

Б.С. Данилин

ВАКУУМ



ИЗДАТЕЛЬСТВО

ЗНАНИЕ



НАУКА и ТЕХНИКА

1960
СЕРИЯ IV

16

ВСЕСОЮЗНОЕ ОБЩЕСТВО
ПО РАСПРОСТРАНЕНИЮ ПОЛИТИЧЕСКИХ И НАУЧНЫХ ЗНАНИЙ

Кандидат технических наук
Б. С. ДАНИЛИН

В А К У У М

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ»

Москва

1960

СОДЕРЖАНИЕ

	<i>Стр.</i>
Вакуум вокруг нас	3
Что такое вакуум	5
Как получают вакуум	7
Как измеряют вакуум	16
Устройство вакуумной аппаратуры	19
Производство электровакуумных приборов	24
Использование вакуума в металлургии и металлизация в вакууме	30
Вакуумная сушка и пропитка под вакуумом	33
Советы лектору	36
Литература	38

ВАКУУМ ВОКРУГ НАС

Вряд ли сейчас можно найти какую-либо область науки, техники и промышленного производства, где бы в той или иной форме не применялся вакуум. Применение вакуума в научных исследованиях насчитывает уже свыше 300 лет.

Еще в сороковых годах XVII столетия Отто Герике проводил первые опыты с построенным им вакуумным насосом. Вакуумные, или, как их тогда называли, воздушные, насосы были в лаборатории М. В. Ломоносова, и он широко их применял в своих химических и физических опытах. В прошлом веке вакуум-фильтры использовались для промывки золота, вакуум широко применялся в сахарной промышленности для ускорения процесса испарения влаги.

В настоящее время вакуум широко применяется в самых различных областях народного хозяйства. В пищевой промышленности с помощью вакуума дегазируют консервы перед закрытием банок, а в фармацевтической — под вакуумом запаивают ампулы со всякого рода сыворотками, антибиотиками и другими медицинскими препаратами.

С помощью вакуума удаляют воздух перед затвердеванием ответственных бетонных и железобетонных заготовок, при прессовании угольных масс, огнеупоров, фарфора, фаянса и составов на основе искусственных смол.

Вакуум используется при пропитывании изделий или материалов различными веществами. Вакуумная дегазация пористых и губчатых материалов значительно улучшает качество их пропитки лаками, смолами, красками и другими пропиточными составами. В электротехнической и радиотехнической промышленности с помощью вакуума пропитывают лаками электроизолирующие обмотки, в электродной промышленности — смолами угольные изделия, на рудниках и железных дорогах — антисептиками шпалы, в литейном деле — смолами отливки из легких сплавов и чугуна.

Вакуум широко применяется для просушки и дегазации различного рода органических жидкостей; трансформаторных масел, лаков, а также растворов и расплавов синтетических смол в промышленности искусственного волокна.

В послевоенные годы развилась новая, своеобразная отрасль металлургического производства—вакуумная металлургия. Применение вакуума в металлургических печах позволяет просто разрешить важную и трудную задачу — предохранение активных металлов при их восстановлении, плавлении, очистке от взаимодействия с газами воздуха.

С помощью вакуума осуществляется получение плотных металлов из их порошков. При этом с поверхности спекаемых зерен легко удаляются также поглощенные газы и пары, что обеспечивает получение прочных и плотных изделий. Плавка в вакууме дает возможность получать чистые и плотные металлы, почти не содержащие окисей и газов, что способствует повышению механических, физических и электрических свойств металлов.

Во всех перечисленных выше случаях в основном применяется низкий и средний вакуум, получаемый с помощью простых или более усовершенствованных механических насосов.

Однако существуют области, где требуется использование высоковакуумных насосов. К таким областям относится прежде всего электроника. Высоковакуумные насосы необходимы в производстве приемно-усилительных и генераторных ламп, фотоэлементов и фотоумножителей, электронно-лучевых рентгеновских трубок, источников света, приборов сверхвысоких частот (магнетронов, клистронов, ламп с бегущей и обратной волной, резонансных разрядников и т. д.), газоразрядных приборов (газотронов, тиратронов, игнитронов, ртутных выпрямителей) и других самых разнообразных электровакуумных приборов.

Без изготовления этих приборов невозможно развитие электроники со всем ее разнообразным и всесторонним применением.

В годы второй мировой войны и в послевоенные годы в связи с работами по атомной энергии была успешно разрешена задача получения высокого вакуума в весьма больших объемах с помощью усовершенствованных пароструйных насосов, обладающих громадной быстротой действия (десятки тысяч литров в секунду).

Но даже высокий вакуум и громадные скорости откачки воздуха из современных ускорителей оказываются недостаточными для решения задачи в области управления термоядерными реакциями. Вот почему, выступая на XXI съезде КПСС, академик И. В. Курчатов сказал: «Сейчас уже ясно, что термоядерные реакторы не могут быть созданы без настоящей технической революции в области вакуумной техни-

ки. Самый современный вакуум современных ускорителей, при котором они нормально работают, совершенно недостаточен для термоядерных реакторов. Нужно научиться получать в больших установках в тысячи и десятки тысяч раз более глубокие разрежения».

А ведь именно успешное решение задачи управления термоядерными реакциями открывает человечеству новые неисчерпаемые запасы энергии. Достаточно сказать, что в одном стакане обыкновенной воды заключено столько же энергии, сколько ее содержится в 100 л нефти. Вот почему осуществление управляемых термоядерных реакций, создание термоядерных реакторов и превращение воды в топливо для электростанций и двигателей является «проблемой номер один» для всей современной науки. И одной из составных частей решения этой важнейшей проблемы является дальнейший прогресс в области получения высокого вакуума.

ЧТО ТАКОЕ ВАКУУМ

Слово «вакуум» в переводе с латинского языка означает «пустота». Но посмотрим, является ли в действительности вакуум пустотой, или безвоздушным пространством? Ведь даже при давлении в одну десятиллионную долю миллиметра ртутного столба, которое может быть получено только при применении наиболее совершенных высоковакуумных насосов, в каждом кубическом сантиметре еще остается более трех миллиардов молекул газа. Значит, широко распространенное мнение о вакууме как о пустоте, или безвоздушном пространстве, является совершенно неверным.

