

Автореферат
Г 23 Г 85

Министерство высшего и среднего специального образования УССР
Одесский технологический институт им. М.В. Ломоносова

На правах рукописи

С. И. ГРИНШПУН

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПРОЦЕССОВ
ТЕХНОЛОГИИ ЗАЩИТНО-ДЕКОРАТИВНЫХ
ВАКУУМНЫХ ПОКРЫТИЙ**

№ 353, Химическое сопротивление,
защита от коррозии.

Автореферат

диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук

Одесса - 1968.

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Одесский технологический институт им. М.В. Ломоносова

На правах рукописи

С. И. Гриншпун

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПРОЦЕССОВ ТЕХНОЛОГИИ
ЗАЩИТНО-ДЕКОРАТИВНЫХ ВАКУУМНЫХ ПОКРЫТИЙ

№ 353, Химическое сопротивление,
защита от коррозии.

Автореферат

диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук

Научный консультант

доктор физико-математических
наук, академик АН Латв. ССР
И.М. Кирко

Переучет 19, 87

VO. B. 1470

Одесса - 1968



15.07.11

ОНАХТ

Исследование основны



v001470

Работа выполнена в Специальном конструкторском бюро вакуумных покрытий при Госплане Латвийской ССР.

Научный консультант:
академик АН Латв. ССР
И. М. Кирко.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор
Н. В. Катц

кандидат технических наук
Г. В. Морозов

Ведущее предприятие - ордена Ленина Рижский государственный электротехнический завод ВЭФ.

Автореферат разослан "8" мая 1968 г.

Защита состоится "14" июня 1968 г. на заседании Совета Одесского технологического института имени М. В. Ломоносова, г. Одесса, ул. Свердлова, 112.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ОТИ.

Ученый секретарь Совета

Л. А. Запорожец

(Запорожец Л. А.)

ВВЕДЕНИЕ

Металлизация в вакууме является сравнительно новым технологическим процессом и, практически, применяется в нашей стране для общепромышленных целей в течение последних пяти лет.

Процесс нанесения тонких металлических слоев на различные материалы основан на свойстве атомов металла, образованных в результате термического испарения в условиях высокого разрежения, перемещаться и оседать на поверхности тел, поставленных на их пути.

Благодаря своей высокой технологической и экономической эффективности процесс вакуумного покрытия лег в основу создания качественно новой технологии нанесения токопроводящих слоев металла на диэлектрики, получения светоотражающих и теплоотражающих пленок и, кроме того, позволил создать новый вид защитно-декоративного покрытия. В первую очередь этот процесс нашел промышленное применение в создании специальной оптики и в радиоэлектронике.

Процессы термического испарения в вакууме и получения покрытий в производстве оптики и в радиоэлектронной промышленности ведутся при разрежении 10^{-5} - 10^{-6} тор. Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, проводимые в этих отраслях промышленности, направлены на создание вакуумных установок, обеспечивающих ведение процесса с еще большей степенью разрежения: 10^{-7} тор и выше.

В ряде отраслей промышленности процесс вакуумной металлизации применяется при разрежении 10^{-3} - 5×10^{-4} тор., что позволяет увеличить производительность процесса и определяет его высокую экономическую эффективность. Внедрение процесса металлизации в вакууме общепромышленного назначения преследует цель замены в ряде отраслей производства драгоценных и цветных металлов, устранения трудоемких руч-

ных операций и ликвидации вредных условий труда в процессе создания защитно-декоративных покрытий.

Универсальный характер процесса, возможность нанесения металлических и неметаллических покрытий на различные материалы и изделия - позволяет получать новые материалы, объединяющие в себе определенные свойства, например, капрона и алюминия или лавсановой пленки и серебра.

Использование процесса металлизации в вакууме стало необходимым при решении ряда проблем, возникших в народном хозяйстве.

Первые области применения металлизации в вакууме в общепромышленных целях были определены постановлениями правительства, направленными на исключение серебра при производстве зеркал, термосов, дюжаров и др. и на замену его алюминием. Затем были поставлены задачи:

1. В целях экономии никеля и ликвидации тяжелого и вредного ручного труда по шлифовке и полировке изделий заменить алюминированием в вакууме процесс гальванического никелирования металлических деталей осветительной арматуры, велосипедов, электроприборов и др.
2. Для сокращения расхода листового алюминия и повышения к.п.д. светильников внедрить вакуумное алюминирование в производство зеркальных отражателей люминесцентных светильников.
3. В целях экономии цветного металла, сокращения ручных операций и получения высокого защитно-декоративного эффекта создать на пластмассах металлическое алюминиевое покрытие и покрытие из сплава меди и алюминия, имитирующее серебряное и золотое покрытие в приборостроении, в производстве радиопродукции, автомобилестроении и др.
4. В целях получения теплоотражающих материалов и материалов с новым защитно-декоративным эффектом организовать

производство металлизированных тканей и пленок для изготовления теплоотражающих и теплосохраниющей одежды и упаковки пищевых продуктов.

5. Для замены в консервном и кондитерском производстве белой луженой жести создать линию непрерывного алюминирования в вакууме стальной ленты.

6. В целях экономии алюминиевой фольги, применяемой в пищевой и кондитерской промышленности, организовать производство алюминированной бумаги и целлофана.

В работе приведены данные о комплексе научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, выполненных автором и использованных при создании и внедрении в производство вакуумметаллизационного оборудования, предназначенного для получения вакуумных покрытий на изделиях и материалах общепромышленного назначения.

П. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Основными процессами, определяющими эффективность и конкурентоспособность технологии нанесения вакуумных покрытий являются:

1. Создание рабочего разрежения в вакуумном объеме металлизационной установки.
2. Окончательная очистка поверхности деталей (материала), подлежащего покрытию.
3. Испарение металла и конденсация паров покрытия на подложке.

Исследования проводились с целью установления рациональной схемы откачного устройства металлизационных установок с периодическим и полунепрерывным циклом металлизации, установления эффективной формы электрода тлеющего разряда, используемого для ионной бомбардировки металлируемой по-

верхности перед нанесением покрытия и определения оптимальных параметров конструкции испарительных элементов и систем.

