

СОВРЕМЕННЫЕ ПРИНЦИПЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ ВАКУУМНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ НА СТЕКЛА БОЛЬШИХ ФОРМАТОВ И КРИТЕРИИ ВЫБОРА ОБОРУДОВАНИЯ

А.А. Бикташев¹, О.В. Желонкин¹, А.В. Бурмистров², В.А. Глинкин²

¹ЗАО «Ферри Ватт», г. Казань;

²КГТУ, г. Казань, Россия

Рассмотрены современные принципы проектирования вакуумных установок для нанесения покрытий на стекла больших форматов, в том числе и разработанных ЗАО «Ферри Ватт». Проведен сравнительный анализ установок различного типа. Описаны возможные варианты составных частей установки, таких как магнетроны, блоки питания, системы очистки стекла, подачи рабочих газов, спектрофотометрического контроля, и требования к ним. Обосновывается необходимость применения определенного состава оборудования для нанесения многослойных селективных покрытий.

Нанесение покрытий на стекла больших форматов по-прежнему остается одной из актуальных задач вакуумной напылительной техники и технологии. Повышаются требования к качеству, и возрастает потребность в новых видах покрытий. Наряду с зеркальными, тонированными, цветными полотнами все большим спросом пользуются стеклянные полотна с теплоотражающими и проводящими покрытиями, а недавно появились, так называемые, «самоочищающиеся» покрытия. Все более усложняются установки для нанесения покрытий и, как следствие, возникает потребность оптимизации их конструкции исходя из вида наносимого покрытия, необходимого объема производства и себестоимости продукции.

В этой статье обобщается опыт нашей фирмы как изготовителя вакуумного напылительного оборудования, опыт всех наших потребителей, а также опыт наших коллег.

Хотелось сразу оговориться, что современные принципы конструирования подразумевают, в первую очередь, применение современных устройств для нанесения покрытий и средств контроля за технологическим процессом, в то время как конструктивные решения, определяющие тип установки, остаются практически неизменными.

Различают проходные установки непрерывного действия и установки периодического действия, среди которых выделяются установки, обеспечивающие одновременную загрузку большого числа стеклянных полотен, их иногда называют установками магазинного типа.

Безусловно, установки непрерывного действия обеспечивают наибольшую производительность и минимальную себестоимость при наилучшей повторяемости и качестве продукции. Они обеспечивают производительность до 3 тыс. кв. м в час. Однако их применение эффективно только рядом с производством стекла или при наличии условий реализации больших объемов готовой продукции.

Следует учитывать трудности транспортировки стекол больших размеров, особенно с учетом невысокой стойкости к внешним воздействиям некоторых покрытий. Это и определяет высокий интерес к установкам периодического действия, способным к быстрой переналадке с одного покрытия на другое.

Установка периодического действия - это вакуумная камера с откачной системой, внутри которой расположены стеклянные полотна, между которыми перемещаются устройство распыления, ионные источники и т.д., в зависимости от комплектации.

Возможные варианты комплектации приведены в табл. 1.

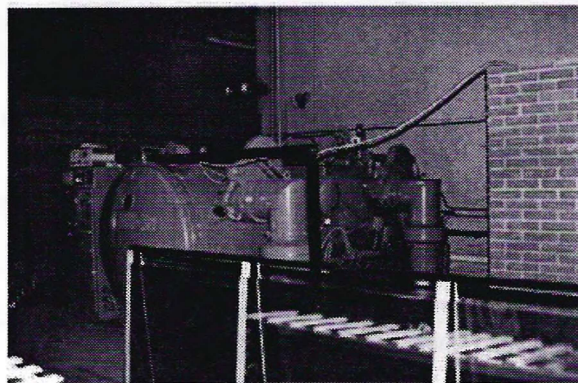


Рис. 1. Установка ВАТТ 1600-3М

Типичные представители таких установок - это установки ВАТТ 1600-2М [1] и ВАТТ 1600-3М (рис.1) с цилиндрической камерой, и установки ВАТТ 2000-2М (рис.2) и ВАТТ 2500-2М с прямоугольной камерой.