Так что же такое вакуум? В науке и технике под вакуумом обычно понимают разреженное состояние газа при давлении ниже атмосферного.

Как известно, молекулы любого вещества, независимо от его состояния (твердое, жидкое или газообразное), находятся в постоянном хаотическом движении, которое усиливается по мере повышения температуры вещества. Характерной особенностью веществ, находящихся в газообразном состоянии, является чрезвычайно слабая связь между молекулами. Благодаря непрерывному тепловому движению молекул и слабой связи между ними газообразное вещество никогда не может сохранить ни форму, ни объем, а всегда занимает весь предоставленный ему сосуд.

Это свойство газа, в частности, используется для извлечения его из какого-либо сосуда с помощью так называемых механических насосов. Свойство газов и паров взаимно проникать друг в друга используется в устройстве пароструйных насосов, позволяющих с большой скоростью получать очень низкие давления. Тепловым движением молекул воздуха объ-

ясняется их проникновение («натекание») в вакуумные системы через малейшие трещины и щели.

Тепловым движением молекул и атомов газа также объясняется перенос тепла от более нагретого тела к менее нагретому (теплопроводность газа) и передача количества движения от одного слоя газа к другому (внутреннее трение или вязкость газа).

С понижением давления все резче проявляется микронеоднородность газовой среды и свойства газа резко изменяются. Если при атмосферном давлении молекулы газа в результате хаотического теплового движения испытывают большое число столкновений между собой и со стенками сосуда, то по мере понижения давления взаимные столкновения молекул практически исчезают и они прямолинейно двигаются в пределах предоставленного им объема, сталкиваясь в основном только со стенками сосуда.

Свойства газа определяются не только его давлением, но и размерами того пространства, в котором он заключен.

В зависимости от того, что преобладает — взаимные столкновения молекул друг с другом или удары молекул о стенки, — различают низкий, средний и высокий вакуум. Показателем степени разреженности является соотношение между средней длиной свободного пробега λ и характерным линейным размером d того сосуда, в который помещен разреженный газ.

Средней длиной свободного пробега λ называют то среднее расстояние, которое проходит молекула между двумя соударениями. При неизменной температуре средняя длина свободного пробега обратно пропорциональна давлению газа.

Состояние газа, при котором $\lambda > d$ называют высоким вакуумом, а при котором $\lambda < d$ — низким вакуумом. Промежуточное состояние газа, когда $\lambda = d$, то есть когда обе эти величины соизмеримы, называют средним вакуумом.

Чем ниже давление, тем больше длина свободного пробега. Если при атмосферном давлении λ составляет тысячные доли микрона, то при давлении 10^{-3} мм рт. ст. λ достигает нескольких сантиметров, а при давлении 10^{-9} мм рт. ст. она исчисляется уже десятками километров.

Вакуумные металлургические печи, а также установки для сушки пищевых продуктов, внутренний диаметр рабочего пространства которых измеряется метрами, чаще всего работают при давлении около 1 мм рт. ст. При этом давлении длина свободного пробега молекул составляет лишь сотые доли миллиметра. Таким образом, по принятой терминологии, здесь имеет место низкий вакуум.

Однако следует иметь в виду, что в узком капилляре, даже при сравнительно большом давлении, возникают явления, характерные для высокого вакуума. Так, например, если атмосферный воздух проникает в пространство, линейные раз-

меры которого исчисляются тысячными долями микрона, то в этом пространстве уже при атмосферном давлении возникают условия, специфичные для высокого вакуума.

Но обычно в науке и технике высоким вакуумом называется область давлений ниже 10^{-6} мм рт. ст. При этом давлении длина свободного пробега молекул достигает нескольких десятков метров, что во много раз превышает размеры наиболее распространенных вакуумных установок. Область давлений ниже 10^{-7} мм рт. ст. условно принято называть областью сверхвысокого вакуума. Такие низкие давления достигаются пока только в лабораторных условиях с помощью наиболее совершенных насосов и газопоглотителей.

Однако в природе имеется еще более низкий вакуум «естественного» происхождения. Речь идет о верхних, разреженных слоях воздушной оболочки нашей планеты и о межпланетном космическом пространстве. Толщина воздушной оболочки нашей планеты достигает 3000 км. Тем не менее основная масса атмосферного воздуха сосредоточена вблизи поверхности Земли. Уже на высоте 45 км давление падает до 1 мм рт. ст., на высоте 100 км оно составляет 10^{-4} мм рт. ст., а на высоте 500 км — всего лишь 10^{-8} мм рт. ст. В хвостах комет давление составляет 10^{-10} мм рт. ст., а в туманностях — 10^{-14} мм рт. ст. Но даже при таком громадном разрежении космическое пространство тем не менее не является пустотой.

Если несколько лет назад считали, что плотность межпланетного газа ничтожна и концентрация частиц в нем не превышает нескольких единиц в кубическом сантиметре, то по современным представлениям в каждом кубическом сантиметре межпланетного пространства содержится около сотни газовых молекул.

КАК ПОЛУЧАЮТ ВАКУУМ

Объемы современных вакуумных установок и получаемое в них разрежение очень разнообразны. Так, например, установки для вакуумной сушки продуктов имеют объем, достигающий нескольких кубометров. Для работы таких установок нужен низкий вакуум, порядка нескольких миллиметров рт. ст., причем характерным для работы таких установок является интенсивное и длительное выделение паров воды из высушиваемых продуктов.

Установки для вакуумной плавки металлов, также имея значительный объем, требуют сравнительно невысокого вакуума, порядка 10^{-2} — 10^{-3} мм рт. ст., однако характерным для их работы является интенсивное и длительное выделение газов из расплавленных металлов.

Объем колонок современных электронных микроскопов обычно не превышает нескольких десятков литров, но для

обеспечения нормальной работы микроскопа в нем требуется непрерывно поддерживать вакуум $10^{-4} — 10^{-5}$ мм рт. ст. Установки для исследования ядерных процессов имеют громадные объемы, достигающие десятков кубометров, и для их нормальной работы нужен вакуум порядка $10^{-8} — 10^{-9}$ мм рт. ст.

Вполне понятно, что такой широкий диапазон давлений, а также различное количество выделяющихся газов и паров не позволяют получать вакуум с помощью какого-либо одного способа.