1. Определение оптимальной схемы откачного устройства

Применение метода нанесения покрытий в вакууме для общепромышленных целей позволяет вести процесс нанесения, например, алюминия при разрежении порядка 1×10^{-3} тор. Периодичность циклов металлизации связана с многократной загрузкой в камеру партии изделий или материала, испарением порции металла, впуском воздуха и перезарядкой камеры новой партией продукции.

Для определения влияния продолжительности цикла откачки на производительность установки на основании циклограммы работы установки были построены графики и получена формула этой зависимости.

$$y = ax + b$$

При изменении продолжительности цикла в пределах 9-15 минут производительность установки, выраженная в 1000 кв.м покрытия, определяется:

$$y = \begin{cases} - 0,66 x + 21,45 & \text{при } 12 \leq x \leq 15 \\ - 0,7 x + 23,2 & \text{при } 9 \leq x \leq 12 \\ - 1,29 x + 27,6 & \text{при } 7 \leq x \leq 9 \end{cases}$$

где y - производительность установки;

x - продолжительность цикла в минуту.

Для промышленных установок решающим является выбор рациональной системы откачки.

Выпускаемые отечественной промышленностью высоковакуумные насосы "единой серии" имеют низкую производительность

в области давлений 10^{-2} - 10^{-4} тор. В результате осуществления серии экспериментов, снятия циклограммы работы установки при различных комбинациях насосов и проведения графического анализа характеристик серийных насосов была создана откачная схема, приведенная на рис. 1.

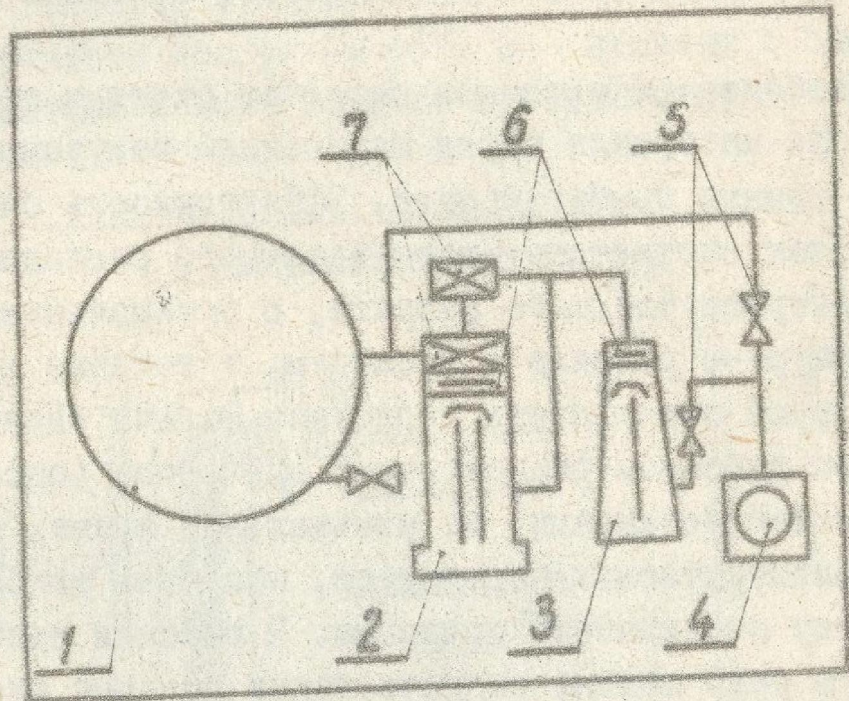


Рис. 1. Схема откачки установки периодического действия:

1 - вакуумная емкость; 2 - высоковакуумный насос; 3 - бустерный насос; 4 - форвакуумный насос; 5 - вентили; 6 - ловушки; 7 - затворы.

В отличие от существующих схем, при достижении разрежения 1×10^{-1} тор., бустерный насос включается параллельно к камере, и при разрежении 5×10^{-3} тор. автоматически присоединяется к выпускному отверстию высоковакуумного насоса.

Эта схема была признана и утвердилась как типовая для вакуумметаллизационных установок общепромышленного назначения. Схема откачки с устройством вакуумного прижима крышки (на схеме рис. 1 не показано) прошла экспертизу Комитета изобре-

тений и открытий с положительным решением от 10/1 1968 г.
 № 1063126/22-1 о выдаче авторского свидетельства.

2. Определение эффективной формы сечения электрода тлеющего разряда для установок периодического действия

Наиболее эффективным способом очистки поверхности изделия или материала перед нанесением вакуумных покрытий является ионная бомбардировка. Эффективность очистки достигается путем соответствующего взаимного расположения подложки и электрода тлеющего разряда, с оптимальными электрическими параметрами разряда и временем, в течение которого ионы бомбардируют поверхность подложки. Задача сводится к тому, чтобы при заданном расположении электрода (определяемом конструкцией установки) за минимальное время, при рекомендованных электрических параметрах, получить наиболее эффективную очистку поверхности подложки. В решении этой задачи определенную роль должна сыграть форма сечения электрода тлеющего разряда. Для установления эффективной формы электрода тлеющего разряда, была предложена схема эксперимента, в котором эффективность очистки измерялась изменением электрического сопротивления подложки, как результата нагрева ее (рис. 2).

Подложка 3 с нанесенным на нее пленочным сопротивлением размещается на подставке 4, регулируемой по высоте. Переключатель 5 находится внутри под колпаком 1 и переключается вакуумуплотненным приводом. Электрод тлеющего разряда 2 отделен от держателя электрода 8 стеклянным дисковым экраном 6 и помещен в стеклянную трубку 7 для того, чтобы поток ионов с его поверхности не участвовал в бомбардировке подложки.