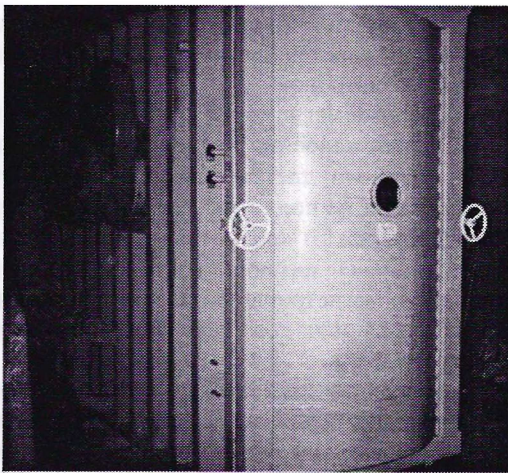


Рис. 2. Установка BATT 2000-2M

Сюда же можно отнести и установку ВНУК, выпускаемую в Томске [2]. Типичная схема таких установок проказана на рис.3

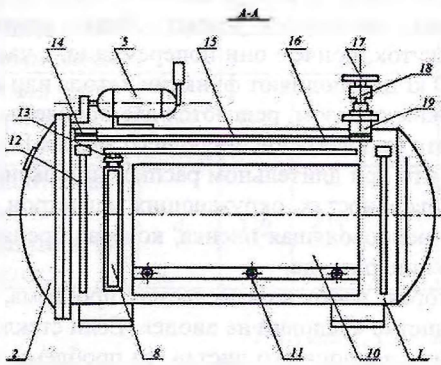


Рис. 3. Типичная схема установок периодического действия:

- 1 – камера; 2 – крышка камеры; 5 – цилиндр прижима; 8 – магнетронные распылители; 10 – загрузочное устройство; 11 – ролики; 12 – электроды ионизатора; 13 – каретка; 14 – натяжное устройство; 15 – цепь; 16 – направляющие каретки; 17 – концевые переключатели перемещения каретки; 18 – привод перемещения каретки; 19 – ввод вращательный

Такое оборудование наиболее популярно в силу своей дешевизны. Для примера: наше предприятие изготовило около 30-ти таких установок, в том числе 2 опытно-промышленные установки для нанесения селективных покрытий на стекла размерами 1300x1600.

Установки магазинного типа более экономичны, технологичны и, разумеется, имеют большую производительность. Вакуумная камера состоит из двух модулей: загрузки-выгрузки (магазинов) и модуля напыления соединенных в единый ваку-

умный объем. В таких установках стекло сканирует через модуль напыления, где происходит осаждение различных слоев покрытия. Здесь проще наносить многослойные структуры, легче осуществлять контроль параметров технологического процесса. Возможные варианты комплектации даны в табл. 2.

Установка такого типа, разработанная на нашем предприятии, называется BATT 1300x1600. Ее схема приведена на рис.4.

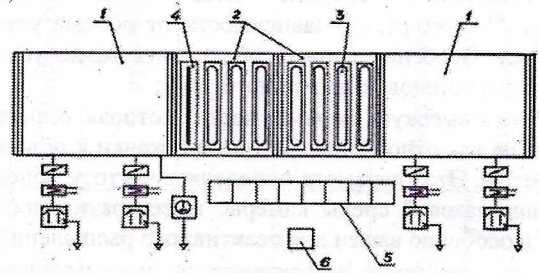


Рис. 4. Схема установки BATT 1300x1600
1 – модули загрузки-выгрузки; 2 – модули напыления; 3 – магнетроны; 4 – ионный источник; 5 – блоки питания; 6 – пульт управления

Установки под стекла больших форматов будут отличаться только габаритами. Подобная установка успешно работает в фирме «Сонг» в Московской области. Технические характеристики установок, выпускаемых ЗАО «Ферри Ватт», можно найти на сайте <http://www.magnetron.ru>.

Сравнительные характеристики установок различного типа в условном виде отображены в табл. 3. Оценка каждого параметра проводилась по пятибалльной системе, и не может быть полностью корректной. Она может изменяться в зависимости от типа покрытия, формата стекла и характеристик предполагаемого рынка сбыта. Суммарная оценка является косвенным критерием выбора типа установки и может кардинально изменяться в том случае, когда один или несколько параметров не являются принципиальными.