В зависимости от конкретных условий вакуум получают с помощью того или иного вакуумного насоса. Иногда для этой цели используются также специальные газопоглотители или сочетание насосной откачки с применением газопоглощающих средств.

Из вакуумных насосов наибольшее распространение имеют многопластинчатые насосы, создающие разрежение $15 — 25$ мм рт. ст., двухроторные насосы, создающие разрежение $1 — 10^{-2}$ мм рт. ст., вращательные масляные насосы, создающие разрежение до 10^{-3} мм рт. ст., и пароструйные насосы, с помощью которых удастся получить разрежение до 10^{-7} мм рт. ст. Еще более низкие давления (до $10^{-8} — 10^{-9}$ мм рт. ст.) достигаются с помощью ионных и ионно-испарительных насосов.

Многопластинчатые вакуумные насосы чаще всего применяются для удаления основной массы воздуха или откачиваемого газа из больших объемов и широко используются в химической, пищевой и электротехнической промышленности. Действие их основано на механическом выталкивании газа, заполняющего рабочий объем, движущимися частями насоса.

На рис. 1 показан разрез вращательного многопластинчатого насоса. Насос состоит из цилиндрического корпуса, в котором на роликоподшипниках вращается вал с чугунным ротором. Поверхности цилиндрического корпуса и ротора образуют серповидное пространство. Ротор имеет продольные пазы, в которых свободно движутся стальные пластины. При вращении ротора под действием центробежной силы пластины выбрасываются из пазов к внутренней поверхности цилиндра, разделяя серповидное пространство на отдельные камеры, объем которых изменяется в зависимости от угла поворота ротора. Через расположенный слева впускной патрубок камера заполняется откачиваемым газом. В крайнем верхнем положении каждая камера отключается от впускного патрубка. При дальнейшем вращении объем камеры уменьшается, газ в ней сжимается и выталкивается через правый патрубок (выпускной).

Поскольку при работе на высоких входных давлениях в камерах еще до выхлопа могут быть достигнуты давления, значительно превышающие атмосферное, на насосе устанавливаются самодействующие разгрузочные клапаны,

Из-за наличия значительных зазоров между движущимися частями и отсутствия масляного уплотнения значение предельного вакуума у этих насосов невелико (15—25 мм рт. ст.). Однако большое число оборотов ротора дает возможность получить значительные скорости откачки (более тысячи литров в секунду при атмосферном давлении). Многопластинчатые насосы с последовательным включением двух ступеней откачки позволяют получить остаточное давление порядка нескольких миллиметров рт. ст.

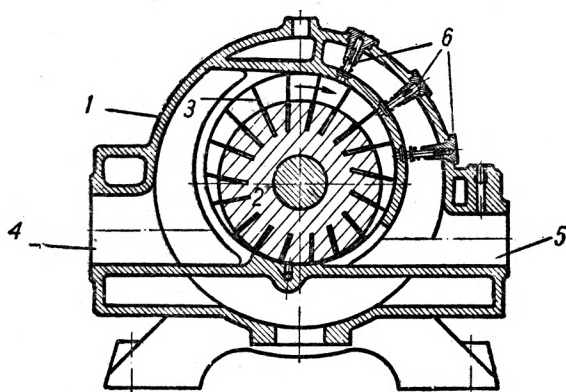


Рис. 1. Устройство вращательного многопластинчатого насоса:

1 — корпус; 2 — ротор; 3 — пластины; 4 — впускной патрубок; 5 — выпускной патрубок; 6 — разгрузочные клапаны.

Для получения остаточных давлений менее 1 мм рт. ст. используют так называемые двухроторные насосы. Устройство такого насоса показано на рис. 2. В насосе имеются два фигурных ротора, синхронно вращающихся в корпусе навстречу друг другу. Во время работы роторы не касаются друг друга благодаря специальной профилировке и регулировке зазоров при сборке, что дает возможность получить высокое число оборотов (до 3 000 оборотов в минуту) и значительную быстроту действия насоса (до нескольких тысяч литров в секунду).

Действие двухроторного насоса основано на чисто механическом перекачивании определенного объема газа. При этом рабочими являются оба ротора, образующие со стенками насоса две параллельно работающие камеры. При работе с выхлопом газа непосредственно в атмосферу в разрежаемом объеме может быть получено давление в несколько десятков миллиметров рт. ст. Однако в том случае, если двухроторный насос работает с предварительным разрежением, создаваемым

механическим насосом с масляным уплотнением, остаточное давление очень мало, составляя 10^{-3} — 10^{-4} мм рт. ст., но при этом быстрота действия у них ничтожна. Максимальная быстрота действия у насосов этого типа лежит в области давлений 1 — 10^{-1} мм рт. ст., где они обычно и используются.

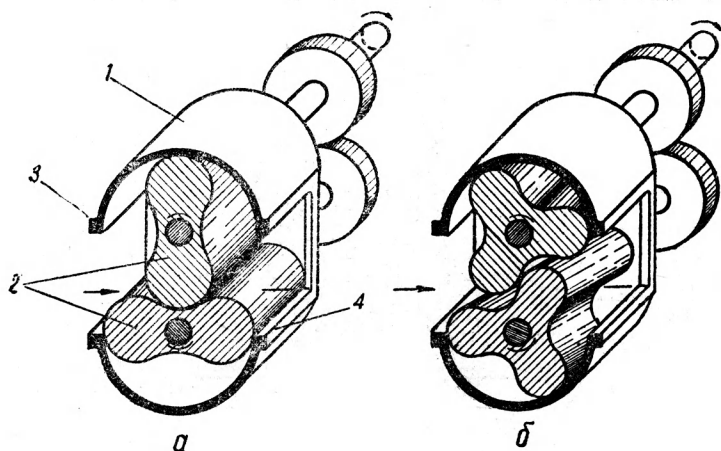


Рис. 2. Устройство двухроторного насоса:
а — с двухлопастными роторами; *б* — с трехлопастными роторами;
 1 — корпус; 2 — роторы; 3 — впускной патрубок; 4 — выпускной патрубок.

Более низкие давления (до 10^{-3} мм рт. ст.) чаще всего получают с помощью вращательных масляных насосов. Существует несколько различных конструкций насосов этого типа (пластинчато-статорные, пластинчато-роторные и золотниковые).