Расстояние от оси электрода до подложки, установленное одинаковым для электродов всех сечений, равно 70 мм, при котором подложка находилась на границе темного катодного

пространства. Эффективность очистки определялась для следующих форм сечения электродов:

1 - цилиндр; 2 - полуцилиндр, обращенный поверхностью к подложке; 3 - полуцилиндр, обращенный плоскостями разреза к подложке; 4 - цилиндр с двумя отверстиями диаметром 6 мм в боковой поверхности под углом 60° ; 5 - цилиндр с одним отверстием диаметром 6 мм в боковой поверхности; 6 - плоский электрод.

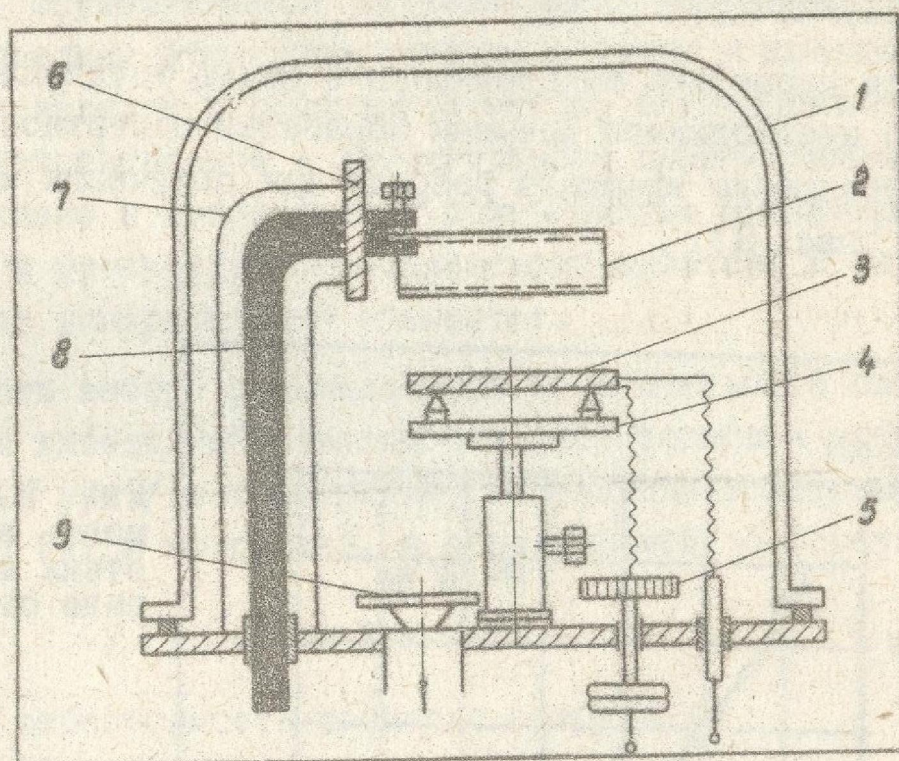


Рис. 2. Схема эксперимента по определению эффективной формы сечения электрода тлеющего разряда: 1 - стеклянный колпак; 2 - электрод; 3 - пластина с пленочными сопротивлениями; 4 - подставка; 5 - переключатель сопротивления; 6 - экран; 7 - стеклянная трубка; 8 - электрод; 9 - маслоотражатель.

Эксперименты показали наибольшую эффективность плоского электрода и электрода в форме вогнутого полуцилиндра, однако равномерность обработки у первого электрода выше.

Приведенные исследования послужили основанием конструкторской разработки электрода тлеющего разряда для установок общепромышленного назначения. Принятие рекомендации плоской формы электрода позволило совместить поддон, размещаемый под испарителем для улавливания брызг алюминия, с электродом тлеющего разряда.

Это конструктивное решение защищено свидетельством на изобретение № 209942 с приоритетом от 21/У1 1966 г. (1084511/22-2).

Были проведены эксперименты с целью установления минимально необходимого времени обработки поверхности при данном потенциале тлеющего разряда для получения надежной адгезии (рис. 3).

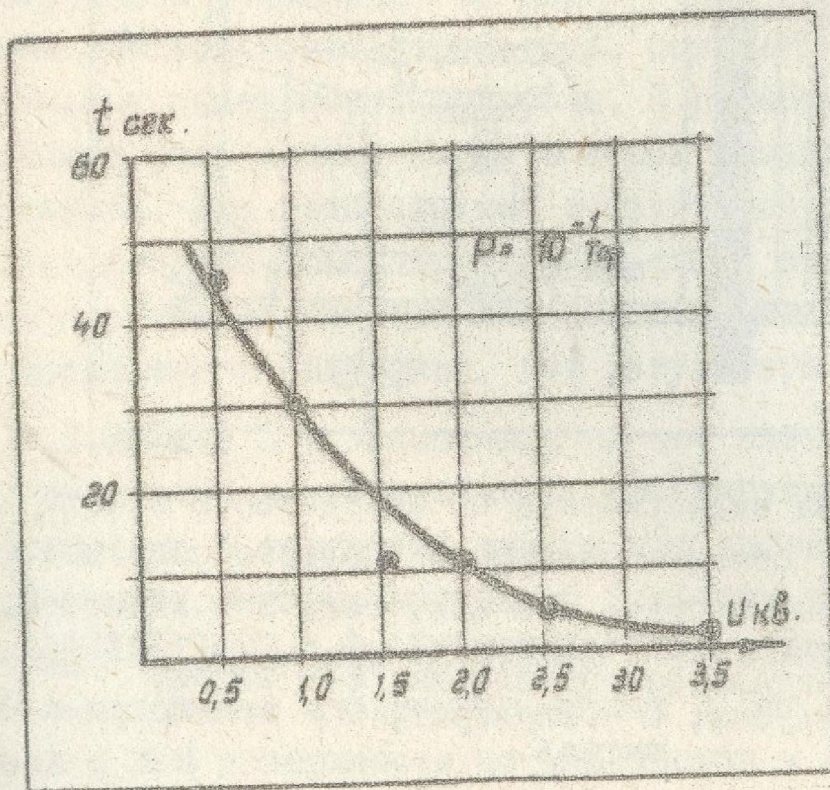


Рис. 3. Зависимость времени действия тлеющего разряда от напряжения.

3. Исследование работы испарительных систем

а) исследование технологических и конструкторских параметров испарительных элементов установок периодического действия.