Например, если стоит задача производства зеркал для шкафов-купе в объеме 5...10 тыс. м²/мес., то становятся несущественными такие параметры как технологические возможности, производительность, переналадка оборудования, и суммарная оценка будет выше для установок периодического действия. Необходимо учитывать, что для подобных установок в случае производства зеркал повышаются оценки по таким параметрам, как себестоимость и качество.

Если стоит задача производства теплоотражающих покрытий в больших объемах, то выгоднее становятся установки магазинного или проходного типа.

Очевидно, что выбор типа установки, в том числе размера напыляемого стекла, определяется предполагаемым рынком сбыта и объемом инвестиций. Выбор состава установки определяется требуемым покрытием.

Основные узлы установки и требования, предъявляемые к ним.

1. Вакуумная камера с системой откачки должны обеспечивать:

- «чистый вакуум», т.е. поток натекания и газовыделения должен быть минимальным, 10...20 лкм.рт./с в зависимости от объема установки. Особенно сложно обеспечить такие условия для установок проходного типа;

- высокую динамичность, которая определяется как отношение быстроты откачки к объему камеры. Этот параметр определяет частоту обновления газовой среды камеры, имеет размерность c^{-1} и особенно важен для реактивного распыления;

- высокую эффективность использования рабочего объема с учетом размеров стекла.

2. Магнетронные распылители – это главный компонент установки, на котором нельзя экономить. Они должны обеспечивать:

- равномерность толщины покрытия по всей поверхности стекла;

- высокую скорость распыления;

- оптимальную энергию осаждаемых частиц исходя из вида наносимого покрытия

Магнетроны могут применяться классические, бипланарные, двухсторонние и дуальные, т.е. два классических магнетрона, собранных по дуальной схеме [3]. Типы магнетронных распылителей показаны на рис.5.

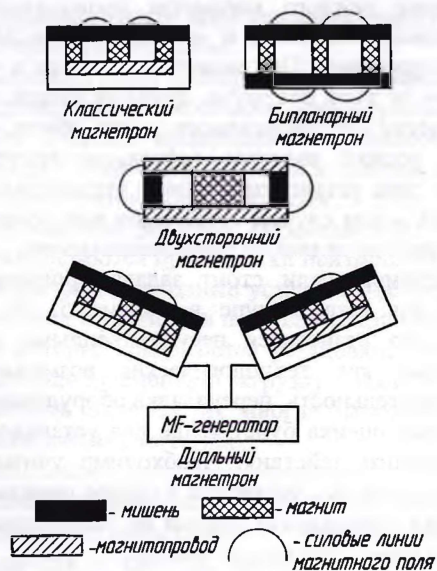


Рис. 5. Типы магнетронных распылителей

Другие известные протяженные магнетронные распылители являются частными случаями вышеуказанных магнетронов.

Бипланарные магнетроны сравнительно дешево и позволяют наносить покрытие одновременно на два стекла, но для скоростного реактивного распыления они не подходят, так как невозможно поддерживать режим «полутравленной мишени» для двух мишеней питающихся от одного блока. Классические магнетроны могут применяться или самостоятельно, или в составе дуального магнетрона.

Двухсторонние магнетроны – это магнетроны с одной токовой дорожкой, развернутой в противоположные стороны, что позволяет напылять одновременно два стекла, как и в случае бипланарного магнетрона. Но, учитывая, что мишень здесь одна, допускается скоростное реактивное распыление. Двухсторонний магнетрон, так же как и бипланарный, применяется только в установках периодического действия для нанесения покрытий на два стекла одновременно.

И, наконец, дуальная система, когда два классических магнетрона имеют общий разрядный промежуток, причем они попеременно, с частотой 20...70 кГц выполняют функции катода или анода.

Таким образом, решаются две проблемы. Первая – это проблема «исчезающего анода» [4]. Суть в том, что при длительном распылении оксидов на всех поверхностях, окружающих магнетрон, образуется непроводящая пленка, которая препятствует горению разряда.