На рис. 3 показано устройство золотникового (плунжерного) насоса, имеющего по сравнению с другими вращательными насосами значительно большую быстроту действия.

Как видно из рисунка, в насосе имеется эксцентрично сидящий на валу ротор. На этот ротор надета цилиндрическая обойма (плунжер), от которой отходит открытая сверху направляющая в виде полого параллелепипеда с отверстием в нижней части. При вращении ротора обойма катится с очень малым зазором по стенке камеры, а направляющая совершает колебательное движение, скользя вверх и вниз в золотнике. Откачиваемый газ засасывается в рабочую камеру через верхнее отверстие направляющей, проходит через боковое отверстие в ее нижней части и после сжатия в рабочей камере насоса выбрасывается через выпускной патрубок с клапаном.

Для создания надежного уплотнения к местам соприкосновения подвижных и неподвижных деталей насоса непрерывно

подводится масло, для чего иногда применяются устройства, обеспечивающие его принудительную циркуляцию. Весьма мелкие брызги масла вместе с откачиваемым воздухом попадают из выпускного патрубка в сепаратор, откуда по мере накопления в охлажденном виде поступают обратно в насос.

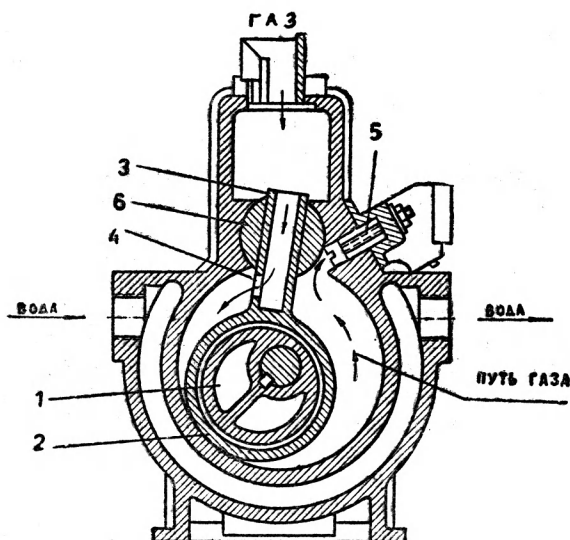


Рис. 3. Устройство золотникового (плунжерного насоса):

1 — ротор; 2 — цилиндрическая обойма; 3 — полый параллелепипед; 4 — отверстие; 5 — выпускной патрубок с клапаном; 6 — золотник. Стрелками показан путь откачиваемого газа в насосе.

Стенки корпуса у крупных золотниковых насосов часто имеют водяные рубашки для охлаждения проточной водой. Быстрота действия у этих насосов достигает сотен литров в секунду.

Вращательные масляные насосы, и в особенности насосы золотниковой конструкции, применяются для обеспечения вакуума в целом ряде технологических процессов, при которых выделяется большое количество конденсирующихся паров. К таким процессам, например, относится вакуумная сушка пищевых продуктов, витаминов, различных медицинских препаратов, пропитка под вакуумом различных изоляционных материалов и т. п.

В процессе сжатия в насосе пары вновь превращаются в жидкость. Многократное повторение процесса сжатия приводит к обогащению насосного масла водой. Смешиваясь с маслом, вода образует с ним эмульсию. Эта эмульсия, попадая

в камеру всасывания, испаряется, вновь выделяя водяной пар в откачиваемый объем.

Таким образом, обычные вращательные масляные насосы пригодны только для откачки сухих газов и малоэффективны, а подчас и совсем непригодны для откачки парогазовых смесей.

Для этой цели применяются насосы усовершенствованных конструкций, снабженные специальными устройствами, с помощью которых в камеру сжатия в определенный момент впускается атмосферный воздух. Количество впускаемого воздуха выбирается с таким расчетом, чтобы выпускной клапан открывался еще до того, как произойдет конденсация пара в жидкость. В этом случае конденсации пара не происходит, и он вместе с газом выбрасывается в атмосферу. Такого рода вращательные насосы называются газобалластными.

Для создания и поддержания в вакуумных системах еще более низких давлений (10^{-4} — 10^{-7} мм рт. ст.) применяются высоковакуумные пароструйные насосы. В отличие от механических вакуумных насосов, в которых процесс откачки происходит за счет периодического увеличения и уменьшения объема рабочей камеры насоса, работа пароструйного насоса осуществляется в результате откачивающего действия непрерывной струи пара рабочей жидкости, истекающей из сопла со сверхзвуковой скоростью. В насосах этого типа использованы либо диффузия откачиваемого газа в эту паровую струю, или явление вязкостного захвата газа струей пара рабочей жидкости. Газ, поступающий в насос из откачиваемого объема, попадает в сферу действия струи пара рабочей жидкости, увлекается ею к охлаждаемой проточной водой стенке насоса и выталкивается через выпускной патрубок.

Так как скорость диффузии обратно пропорциональна плотности струи, то для получения возможно большей скорости действия насоса плотность струи должна быть достаточно малой. Поэтому в высоковакуумном насосе паровая струя поступает в вакуум, создаваемый вращательным масляным насосом предварительного разрежения, который подключается к выпускному патрубку высоковакуумного насоса. Пароструйный высоковакуумный насос включается в работу только тогда, когда вся вакуумная система, включая и рабочий объем самого пароструйного насоса, откачана до предельного разрежения, создаваемого вращательным масляным насосом.

Устройство одноступенного пароструйного насоса показано на рис. 4. В нижней части насоса находится кипятильник, в который заливается рабочая жидкость (специальное вакуумное масло или ртуть). С помощью электронагревателя она превращается в пар, по паропроводу устремляется к зонтичному соплу и истекает из него в виде расходящейся со сверх-

звуковой скоростью струи, направленной под углом в $60-80^\circ$ к стенке насоса.

Газ, поступающий из вакуумной системы через впускной патрубок, увлекается струей пара и уносится ею к холодной стенке насоса. После перемещения откачиваемого газа пар рабочей жидкости конденсируется на охлажденной стенке насоса и в виде жидкости стекает в кипятильник, где снова испаряется, чем обеспечивает непрерывную циркуляцию рабочей жидкости в насосе. Газ, попадая со струей на стенку, перетекает вдоль нее к выпускному патрубку и выбрасывается насосом предварительного разрежения (вращательным насосом) в атмосферу.