Наряду с развитием техники нанесения покрытия в установках полунепрерывного и непрерывного действия с помощью испарительных устройств, использующих электроннолучевой нагрев, значительное место в промышленности занимают вакуумные покрытия, осуществляемые на установках периодического действия. Последнее относится главным образом к алюминированию штучных изделий в радиотехнической, электротехнической, приборостроительной и автомобильной промышленности. Указанное связано с возрастающей потребностью в вольфраме, используемом в установках периодического действия в качестве материала испарительных элементов.

Актуальность выбора рационального испарительного элемента ясна из выведенной зависимости себестоимости процесса покрытия (в руб./кв. м покрытия) от расхода вольфрама (в кг на 1000 кв. м покрытия), и определяемой по формуле

$$y = 0,0291 x + 0,21$$

где y - себестоимость процесса покрытия;
 x - расход вольфрама.

Приведенная зависимость выведена для условного срока службы испарительного элемента, разрушаемого испаряемым алюминием.

В процессе исследования характера и динамики этого разрушения была установлена зависимость себестоимости покрытия (в руб./1000 кв. м) от срока службы испарительных элементов (количества циклов испарения). Эта зависимость выражена формулой $y = y_0 + ax^{-n}$

При изменении количества циклов от 1 до 25 себестоимость 1000 кв. м покрытия изменяется в соответствии с уравнением.

$$y = 220 + \frac{800}{x^{1,43}}$$

Оптимальные параметры испарительных элементов и систем устанавливались по результатам экспериментов, выполненных для схем нанесения покрытий при неподвижных подложках и движущемся испарителе, подвижных подложках относительно неподвижного испарителя, при различных режимах нагрева и охлаждения испарителя (рис. 4).

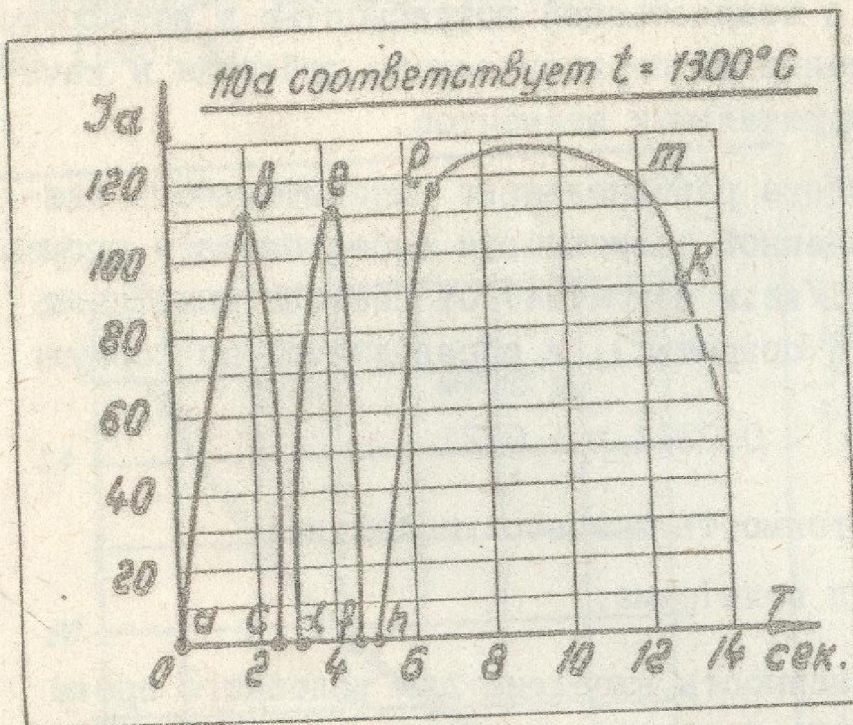


Рис. 4. Циклограмма нагрева рамочного испарителя с одиночными спиралями (ниточный испаритель).

В точке "а" происходит включение полного тока накала спиралей испарителя для достижения температуры порядка 1300°C . Накал спирали в течение 2-х секунд (в точке "в" выключение тока) успевает только прогреть и размягчить алюминий. (На отдельных витках образуются капли.) Второе включение "d" с интервалом в 0,5 сек (cd') снова дает накал и алюминий успевает расплавиться за 1,5 секунды (точка "е" - отключение тока). Затем, через 0,5 секунды (точка "h") снова включается ток накала и происходит активное испарение ("m").

(За счет растекания алюминия в начале кривой сопротивление снижается, ток возрастает и соответственно увеличивается интенсивность испарения.) В точке "л" - ток выключается. "м" - пауза для охлаждения спирали (1 секунда), затем в точке "к" - открытие вентиля впуска воздуха.

При этом определялась оптимальная навеска алюминия, испаряемая полностью (до "сухости" нити) за каждый цикл испарения. Определен и выражен графически характер распределения покрытия при увеличении скорости движения испарителя, увеличении температуры нагрева испарительного элемента, увеличении порции испаряемого металла.

Экспериментально установлен поправочный коэффициент к теоретической толщине покрытия при испарении с помощью ниточного испарителя для промышленных установок, равный 0,323. Фактическая толщина покрытия, получаемая в опытно-промышленной установке в 3,1 раза меньше теоретической, определяемой по формуле Холленда.

Выведенный коэффициент проверен для случая испарения со спирального (цилиндрического) испарительного элемента. Теоретическая толщина покрытия на подложке, определенная по формуле Холленда, оказалась в 3,08 раза больше фактической толщины покрытия.

Был проведен комплекс экспериментов с целью получения данных взаимного расположения испарителя и подложки при минимально допустимом разрежении (порядка 4×10^{-3} тор).