Вторая, часто не замечаемая проблема, – это постоянство «условий на аноде». Если стекло идет в режиме «сплошного листа», то проблемы нет. В других случаях, когда магнетрон выходит за пределы стекла или стекло перемещается мимо магнетрона с разрывами, происходит резкое изменение условий на аноде, даже при наличии дополнительных или отдельных анодов. Это изменение сказывается на режиме горения магнетрона и, как следствие, на работе контроллера расхода газов. В результате может получиться неоднородность покрытия на концах стекла.

Немаловажным достоинством дуального магнетрона является также снижение вероятности возникновения микродуг, поскольку каждый из них половину периода работает анодом.

3. Блоки питания магнетронных распылителей должны обеспечивать стабильную работу магнетронных распылителей, т.е.:

- исключать дугообразование на магнетронах;

- иметь стабилизацию выходной мощности;

- обеспечивать плавную регулировку выходной мощности.

Покрытие	Вакуумная система		Магнетрон			Блок питания			Спектрофотометр	Ионный источник	Система напуска газов	
	Высоковакуумные агрегатов АВДМ-400	Насос двухроторный ДВН-150	Классический	бипланарный	дуальный	Постоянного тока	импульсный	дуальный			Клапан-натекатель	Контроллер расхода газов двухканальный
Зеркальное полотно на основе металлов и сплавов и тонировка	2-3	0-1		2		2	(2)				1	
Зеркальное полотно с защитным слоем	2-3	0-1		4		2	(2)				1	
Цветная тонировка	2-4	0-2			1			1	(1)			1
Теплоотражающее и солнцезащитное Е-стекло	4	1-2	(2)	1	1	1	(2)	1	(1)			1

Таблица 1. Состав установок периодического действия (* В скобках указан предпочтительный вариант.)

Блоки питания могут быть постоянного тока, импульсные и дуальные импульсные. Импульсные блоки имеют на выходе униполярные, биполярные асимметричные или биполярные симметричные импульсы с частотой 20...70 Гц и позволяют решать проблему дугообразования на мишени, в том числе и для случаев реактивного распыления. Это особенно актуально для магнетронных систем большой мощности, применяемых при напылении стекол большого формата. Очень подробно преимущества импульсных систем и их особенности описаны Кузьмичевым А.И. [5].

При выборе дуального импульсного блока нужно обязательно учитывать два момента. Первый – это форма выходного импульса, которая может быть прямоугольной (жесткая характери-

стика) и синусоидальной (мягкая характеристика). У блоков питания с жесткой характеристикой выше коэффициент заполнения импульса и, как следствие, выше стабильность работы магнетрона, хотя они и заметно дороже. Второй момент – это симметрия нагрузки, что особенно важно для реактивного распыления. Дело в том, что невозможно изготовить два абсолютно одинаковых магнетрона и обеспечить им одинаковые условия работы. Здесь напрашивается аналогия с бипланарным магнетроном, где две зоны распыления питаются от одного блока. Поэтому блок питания должен обеспечивать регулировку выходной мощности для каждого магнетрона, что для синусоидальных систем сделать трудно без ухудшения рабочих характеристик.

Покрытие	Вакуумная система		Магнетрон			Блок питания			Спектрофотометр	Ионный источник	Система напуска газов	
	Высоковакуумные агрегатов АВДМ-400	Насос двухроторный ДВН-150	Классический	бипланарный	дуальный	Постоянного тока	импульсный	дуальный			Клапан-нагреватель	Контроллер расхода газов двухканальный
Зеркальное полотно на основе металлов и сплавов и тонировка	4	1	4			2	(2)			(1)	1	
Зеркальное полотно с защитным слоем	4	1	4			2	(2)			(1)	1	
Цветная тонировка	4-6	2			1-2			1-2	1	1		1
Теплоотражающее и солнцезащитное Е-стекло	4-6	2	1		1-2	1	(1)	1-2	1	1		1

Таблица 2. Состав установок магазинного типа
(* В скобках указан предпочтительный вариант.)

4. Система внутрикамерной обработки стекла перед напылением может включать:

- Обработку в тлеющем разряде;
- Обработку потоком ионов из ионного источника;
- Нагрев.