Современные пароструйные насосы чаще всего выполняются многоступенчатыми, имея обычно 2—3, а иногда и 4 ступени. Ступени работают последовательно в одном корпусе, питаясь паром из общего кипятильника. Многоступенчатые насосы позволяют получить большую быстроту действия (до нескольких десятков тысяч литров в секунду) при сравнительно высоком значении наибольшего выпускного давления (10^{-1} мм рт. ст.), которое легко обеспечивается с помощью обычных вращательных масляных насосов, включаемых последовательно с пароструйными.

Пароструйные вакуумные насосы, обладая большой быстротой действия при откачке газов, значительно хуже откачивают пары. Более того, насосы зачастую сами являются источниками паров рабочей жидкости, которые проникают в разрежаемый объем и загрязняют находящуюся в нем аппаратуру.

Для предотвращения этого между выпускным патрубком пароструйного насоса и разрежаемым объемом обычно устанавливают специальную ловушку. Чаще всего такая ловушка имеет медный стержень с припаянными к нему в виде «елочки» медными пластинками, перекрывающими входное сечение насоса таким образом, чтобы ловушка была непросматриваемой на свет. Медный стержень и припаянные к нему пластины охлаждаются с помощью жидкого азота или жидкого воздуха

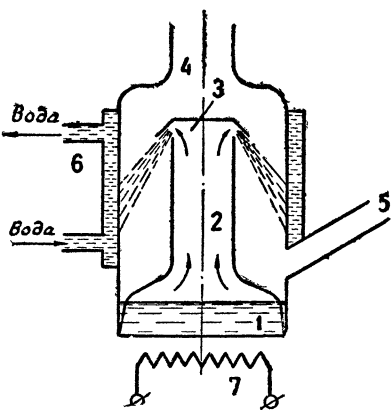


Рис. 4. Устройство одноступенчатого пароструйного насоса:

- 1 — кипятильник; 2 — паропровод;
- 3 — зонтичное сопло; 4 — впускной патрубок;
- 5 — выпускной патрубок;
- 6 — рубашка водяного охлаждения;
- 7 — электронагреватель.

до температуры — 180° . Частицы пара, диффундирующие из насоса, летят благодаря высокому вакууму по прямолинейным путям, вследствие чего неизбежно попадают на медные пластины и оседают на них.

В результате применения охлаждаемой ловушки предельный вакуум насоса улучшается до 10^{-7} мм рт. ст., но быстрота действия пароструйного насоса при этом уменьшается, так как резко снижается поток газа от откачиваемого объема в насос. Кроме того, разрежение 10^{-7} мм рт. ст. отнюдь не является достаточным для проведения целого ряда процессов. Так, например, для изучения физических явлений, происходящих на поверхности твердых тел, возникает необходимость в получении давлений 10^{-10} — 10^{-11} мм рт. ст., так как только при таких низких давлениях оказывается возможным сохранить изучаемую поверхность практически свободной от молекул газа в течение длительного времени.

В последние годы разработаны принципиально новые методы получения высокого и сверхвысокого вакуума, не связанные с использованием рабочих жидкостей и применением вымораживающих ловушек. К ним относятся сорбционные, ионные и ионно-сорбционные насосы.

Простейший сорбционный насос обычно представляет собой небольшую стеклянную колбу с двумя молибденовыми вводами. Между ними находится танталовая ленточка, являющаяся подогревателем, через который пропускается ток накала. К ленточке приварены тонкие полоски из титановой жести.

При пропускании через танталовую ленточку электрического тока титан распыляется и поглощает присутствующие в объеме газы.

В более мощных сорбционных насосах используется титановый газопоглотитель в виде цилиндра, внутри которого находится вольфрамовый подогреватель. Срок службы сорбционных насосов достигает 2000 часов, быстрота действия — нескольких сот литров в секунду, а предельный вакуум — 10^{-8} мм рт. ст.

В ионном насосе молекулы откачиваемого газа предварительно ионизируются в результате соударения с электронами, испускаемыми накалившимся катодом, а затем удаляются в сторону выпускного патрубка насоса под воздействием сильного электрического поля.

Для удлинения пути электронов, а следовательно, и для увеличения вероятности их столкновений с молекулами откачиваемого газа, приводящих к ионизации последних, в насосах этого типа используется определенным образом направленное магнитное поле. Такой насос обладает большой быстротой действия (до нескольких тысяч литров в секунду) и хорошим предельным вакуумом (до 10^{-7} — 10^{-8} мм рт. ст.). Одна-

ко сложность его устройства и эксплуатации; а также значительный расход электроэнергии на поддержание электрического и магнитного полей существенно ограничивают его промышленное использование.

Значительно большую перспективу промышленного применения имеет изображенный на рис. 5 ионно-испарительный насос. В этом насосе откачка достигается в результате непрерывного процесса поглощения газа за счет испарения и кон-

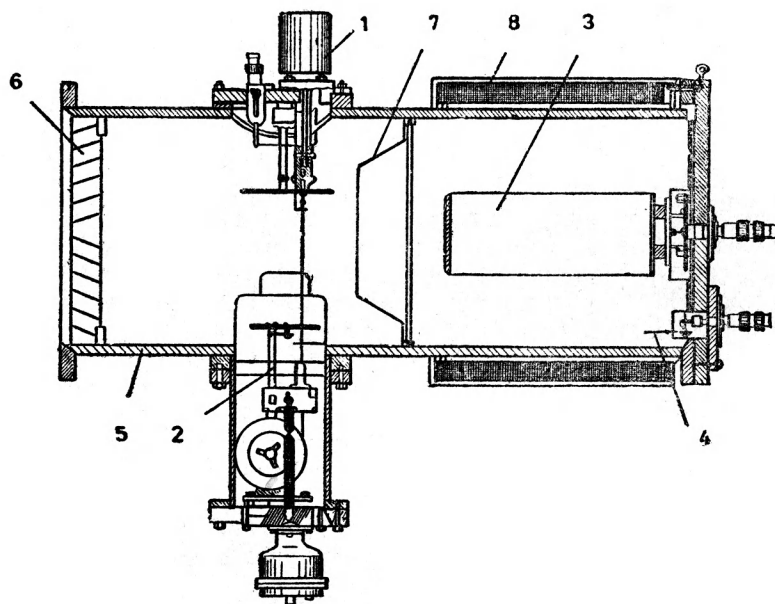


Рис. 5. Устройство ионно-испарительного насоса:
1 — испаритель; 2 — питатель; 3 — анод ионизатора; 4 — катод ионизатора; 5 — корпус; 6 — решетчатый экран; 7 — щиток; 8 — соленоид.