Поставленный эксперимент позволил установить, что атомы испаряемого металла испытывая ряд соударений и расходуя часть кинетической энергии, достигали подложки, создавая приемлемое покрытие. Это позволило создать серию вакуумных установок, в которых создавался диффузный поток испаряемого металла, конденсированного на объемных деталях, расположенных в центре вакуумного объема. По результатам экспериментов была выведена зависимость удельного расхода алюми-

ния и вольфрама от загрузки вакуумкамеры продукцией (рис.5) и получена формула этой зависимости:

$$y = -ax + b$$

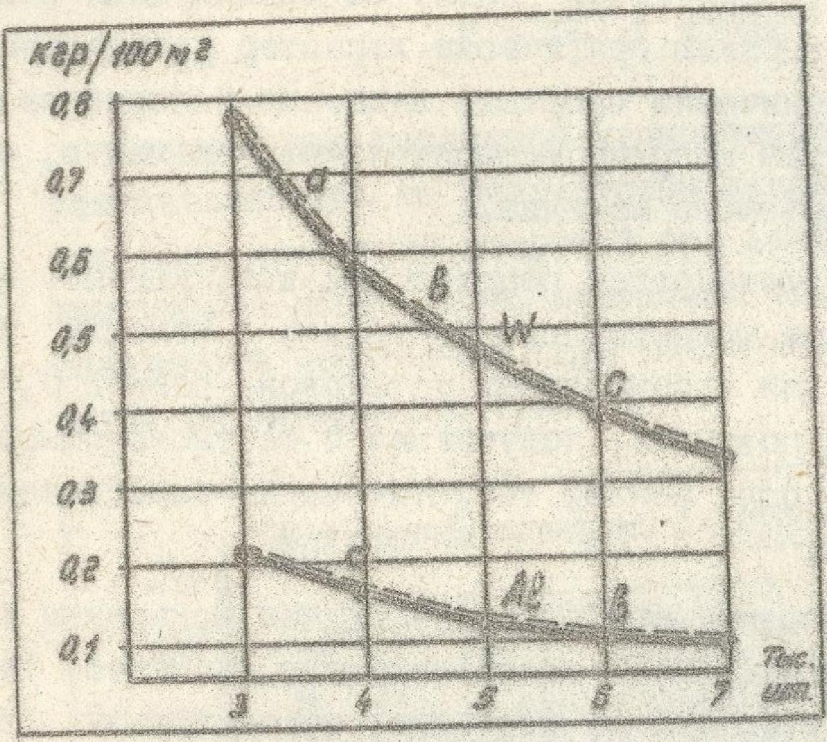


Рис. 5. Зависимость удельного расхода алюминия и вольфрама в установке периодического действия от загрузки вакуумкамеры продукцией.

Для вольфрама

$$y = \begin{cases} -8,25 \cdot 10^{-5} x + 0,91 & \text{при } 5000 \leq x \leq 7000 \\ -1,1 \cdot 10^{-4} x + 1,03 & \text{при } 4000 \leq x \leq 5000 \\ -1,9 \cdot 10^{-4} x + 1,35 & \text{при } 3000 \leq x \leq 4000 \end{cases}$$

где y - расход вольфрама;
 x - количество единиц продукции.

Для алюминия

$$y = \begin{cases} -1,5 \cdot 10^{-5} x + 0,195 & \text{при } 5000 \leq x \leq 7000 \\ -4,5 \cdot 10^{-5} x + 0,345 & \text{при } 3000 \leq x \leq 5000 \end{cases}$$

где y - расход алюминия;
 x - количество единиц продукции.

Экспериментально была установлена циклограмма нагрева и охлаждения спиралей испарителя, позволившая увеличить производительность испарителя на 20%.

б) исследование работы испарительных систем в установках полунепрерывного действия для металлизации рулонных материалов.

Исследован характер распределения покрытия на подложке при испарении с помощью металлокерамического элемента в форме бруска прямоугольного сечения, длина которого в 15-17 раз больше большей стороны прямоугольника сечения.

Анализ результатов экспериментов позволил установить идентичность кривых распределения температурного поля испарителя с распределением толщины покрытия на подложке. Экспериментальные результаты распределения толщины покрытия достаточно хорошо описываются уравнением вида

$$y = a \sin \frac{\pi}{b} (x + c),$$

где y - толщина покрытия в процентах от максимальной;
 x - ширина подложки.

a - величина, соответствующая 100% толщины покрытия,
 b - (периодичность функции) соответствует полупериоду,
 c - величина смещения подложки от оси ординат.

В результате графических преобразований и аппроксимирования получаем уравнение для распределения толщины покрытия на подложке шириной 300 мм, длине испарителя 180 мм, расстояние подложки от испарителя $h = 250$ мм, при температуре в центральной точке испарителя 1370°C и подаче алюминия 1,5 гр/мин.

$$y = 0,95 \sin \frac{\pi}{12} (x + 3,5)$$

В результате проведенных экспериментов были установлены коэффициенты равномерности распределения алюминия (отноше-

ние $\frac{\Delta T_{\text{тис}}}{\Delta T_{\text{тис}}}$) на движущейся подложке шириной 600 мм при различных скоростях ее движения (от 15 до 40 м/мин) относительно испарительной системы, состоящей из трех брусков, расположенных вдоль оси движущейся подложки и от трех брусков, расположенных поперек оси подложки, при различных расстояниях между брусками, и различных расстояниях от брусков до подложки, а также при наклоне крайних брусков на 3-6°.

Экспериментальные данные были сопоставлены с расчетными и установлено совпадение теоретических кривых с кривыми, построенными графическим методом на основе экспериментов с одиночным брусковым испарителем, а также с данными эксперимента, проведенного на промышленной установке с полным комплексом испарителей. Был установлен коэффициент использования паров алюминия (отношение веса сконденсированного алюминия к весу испаренного) при поперечном и продольном расположении испарительных элементов. Этот коэффициент на 10% выше для поперечного расположения брусков. Комплекс проведенных экспериментальных работ на лабораторной установке, графический прогноз работы испарительной системы, состоящей из трех испарительных элементов, проверка и доводка результатов на опытно-промышленной установке позволило определить основные параметры испарительных устройств вакуумных установок для металлизации рулонных материалов в полунепрерывном цикле покрытия.

Результаты исследования использованы в конструкциях нескольких типов вакуумных установок, внедренных в промышленность.