Конечно, лучше для подготовки стекла использовать все возможности. Это тот случай, когда трудно перестараться. На практике приходится исходить из «достаточности» того или иного способа подготовки, но в любом случае обработка в тлеющем разряде или потоком ионов обязательна. Принципиально важное различие между ними в том, что поток ионов из ионного источника очищает в основном лицевую поверхность стекла, а тлеющий разряд очищает почти все поверхности в камере. При этом удаляемые с внутренних элементов камеры загрязнения могут попадать как на стекло, так и на мишени магнетронов, что может вносить нарушения в осаждаемое покрытие. Кроме того, энергия ионного потока выше, и очищает он лучше. Главной же задачей обработки в тлею-

щем разряде и потоком ионов из ионного источника является активация поверхности для обеспечения хорошей адгезии. Немаловажным фактором является также стоимость ионного источника с блоком питания. Высокую эффективность показывает и разогрев стекла перед напылением. Кроме того, нагреватели можно использовать для периодической очистки камеры.

5. Система контроля покрытия должна определять оптические свойства покрытия.

Можно определять прозрачность стекла на выделенной длине волны (по одной точке) [6], по нескольким точкам или по всему видимому спектру и ближней инфракрасной области [7]. Для цветной тонировки достаточно вести контроль по одной или нескольким точкам.

Для теплоотражающих покрытий принципиальное значение имеет форма кривой коэффициентов пропускания в видимой и ближней инфракрасной области, поскольку важны не только максимальные или минимальные значения, но и интегральная величина коэффициента пропускания. Если на установке наносится один вид покрытия,

то при строгом соблюдении технологического процесса достаточно вести измерения по нескольким точкам, хотя при изменении каких-то факто-

ров, не зависящих от оператора (например, погоды на улице), возможны отклонения от заданной кривой.

Таблица 3

Сравнительные характеристики установок различного типа для нанесения покрытий на стекла большого формата

Наименование параметра	Условный суммарный показатель	Стоимость комплекта оборудования	Себестоимость покрытия	Технологические возможности	Требуемые производственные площади	Производительность	Качество покрытия	Переналадка оборудования на другой вид покрытия	Объем минимальной партии стекла с одинаковым покрытием	Объем максимальной партии стекла с одинаковым покрытием
Установки периодического действия	25	5	1	2	5	1	2	2	5	2
Установки магазинного типа	38	4	4	5	4	3	5	5	4	4
Установки проходного типа	32	1	5	5	1	5	5	4	1	5

Если же планируется наносить различные покрытия, то рекомендуется поставить спектрофотометр, который должен быстро и точно измерять коэффициенты отражения и пропускания во всем видимом диапазоне световых волн и ближней инфракрасной области, показывать полученные кривые на мониторе компьютера и сравнивать их с заданными по технологическому процессу.

б. Система подачи рабочих газов в самом простом случае представляет собой обычный игольчатый натекатель. Для напыления зеркал этого вполне достаточно. При реактивном распылении необходимо устанавливать контроллер расхода газов, который поддерживает поток реакционного газа в соответствии с потоком распыленного металла, т.е. поддерживает «полуотравленное» состояние мишени. Сходимость системы в случае случайных возмущений определяется типом регулятора и динамичностью вакуумной системы. Общее давление в вакуумной камере поддерживается натекателем подачи аргона по сигналу с вакуумметра.

Возможен и другой вариант, когда натекателем подачи реакционного газа поддерживается определенный постоянный поток, а режим мишени поддерживается изменением мощности блока питания. Так, например, работает проходная установка на заводе «Стекломаш» в Орехово-Зуево. В этом случае контрольной величиной является напряжение разряда магнетрона, которое изменяется в зависимости от изменения режима мишени.

Некоторая неоднородность покрытия по толщине при возникновении случайных возмущений нивелируется наличием несколько магнетронных

распылителей, но определенный разброс параметров должен присутствовать.

Все составляющие установки должны быть увязаны в единую систему и чем сложнее покрытие, тем выше требования к комплектации и согласованию всех узлов.