денсации на стенках насоса титана, причем процесс поглощения активизируется благодаря частичной ионизации откачиваемого газа.

Корпус насоса представляет собой цилиндрическую трубу из нержавеющей стали, стенки которой охлаждаются водой, непрерывно циркулирующей по змеевику. В верхней части корпуса находится испаритель титана. Непосредственно под испарителем расположен питатель с запасом титановой проволоки, которая периодически подается в испаритель, для чего применен электромагнит, срабатывающий от реле времени. Проходя через находящуюся в испарителе кольцеобразную нить накала (которая имеет отрицательный потенциал отно-

сительно проволоки), титановая проволока интенсивно бомбардируется вылетающими с нити накала электронами и почти мгновенно испаряется.

Конденсируясь на холодных стенках насоса, титан интенсивно поглощает газы, поступающие в насос из откачиваемого объема. Наиболее эффективно титан поглощает такие газы, как водород, азот и кислород. Для того чтобы активизировать процесс откачки содержащихся в воздухе инертных газов (аргона, гелия и др.) применяют их дополнительную ионизацию.

Источником электронов в ионизаторе является расположенный вблизи стенки насоса небольшой накаливаемый катод. Вдоль оси ионизатора помещен цилиндрический анод, находящийся под высоким положительным потенциалом.

Расположенный снаружи ионизатора соленоид создает продольное магнитное поле, благодаря которому испускаемые катодом электроны закручиваются внутри ионизатора, что значительно увеличивает вероятность их столкновения с молекулами газов и приводит к интенсивной ионизации последних. Образующиеся при этом положительные ионы выталкиваются электрическим полем к стенкам насоса, которые одновременно являются отрицательным электродом ионизатора, и замуровываются в стенку непрерывно напыляемым на нее слоем титана.

Предельный вакуум, который может быть получен с помощью такого насоса, составляет 10^{-9} мм рт. ст., а быстрота действия достигает 10 000 литров в секунду. Ионно-испарительные насосы широко применяются прежде всего для обеспечения того высокого разрежения, которое требуется при изучении термоядерных процессов.

КАК ИЗМЕРЯЮТ ВАКУУМ

Вакуумная техника охватывает громадный диапазон давлений — от атмосферного до 10^{-11} мм рт. ст. Вполне понятно, что не существует какого-либо одного универсального прибора, который смог бы работать в столь широком диапазоне давлений. Поэтому в вакуумной технике применяется большое количество различных манометров, принцип работы которых основан на использовании зависимости того или иного физического явления от давления газа.

Непосредственно само давление разреженного газа измеряется только в жидкостных и механических манометрах. Жидкостные манометры обычно делаются из стеклянной трубки, изогнутой в виде латинской буквы U. Их работа основана на перемещении уровней рабочей жидкости (чаще всего ртути) в коленях трубки в зависимости от разности давлений над этими уровнями. Для измерения давления в вакуумной установке к ней подсоединяют один конец манометра.

Манометры бывают двух видов: у одних конец трубки запаивается, а у других остается открытым и постоянно сообщается с атмосферным воздухом. Из манометров с запаянным коленом трубки предварительно откачивают воздух.

При измерении давления манометром с запаянным коленом уровень ртути в колене понижается и над ним образуется «торическая пустота». Разность уровней ртути в коленях закрытого манометра непосредственно указывает величину давления остаточных газов в том объеме, к которому присоединен манометр.

Для того чтобы измерить давления открытым манометром, необходимо в момент измерения точно знать атмосферное давление, что является значительным неудобством, так как атмосферное давление непрерывно изменяется.

Иногда в U-образных манометрах для увеличения точности отсчета вместо ртути применяют более легкие жидкости, например масла, что дает возможность измерять давление до 10^{-1} мм рт. ст.

В производственных условиях часто вместо жидкостных U-образных стеклянных манометров применяют стрелочные деформационные манометры спирального типа. Хотя они менее точны, но зато имеют небольшие размеры и обладают большой прочностью. Основной деталью этого манометра является изогнутая в виде кольца полая пружина (спираль). Один конец ее запаян, а другой присоединен к откачиваемой установке. По мере понижения давления во внутренней полости пружины она деформируется, и стрелка манометра перемещается по шкале. Деление шкалы, против которого останавливается стрелка, показывает разность между атмосферным давлением и давлением во внутренней полости пружины. Нижний предел чувствительности этих манометров 20—10 мм рт. ст.

Более низкие давления (до нескольких миллиметров рт. ст. и даже долей миллиметра) могут измерять деформационные манометры мембранного типа. Чувствительным элементом в них является плоская или гофрированная мембрана, изготовленная из тонкой металлической фольги. Под действием разности давлений мембрана изгибается и посредством системы рычагов приводит в движение стрелку или перемещает движок потенциометра. По положению стрелки или движка потенциометра можно судить о величине давления в разрежаемом объеме.

Однако уже при разрежении в 1 мм рт. ст. давление воздуха становится меньше 1,5 г на 1 кв. см поверхности, что находится на пределе чувствительности механических манометров мембранного типа.

Для измерения более низких давлений применяют манометры, действие которых основано на использовании тех или

иных специфических свойств разреженного газа. Для измерения давлений от 1 до 10^{-3} мм рт. ст. чаще всего используется зависимость теплопроводности разреженного газа от давления. В стеклянный баллон, присоединенный к вакуумной системе, помещают нагреваемую электрическим током металлическую нить. При уменьшении давления количество молекул в баллоне, которые являются переносчиками тепла, уменьшается, вследствие чего при неизменном токе накала повышается температура нити.

Если к нагреваемой нити приварить миниатюрную термопару, то по величине термоэлектродвижущей силы можно судить о давлении, что обычно и делается в широко распространенных термопарных манометрах. Кроме того, о давлении можно судить также по изменению сопротивления нити накала, если использовать для этой цели металлы с большим температурным коэффициентом электрического сопротивления (вольфрам, платина).