Ш. ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ОТКАЧНЫХ СИСТЕМ, ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОДОВ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА И ИСПАРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ В КОНСТРУКЦИЮ УСТАНОВОК ОБЩЕПРОМЫШЛЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ

На базе проведенных исследований и экспериментов было сконструировано и изготовлено несколько типов вакуумных установок, внедренных в народное хозяйство страны в различных отраслях производства.

1. Установка вакуумная для алюминирования стальных отражателей зеркальных люминесцентных светильников, производительностью 14 кв. м в час (примерно 60 отражателей в час). Диаметр вакуумной камеры 1800 мм, длина 2000 мм. Цикл алюминирования 20 мин. Экономическая эффективность внедрения одной установки 48 тыс. руб. в год. Установки этого типа внедрены на ленинградском комбинате "Газосвет", Рижском светотехническом заводе.

2. Установка вакуумная для алюминирования объемных деталей вместо серебрения их методом химического осаждения. Производительность 1,5 мл. деталей в год размером вписывающихся в шар диаметром 70 мм. Одна вакуумная установка высвобождает 127 кг серебра в производстве термосов, дьюаров и др. изделий, создавая экономию 19,9 тыс. руб. в год. Четыре таких установки внедрены на Рижском стеклозеркальном заводе.

3. Установка вакуумная для алюминирования плоских деталей размером 1500 x 630 мм, производительность установки 18 кв. м в час. Диаметр камеры 1800 мм, длина 2000 мм. Цикл металлизации 20 минут. Шесть вакуумных установок этого типа внедрено на пяти предприятиях страны с годовым экономическим эффектом 261,2 тыс. руб. и высвобождено 2,4 т серебра в год.

4. Установка вакуумная для алюминирования стальных деталей вместо гальванического никелирования. Диаметр камеры

№ 0.0. 1470

1800 мм, длина 2000 мм. Внедрением одной установки достигается экономия в 10 тонн анодного никеля. Две установки такого типа внедрены с экономическим эффектом 200,8 тыс.руб. Одна установка действует на Лиепайском заводе металлоизделий, а вторая - на Краматорском машиностроительном заводе.

5. Установка вакуумная для металлизации стальных, пластмассовых, керамических и стеклянных деталей и изделий радиопромышленности, приборостроения, автомобильного и авиационного производства. Диаметр камеры 800 мм, длина 1000 мм. Установка снабжена электродом тлеющего разряда, совмещенным с поддоном испарителя (защищена авторским свидетельством № 209942 от 26/1У 1966 г.). Испаритель позволяет наносить алюминий, медь, сплавы, поочередно и одновременно за 1 цикл. Продолжительность цикла 12 мин. 22 вакуумных установки этого типа внедрены в различные отрасли народного хозяйства с экономическим эффектом 2222 тыс. руб. в год.

6. Установка вакуумная для нанесения хрома. Две камеры с общим коллектором снабжены одной откачной системой. Электрод тлеющего разряда совмещен с испарителем. (Защищено авторским свидетельством № 178635 от 15/Х1 1965 г.) Продолжительность цикла металлизации 15 мин. Экономическая эффективность внедрения одной установки на заводе "Аусма" (Латвийская ССР) составляет 44,1 тыс. руб. в год.

7. Технологическая линия для металлизации пленок и тканей шириной до 1200 мм для придания им теплоотражающих свойств и декоративного вида. Линия состоит из четырех агрегатов: 1) агрегат вакуумной сушки и дегазации; 2) вакуумный пост хранения; 3) вакуумметаллизационной установки и 4) установки для перемотки и визуального контроля. Производительность установки 1 млн. метров в год. Экономическая эффективность 470 тыс. руб. в год. Линия внедрена на Рижском комбинате "Ригас аудумс".

8. Установка вакуумная для алюминирования тонких полимерных пленок шириной до 600 мм, производительностью 1,5 млн. метров в год при толщине нанесения за один цикл 0,02 мк. Установка внедрена на Рижском комбинате "Ригас аудумс".

9. Разработан проект опытного агрегата для непрерывного алюминирования стальной ленты, предназначенной для нужд консервной и кондитерской промышленности вместо белой луженой жести. Экономический эффект от внедрения определяется высвобождением 15,2 тонн пищевого олова (на 1000 тонн белой жести) и 35,2 тыс. руб. Агрегат предназначен для установки на Лысенском металлургическом заводе.

10. Разработан проект технологической линии для алюминирования бумаги. Алюминированная бумага (и целлофан) предназначена для замены фольги в пищевой и кондитерской промышленности в упаковке чая, папирос и др. пищевых продуктов. Экономический эффект достигается за счет снижения расхода алюминия в 140 раз и экономии пищевого крахмала высшего сорта, применяемого для каширования фольги.

IV. ВЫВОДЫ (ОСНОВНЫЕ ИТОГИ РАБОТ)

1. На основании изучения характеристик высоковакуумных паромасляных насосов серийного производства и проведения исследования работы различных комбинаций откачных систем для вакуумметаллизационных установок периодического и полунепрерывного действия предложена и внедрена схема откачного устройства с компенсацией низкой производительности высоковакуумных насосов при разрежении порядка 10^{-2} тор параллельным включением бустерного насоса с последующим автоматическим подключением его к выпускному отверстию высоковакуумного насоса. Применение указанной схемы позволило сократить цикл откачки вакуумного объема и соответственно повысить производительность вакуумметаллизационной установки.

Схема откачки, испытанная на серии вакуумных установок, признана и утвердилась в конструкции отечественных вакуумметаллизационных установок как типовая. Получены формулы зависимости производительности вакуумных установок от продолжительности откачки, при периодическом и полунепрерывном циклах металлизации.

2. Предложен и опробирован метод определения эффективности действия ионной бомбардировки тлеющим разрядом для очистки поверхности изделия перед нанесением на нее металлического покрытия. Исследована зависимость эффективности ионной бомбардировки от формы сечения электрода тлеющего разряда (Удостоверение Госкомитета по изобретениям и открытиям № 45231 от 23/У 1964 г.). Определена эффективная форма сечения электрода тлеющего разряда, утвердившаяся в качестве типовой в промышленных установках периодического действия. (Защищено авторским свидетельством на изобретение № 209942 с приоритетом от 21/У1 1966 г. и внедрено в конструкцию промышленных установок с годовым экономическим эффектом 177,5 тыс. руб.)

