очистке в тлеющем разряде и ионной обработке, что способствует улучшению адгезии покрытия к подложке.

Предварительная обработка в тлеющем разряде имеет целью подготовить поверхность подложки к последующему осаждению покрытия. Механизм обработки поверхности заключается в бомбардировке ионами, электронами и нейтральными частицами, которые приводят к сокращению адсорбированных веществ на поверхности (главным образом воды). Поверхность химически активируется, за счёт воздействия газовых радикалов, произведенных в плазме. При необходимости, поверхность покрываемых изделий подвергается ионной обработке с использованием дугового разряда и подаче высокого напряжения смещения. Такая обработка позволяет удалить поверхностный загрязненный слой металла и обеспечить улучшенное сцепление покрытия с поверхностью.

Процесс нанесения покрытия из металла происходит в камере при давлении $0,5 - 1 \times 10^{-3}$ мм.рт.ст в среде аргона. Аргон обеспечивает более стабильное горение дугового разряда. Физическая сущность процесса нанесения покрытия заключается в испарении генерируемого материала катодным пятном вакуумной дуги, развивающимся в парах материала катода. Поток атомов и ионов металла, образующийся в плазме вакуумной дуги с холодным катодом, ускоряется путем приложения отрицательного

потенциала к подложке с последующей конденсацией. При напуске в вакуумную камеру реакционный газ на подложке формируется покрытие в виде соединения металла с этим газом.

Осаждение слоя плазмохимическим методом происходит на поверхности подложки, которая вступает в контакт с плазмой. Плазменный полимер содержит регулярно повторяющиеся элементы, которые беспорядочно завершены с высокой степенью сшивания. Они прилипают к поверхности твердого тела. Полимеризация и сшивание происходят под действием электронной бомбардировки мономера, и сопровождается UV-иницированным сшиванием в твердой фазе. Поток паров формируется в бачке с жидким кремний органическим соединением (КОС), который закреплен справа на цилиндрической части камеры, под панелью с РРГ. Бачек, объемом 5 литров, имеет систему нагрева и поддержания заданной температуры, указатель уровня жидкости и манометр, показывающий давление в бачке. Предварительная откачка бачка и обезгаживание жидкого КОС осуществляется через клапан, подсоединенный к форвакуумной магистрали.

Для питания дугового испарителя используется блок управления ELD-20 с блоком питания Sirion. Комплект обеспечивает питание и регулировку тока в диапазоне 50-200 А и управление двунаправленным перемещением дуги.

Блок питания ионной очистки и смещения ELB-12|500 обеспечивает в режиме очистки напряжение до 900В, ток до 10А, в режиме смещения напряжение до 300В, ток до 30А. Блок содержит ключ/генератор паузы типа ELS с возможностью задания и индицирования на цифровом индикаторе частоты и паузы работы ключа, а также индицирования текущего значения возникновения дуговых микропривязок.

Установка обеспечивает возможность работы в автоматическом и ручном режимах.

Все текущие параметры работы установки – этап, давление, обороты, напряжение и токи источников питания и т.д. показываются на дисплее панели управления.

Литература

1. *Духопельников Д.В.* Селективные покрытия солнечных коллекторов./ Духопельников Д.В., Ивахненко С.Г., Марахтанов М.К.// Известия высших учебных заведений. Машиностроение. М.– 2012. – №5. – С. 75-80.
2. Пат. 2407958 Российская Федерация, МКП F24J2/48. Многослойное селективное поглощающее покрытие для солнечного коллектора и способ его изготовления./Дьячишин А.С., Язвина И.М., Стадник А.В.; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Гелиотерм». (<http://www.findpatent.ru/patent/240/2407958.html>)
3. *Глинкин, В.А.* Нанесение покрытий в вакууме на листовое стекло: учебное пособие/ Глинкин В.А. – Казань: Изд-во Казан. гос. технол. ун-та, 2006. – 184 с.
4. Пат. 2236731 Российская Федерация, МКП H01Q17, G12B17/02. Селективное покрытие для защиты от электромагнитного излучения./ Неганов В.А. , Осипов

- О.В., Долбичкин А.А.; заявитель и патентообладатель Поволжская государственная академия телекоммуникаций и информатики.
(<http://www.findpatent.ru/patent/223/2236731.html>)
5. *Алексеев, А. Г.* Физические основы технологии STEALTH/ А. Г. Алексеев, Е. А. Штагер, С. В. Козырев. – СПб.: ВВМ, 2007. – 284с.
 6. *Бикташев, А.А.* Опыт эксплуатации больших планарных дуговых испарителей/ А.А. Бикташев, В.А. Глинкин, В.В. Зеленков// Сборник докладов 8 международной конференции «Пленки и покрытия - 2007». – СПб., 2007. – С. 64-66.
 7. *Кашапов, Н.Ф.* Вакуумный стенд для нанесения функциональных покрытий / Н.Ф. Кашапов, Г.С. Лучкин, Р.Ф. Тагиров // Вестник Казан. технол. ун-та. – 2010. - № 2.- С.346-352.
 8. *Кашапов, Н.Ф.* Вакуумные технологии нанесения функциональных покрытий / Н.Ф. Кашапов, Г.С. Лучкин, А.Г. Лучкин // Вестник Казан. технол. ун-та. – 2010. - № 2.- С.340-345.

© **В. А. Глинкин** – ст. препод. каф. ВТЭУ КНИТУ, vladvac@mail.ru; **А. А. Бикташев** – генеральный директор ЗАО «Ферри Ватт».