Для измерения давлений в диапазоне 10^{-2} — 10^{-3} мм рт. ст. может использоваться радиоактивный ионизационный манометр. В этом манометре молекулы остаточного газа ионизируются альфа-частицами, испускаемыми радиоактивным веществом, тонкий слой которого наносится вблизи впускного патрубку манометра. Образующиеся в процессе ионизации положительные ионы двигаются к отрицательно заряженному коллектору, создавая в его цепи ток, по величине которого можно судить о давлении.

Для измерения давлений от 1 до 10^{-7} мм рт. ст. используются магнитные электроразрядные манометры с холодным катодом. В манометре имеются две катодные пластины, между которыми находится рамка в виде проволочной петли, выполняющая роль анода. Между анодом и катодными пластинами подается высокое напряжение, кроме того, перпендикулярно к плоскости катодных пластин приложено сильное магнитное поле. Если вблизи одной из катодных пластин по каким-либо причинам (например, в результате космической радиации) появится электрон, то под влиянием совместного действия электрического и магнитного полей он будет двигаться к положительно заряженному аноду по траектории, имеющей вид винтовой линии с малым шагом.

Электрон не может сразу попасть на анод, а благодаря кольцеобразной форме последнего пролетает внутрь анодной рамки по направлению к противоположной катодной пластине, тормозится ею и движется в обратном направлении, совершая таким образом многократные колебания около плоскости анодной рамки.

При этом путь электрона сильно удлиняется и увеличивается вероятность его встречи с молекулами остаточных газов, приводящая к их ионизации. В манометре возникает

самостоятельный электрический разряд, а величина разрядного тока в достаточно широких пределах зависит от давления.

Еще более низкие давления, вплоть до 10^{-10} мм рт. ст., измеряются ионизационными манометрами с накаливаемым катодом. В манометре обычно имеется три электрода: катод, анод и коллектор положительных ионов. Накаленный катод испускает электроны. Совершая колебательные движения около анода, обычно выполненного в виде редкой сетки, электроны сталкиваются с молекулами и атомами остаточных газов и ионизируют их. Число образовавшихся положительных ионов пропорционально давлению газа, которое измеряется по величине тока в цепи коллектора.

Показания теплоэлектрических, ионизационных и магнитных электроразрядных манометров зависят от рода газа. Однако состав остаточных газов чаще всего точно не известен. В связи с этим существенный интерес представляет прибор, позволяющий не только измерять давление остаточного газа, но и определять его состав. Одним из таких приборов является омеготрон. Молекулы остаточных газов в этом приборе ионизируются электронами, испускаемыми накаленным вольфрамовым катодом, а возникающие ионы ускоряются между двумя параллельными пластинами, к которым приложена переменная разность потенциалов высокой частоты. Одновременное действие магнитного поля и переменной разности потенциалов заставляет ионы двигаться по спирали со все возрастающим радиусом, пока они не попадут на коллектор. Величина коллекторного тока является мерой парциального давления того или иного газа.

Теплоэлектрические, ионизационные, радиоактивные и магнитные электроразрядные манометры не поддаются точному расчету и обычно предварительно градуируются по ртутному компрессионному манометру. В этом манометре разреженный газ, первоначально напущенный в большой объем, сильно сжимается, в результате чего давление становится доступным непосредственному измерению путем сравнения уровней ртути в измерительном и сравнительном капиллярах.

Такой манометр является абсолютным, так как его можно рассчитать и проградуировать без сравнения с показаниями какого-либо другого манометра.

УСТРОЙСТВО ВАКУУМНОЙ АППАРАТУРЫ

Вакуумная аппаратура отличается от любой другой (в том числе и от аппаратуры высокого давления) высокой чувствительностью к проникновению малейших количеств газа. Казалось бы, сосуды и соединения, предназначенные для работы при высоких давлениях и не имеющие сколько-нибудь заметной утечки газа, будут герметичными и в том случае, если в них создать разрежение. Однако в действительности самые,

казалось бы, надежные котлы, емкости, баллоны, газопроводы, вентили и другая аппаратура высокого давления оказываются в большинстве случаев совершенно непригодными для использования в условиях высокого вакуума.

Дело в том, что незначительное количество газа, вытекающее из сосуда через его стенки, соединения и уплотнения в случае высокого давления, совершенно несоизмеримо с количеством газа, сжатого в этом случае в объеме сосуда. А вместе с тем при наличии в объеме разрежения, проникновение в объем того же самого незначительного количества газа совершенно меняет в нем степень разрежения. Для пояснения этого приведем такой пример. Если из сосуда объемом в 1 л, в котором заключен газ при давлении 100 атм, вытечет 1 куб. см газа при давлении 1 атм, то давление в сосуде упа-

дет всего лишь на $\frac{1}{100\,000}$ часть, т. е. на 0,001%, что в подав-

ляющем большинстве случаев никакого практического значения не имеет. Если же такое же самое количество газа натечет в сосуд, предварительно откачанный до разрежения $1-10^{-6}$ мм рт. ст., то давление в сосуде возрастет почти в миллион раз. В самом деле, в откачанном сосуде до натекания со-

держалось всего лишь $\frac{10^3 \cdot 10^{-6}}{760} = \frac{1}{760\,000}$ куб. см газа, приве-

денного к атмосферному давлению. 1 куб. см натекшего газа больше этого количества в 760 000 раз, а значит и давление в сосуде после натекания увеличится в такое же количество раз, что совершенно недопустимо.

Из приведенного примера видно, что вакуумная аппаратура должна быть практически совершенно газонепроницаемой.

Как же обеспечивается ее газонепроницаемость?

Прежде всего для изготовления вакуумной аппаратуры применяют только те материалы, которые имеют достаточно плотную структуру, обеспечивающую их полнейшую газонепроницаемость даже при малой толщине стенок. К таким материалам в первую очередь относятся различные сорта стекол, малоуглеродистая и нержавеющая сталь, медь, алюминий и различного рода сплавы.

Особое внимание уделяется тщательности изготовления соединений отдельных деталей арматуры. Неразборные вакуумноплотные соединения обычно осуществляются с помощью сварки и пайки, а для обеспечения герметичности разборных соединений применяются уплотняющие прокладки из резины, пластмассы, меди или алюминия, стягиваемые болтами или винтами.