3. В результате проведения анализа способов получения тонких пленок алюминия на изделиях объемных форм методом испарения металла в вакууме и выполнения комплекса экспериментальных работ установлена возможность ведения процесса металлизации в вакууме в промышленной установке при разрежении хуже, чем 2×10^{-3} тор. с расположением испарителей и покрываемых изделий чередующимися рядами с расстоянием между ними в несколько раз большим, чем значение средней длины свободного пробега молекул для данного разрежения. Предложена и внедрена циклограмма нагрева рамочного испарителя. Результаты работы использованы в конструкции двух типов вакуумметаллизационных установок общепромышленного назначения с высоким экономическим эффектом, достигнутым за счет рационального использования объема вакуумной камеры.

4. По результатам экспериментов, проведенных на опытно-промышленных установках, выведен поправочный коэффициент к теоретическому весу испаряемого алюминия для получения заданной толщины покрытия.

5. В результате анализа себестоимости процессов металлизации на установках периодического действия и на основании результатов исследования стойкости испарительных элементов получена формула зависимости процесса металлизации от срока службы испарительных элементов.

6. В результате исследования характера и динамики разрушения вольфрамовых ниточных испарительных элементов для установок периодического действия предложена и внедрена конструкция испарителя с наклонным расположением испарительных элементов, повышающих стойкость их в процессе испарения на 20-25%.

7. Исследована зависимость удельного расхода алюминия и вольфрама в вакуумметаллизационных установках периодического действия от степени загрузки емкости продукции, подлежащей металлизации, и получена формула расчета расхода алюминия и вольфрама.

8. На основании исследования работы испарительных систем с вольфрамовыми элементами установлена оптимальная конструкция испарительного элемента для установок периодического действия с подвижным и стационарным испарителем, при движущейся и неподвижной плоской и объемной подложке. Установлен режим ударного и ступенчатого нагрева и охлаждения испарительного элемента, позволивший значительно снизить технологические потери вольфрама.

9. Проведены исследования влияния конструкции испарительного элемента и режима испарения алюминия на равномерность распределения покрытия на подложке.

В результате исследований установлены оптимальные параметры испарительных элементов установок периодического

действия, размеры, форма, количество и порядок распределения испарительных элементов, величины навесок алюминия, режим разогрева и охлаждения испарительного элемента, взаимное расположение испарителя и подложки. Все указанные параметры использованы при конструировании промышленных вакуумметаллизационных установок.

10. Предложена и внедрена в конструкцию вакуумной установки для нанесения хрома схема совмещения электрода тлеющего разряда с испарительным элементом. Схема защищена свидетельством на изобретение № 178635 от 15/XI 1965 г. и внедрена в промышленные установки с годовым экономическим эффектом 53,7 тыс. руб.

11. Исследована зависимость равномерности осаждения алюминия на движущейся подложке от расположения металлокерамических испарительных элементов в форме брусков и установлены оптимальные параметры испарительной системы из трех элементов для повышения эффективности использования паров алюминия.

12. В результате исследования процесса нанесения алюминия при испарении с помощью испарительного элемента в форме бруска, установлен характер распределения толщины покрытия на подложке и получена формула, позволяющая определить распределение покрытия расчетным путем. Установлена идентичность распределения покрытия на подложке с кривой температурного поля испарителя.

13. Результаты исследований откачных систем, испарительных устройств и эффективных форм электрода тлеющего разряда использованы в конструкции серии вакуумметаллизационного оборудования для нанесения покрытий общепромышленного назначения, внедренного в различные отрасли народного хозяйства с экономическим эффектом 3214 тыс. руб. в год.

14. Правительством принято решение об организации серийного производства вакуумметаллизационных установок.

15. Государственный Комитет Совета Министров СССР по науке и технике (письмо от 7/III 1967 г. за № 14-6) предложил Министерству внешней торговли СССР рассмотреть вопрос об экспорте вакуумметаллизационных установок.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ
положено на:

1. Заседании Совета народного хозяйства Латвийской ССР с участием научно-исследовательских и проектных организаций и предприятий. Рига, 3/УШ 1963 г.
2. Коллегии Государственного комитета Совета Министров СССР по координации научно-исследовательских работ. Москва, 15/УШ 1963 г.
3. Научно-техническом совещании по внедрению металлизации в вакууме в народное хозяйство. (Организовано Государственным комитетом Совета Министров Латвийской ССР по координации научно-исследовательских работ.) Рига, 9-12/ХП 1964 г.
4. Ученом совете Всесоюзного научно-исследовательского института по переработке химических волокон (ВНИИ ПХВ), Москва, 29/У 1964 г.
5. Ученом совете Латвийского общественного и научно-исследовательского института организации производства. Рига, 12/1У 1965 г.
6. Специальном совещании в отделе легкой и пищевой промышленности Государственного комитета Совета Министров СССР по координации научно-исследовательских работ, Москва, 12/1У 1965 г.
7. XXVIII научной конференции Одесского технологического института им. М.В. Ломоносова, Одесса, март 1965 г.

8. Научном совете по проблеме "Современные полимерные материалы и новейшее автоматическое оборудование и легкой промышленности" Государственного комитета Совета Министров СССР по науке и технике. Москва, 3/У1 1966 г.

9. Секции "Внедрение металлизации в вакууме в легкую промышленность" Научного совета Государственного комитета Совета Министров СССР по науке и технике. Рига, 29/1X 1966 г.

10. ВДНХ Латвийской ССР, Рига, март 1966 г.

11. Секции "Внедрение металлизации в вакууме в легкую промышленность" Научного Совета Государственного комитета Совета Министров СССР по науке и технике. Москва, 18/1 1967 г.

12. Расширенном Ученом Совете Всесоюзного научно-исследовательского института по переработке химических волокон (ВНИИПХВ), Москва, 18/X1 1967 г.