Например, низкоэмиссионное покрытие состоит из слоев металлов и оксидов или нитридов металлов. Напыление простых металлов не вызывает особых затруднений, хотя для полного исключения брака рекомендуется применять импульсные системы питания. Нанесение оксидов металлов с хорошей скоростью и повторяемостью требует применения дуальной распылительной системы, контроллера расхода газов и спектрофотометра. Устанавливать все эти дорогостоящие системы на малопроизводительные установки периодического действия имеет смысл только для больших форматов стекла, например, шириной 1600 или 2250 мм.

Исходя из вышеизложенного и учитывая возможности рынка, для нанесения селективных покрытий рекомендуется использовать установки периодического действия для стекол шириной от 1600 мм, и установки магазинного типа для любых форматов. Установки должны иметь хорошую динамику вакуума (не менее 1 с^{-1}), импульсные системы распыления, в том числе дуальные для реактивного распыления, спектрофотометр и контроллер расхода газов. Для установок магазинного типа обязательным является применение ионного источника и двухуровневой системы управления на базе контроллера и ПЭВМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.А. Бикташев, О.В. Желонкин, А.В. Бурми-
стров, В.А. Глинкин. Оборудование для нане-
сения различных функциональных покрытий
на стекло //Вакуумные технологии и оборудо-
вание. Харьков, 2001, с. 337–338.
2. Н.С. Сочугов, С.П. Бугаев, Н.Ф. Ковшаров,
О.Б. Ладыженский. Технологическая установ-
ка ВНУК для нанесения теплоотражающих
покрытий на архитектурные стекла // Докл. VI
конф. «Модификация свойств конструкцион-
ных материалов пучками частиц и потоками
плазмы». Томск, 23-29 сентября 2002 г.,
с. 43–46.
3. U. Heister, J. Krempel-Hesse, J. Szczyrbowski,
G. Teschner, J. Bruch, G. Brauer. TwinMag™II:
attempts to improve an excellent sputter tool
//Thin Solid Films. 1999, p. 27–31.
4. В.И. Чайрев. Влияние конструкционных осо-
бенностей анодного узла магнетрона на пара-
метры разряда и на свойства получаемых ди-
электрических пленок //Труды постоянно дей-
ствующего семинара «Электровacuумная тех-
ника и технология», 1997/1998 гг., с. 62–76.
5. А.И. Кузьмичев. Импульсные магнетронные
распылительные системы. Лекция для моло-
дых ученых и специалистов //Тонкие пленки в
оптике и электронике. Харьков, 2002,
с. 221–242.
6. А.Н. Захаров, С.П. Бугаев, О.Б. Ладыженский,
Н.Ф. Ковшаров, Р.М. Распутин, Н.С. Сочугов.
Технология нанесения многослойных спек-

трально-селективных покрытий на архитек-
турное стекло //Сб. докл. VI конф. «Модифи-
кация свойств конструкционных материалов
пучками частиц и потоками плазмы». Томск,
23-29 сентября 2002г., с. 617–620.

7. А.В. Виленский, Б.Г. Лысой, О.Б. Череди-
ченко. Скоростной призмный спектрофото-
метр для контроля вакуумного напыления оп-
тических покрытий //Труды постоянно дейст-
вующего семинара «Электровacuумная техни-
ка и технология», 1997/1998 гг., с. 125–128.

**THE MODERN PRINCIPLES
OF CONSTRUCTING VACUUM UNITS
FOR COATING LARGE-DIMENSIONAL
GLASSES AND CRITERIONS OF EQUIPMENT
CHOISE**

*A. A. Biktashev¹, O. V. Jelonkin¹,
A. V. Burmistrov², V. A. Glinkin²
¹"FerriVatt" JSC, Kazan;
²KSTU, Kazan*

*The modern principles of projection of vacuum
units for coating large-dimensional glasses, including
those, developed by "FerriVatt" JSC have been
examined. Comparative analyses of different-type
units have been done. Probable variants of unit's
components, like magnetrons, power supplies, glass
cleaning, working gases giving, spectrophotometer
control, and demands to them have been described.
Necessities of definite structure of equipment for
multi-layer selective coatings have been grounded.*