ПЕРЕЧЕНЬ ПУБЛИКАЦИЙ И СВИДЕТЕЛЬСТВ НА ИЗОБРЕТЕНИЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

1. ПУБЛИКАЦИИ

1. С.И. Гриншпун, "Алюминий вместо серебра". "Местная промышленность", 1960, № 2-3.

2. С.И. Гриншпун, "Металлизация в вакууме", Рига, ЛатИТИ, 1964.

3. С.И. Гриншпун, "Оборудование для металлизации различных изделий и материалов". Сборник тезисов докладов научно-технического совещания, Рига, ЛатИТИ, 1964.

4. С.И. Гриншпун, "Проблемные вопросы и задачи промышленности, вытекающие из требований металлизации в вакууме". Сборник тезисов докладов научно-технического совещания, Рига, ЛатИТИ, 1964.

5. С.И. Гриншпун, "К вопросу об оптимальных параметрах тлеющего разряда, применяемого для очистки поверхностей, металлизированных в вакууме", Рига, ЛатинТИ, 1966.

6. С.И. Гриншпун, Е.Л. Белорицкая, И.Л. Ройх, "Об изменении толщины окисной пленки под действием тлеющего разряда". Доклады XXVIII научной конференции Одесского технологического института им. М.В. Ломоносова, 1966.

7. С.И. Гриншпун, "Об оптимальных параметрах тлеющего разряда для очистки поверхностей, металлизированных в вакууме". Доклады XXVIII научной конференции Одесского технологического института им. М.В. Ломоносова, 1966.

8. С.И. Гриншпун, Э.А. Якобсон, "Вакуумное алюминирование стекла в производстве зеркал", Рига, ЛатинТИ, 1967.

9. С.И. Гриншпун, К.Т. Киришфельд, А.Л. Кокле, "Характеристика паромасляных насосов для вакуумметаллизационных установок", Рига, ЛатинТИ, 1967.

10. С.И. Гриншпун, А.И. Тычинин, "Алюминирование полосовой стали путем испарения в вакууме", М., Изд-во "Металлургия", 1967.

11. С.И. Гриншпун, Э.А. Якобсон, И.В. Фалькенштейн, А. Лея, "Декоративная отделка прозрачных пластмасс металлизацией в вакууме", Рига, ЛатинТИ, 1967.

12. С.И. Гриншпун, К.Т. Киришфельд, "Установка для металлизации рулонных материалов испарением алюминия". Сборник докладов, М., Изд-во Московского дома научно-технической пропаганды, 1967.

13. С.И. Гриншпун, Д.З. Хеймансон, "Испарители алюминия для металлизации рулонных материалов", Сборник докладов, М., Изд-во Московского дома научно-технической пропаганды, 1967.

14. С.И. Гриншпун, "Металлизация в вакууме", Малая энциклопедия Латвийской ССР, том П.

15. В.А. Генгринович, С.И. Гриншпун, Л.Н. Колтунова, И.Л. Ройх, "Влияние тлеющего разряда на сцепление защитного вакуумного алюминиевого покрытия со сталью" (направлено в печать).

16. С.И. Гриншпун, Е.Л. Белорицкая, В.Э. Толкачев, "Исследование окисления стали в условиях тлеющего разряда оптическим поляризационным методом" (направлено в печать).

17. С.И. Гриншпун, Сценарий научно-технического фильма "Металлизация в вакууме", 2 части. Латвийское общество кинолюбителей при комитете кинематографии Латвийской ССР, 1963 (фильм выпущен в 1964 году).

2. СВИДЕТЕЛЬСТВА О ИЗОБРЕТЕНИЯХ И УДОСТОВЕРЕНИЯ О РЕГИСТРАЦИИ ПРИОРИТЕТА

1. С.И. Гриншпун, Г.Б. Ненадкевич, "Электрический выключатель с выдержкой времени на отключение, осуществляемой восстановлением первоначального объема вакуумкамеры". Авторское свидетельство № 143081 от 27/X 1961 г. (Внедрено в промышленность с экономическим эффектом 70,5 млн. квт/час электроэнергии на сумму 2,82 млн. руб.).

2. С.И. Гриншпун, Г.Б. Ненадкевич, В.Э. Цунский, "Электрический выключатель с постоянным контактным давлением и повышенной скоростью на отключение, осуществляемой восстановлением первоначального объема вакуумкамеры". Авторское свидетельство № 162192 от 12/П 1964 г. (Внедрено в промышленность с экономическим эффектом 128 тыс. руб.).

3. С.И. Гриншпун, А.Л. Кокле, Я.М. Закис, С.И. Эльперин, "Устройство для металлизации в вакууме", Авторское свидетельство № 178635 от 15/X1 1965 г. (Внедрено в промышленность с экономическим эффектом 53,7 тыс. руб.).

4. С.И. Гриншпун, А.Л. Кокле, К.Т. Кишфельд, А.П. Лацис, П.Н. Озеров, "Устройство для нанесения покрытия в вакууме".

Авторское свидетельство № 209942 от 21/У1 1966 г. (Внедрено в промышленность с экономическим эффектом 177,5 тыс. руб.).

5. С.И. Гриншпун, А.Л. Кокле, К.Т. Кишфельд, А.В. Лоншаков, В.А. Урбан, "Устройство для нанесения покрытия в вакууме". Решение о выдаче авторского свидетельства Комитета по делам изобретений и открытий от 10/1 1968 г. по заявке № 1063126/22-1 с приоритетом от 14/Ш 1966 г. (Изобретение внедрено с экономическим эффектом 54,5 тыс. руб. в год).

6. С.И. Гриншпун, А.З. Калверш, "Выбор оптимальной конструкции и параметров тлеющего разряда для ионной бомбардировки". Удостоверение Госкомитета СМ СССР по изобретениям и открытиям № 45231 от 23/У 1964 г.

7. С.И. Гриншпун, И.В. Клявинь, Д.В. Менис, "Разработка технологического процесса металлизации пленок, бумаги, заменителей кожи на установках УВ-10 и УВ-11Л, Регистрация Комитета по изобретениям и открытиям № 59385 от 22/У 1967 г.