Но не только проникновение воздуха внутрь вакуумной аппаратуры может являться причиной значительного повышения в ней давления. Большое влияние оказывает также выделение из самих стенок вакуумной аппаратуры ранее поглощенных газов и паров. Причинами этого являются как наличие газов и паров в толще материалов, из которых изготовлена аппаратура, так и удерживание газов и жидкостей на обращенных в вакуум поверхностях, которые ранее соприкасались с атмосферным воздухом. Поэтому, применение пористых материалов совершенно недопустимо. Помимо значительной газопроницаемости, они долгое время «газят», выделяя внутрь аппаратуры находящиеся в порах газы и пары. Вот почему для изготовления вакуумной аппаратуры преимущественно применяют плотные материалы и прежде всего те из них, которые легко обрабатываются и полируются.

Качество обработки внутренних деталей аппаратуры имеет существенное значение. Чем меньше шероховатостей, трещин и зазоров будет на внутренних стенках, тем меньше будет их действительная поверхность, а следовательно, и меньшее количество газов они смогут удерживать. Кроме того, гладкие полированные поверхности облегчают промывку их различного рода органическими растворителями (бензином, ацетоном, спиртом и т. п.) для удаления жиров и других загрязнений с поверхности деталей перед их окончательной сборкой.

Для обеспечения наиболее полного удаления газа из вакуумной аппаратуры перед вводом в эксплуатацию ее обычно длительное время прогревают при непрерывной откачке. При этом интенсивность газовыделения резко повышается и после прекращения нагрева стенки аппаратуры оказываются практически свободными от ранее поглощенных газов и паров.

В лабораторной практике в качестве конструктивного материала для изготовления вакуумных систем до сих пор широкое применение находит стекло в виде труб, цилиндров, колб и т. п. Стекло дает возможность осуществлять быструю переделку вакуумной системы, что очень важно при выполнении различного рода экспериментальных исследований. Оно легко принимает любую нужную форму, при прогреве до температуры 300—400° с его поверхности достаточно легко удаляются ранее поглощенные газы, кроме того, оно практически газонепроницаемо.

Неподвижные соединения осуществляются спаиванием стеклянных деталей с помощью газовой горелки. Герметичность подвижных соединений, к которым в первую очередь относятся краны и шлифы, достигается путем взаимной тщательной притирки соприкасающихся поверхностей с последующим нанесением на них специальной вакуумной смазки.

В послевоенные годы на смену хрупким и ненадежным в эксплуатации стеклянным вакуумным установкам пришли цельнометаллические вакуумные системы, обладающие высокой прочностью, надежные и удобные для применения в самых различных областях промышленного производства.

Корпуса больших ртутных выпрямителей, электронных микроскопов, печей для вакуумной пайки и плавки, установок для нанесения покрытий под вакуумом, для вакуумной сушки пищевых продуктов и другой вакуумной аппаратуры чаще всего изготавливаются путем сварки металлических листов различной толщины и геометрических размеров.

Для осуществления многих процессов часто бывает необходимо обеспечить вращение и перемещение отдельных элементов внутри вакуумной установки без нарушения ее герметичности. Возвратно-поступательное перемещение стержня или штока через стенку вакуумной аппаратуры может осуществляться с помощью гофрированных трубок (сильфонов), изготовленных из стали, меди, томпака или латуни. За счет упругой деформации гофр сильфоны можно легко сгибать, растягивать и сжимать. Припаявая один конец сильфона к стержню или штоку, а другой — к стенке вакуумной аппаратуры, удастся добиться ее полной герметичности. Кроме передачи возвратно-поступательного движения, сильфонное соединение может использоваться для передачи колебательного и вращательного движения в вакуум, однако чаще всего для этой цели применяются сальниковые уплотнения с резиновыми и металлическими шайбами, смазываемыми высококачественным вакуумным маслом.

Разобщение отдельных частей вакуумной установки осуществляется с помощью вентилях и затворов. Конструкция вакуумных вентилях похожа на конструкцию вентилях, применяемых в водопроводных и газовых системах, но обладает своими характерными особенностями, связанными с повышенными требованиями к их герметичности. В отличие от вентилях вакуумные затворы или задвижки, как правило, обладают большей быстротой манипуляции и значительной пропускной способностью, что обеспечивается прежде всего большими проходными диаметрами.

Вакуумная установка обычно состоит из откачиваемого объема, вакуумных насосов, вентилях, затворов и соединительных трубопроводов. Высоковакуумный пароструйный насос чаще всего присоединяется к откачиваемому объему не непосредственно, а через переходные коммуникации. Между насосом и откачиваемым объемом в большинстве случаев устанавливается затвор, позволяющий отсоединять насос от объема, а также охлаждаемая ловушка, препятствующая проникновению паров рабочей жидкости из насоса в разрежаемый объем.

Отечественной промышленностью выпускаются специальные вакуумные агрегаты, включающие в себя высоковакуумный пароструйный насос, охлаждаемую жидким азотом ловушку и переходной патрубков с затвором. Быстрота действия современных вакуумных агрегатов достигает нескольких тысяч литров в секунду.

В процессе сборки, наладки и эксплуатации вакуумной аппаратуры зачастую возникает необходимость обнаружить те места, где имеется натекаание атмосферного воздуха для того, чтобы ликвидировать хотя бы малейшее проникновение воздуха внутрь вакуумной системы.

В том случае, если вакуумная установка частично или полностью изготовлена из стекла, для грубого определения степени вакуума, а также для обнаружения места течи может быть использован так называемый искровой течеискатель. Грубая оценка степени вакуума может быть сделана по характеру свечения высокочастотного разряда, возникающего в откачанной установке при поднесении к ней электрода искрового течеискателя. Если течи нет и в установке высокий вакуум, то наблюдается слабое сероватое свечение. Если имеется течь, то цвет свечения становится красным или лиловым.

Место течи в стеклянной установке можно обнаружить, перемещая острие электрода искрового течеискателя по поверхности подозреваемого участка. Если течи вблизи нет, то с электрода в стекло будет бить беспорядочный пучок искр. Но как только конец электрода приблизится к течи на расстояние около 1 см, разряд сформируется в тонкий, ярко-белый искровой пучок, направленный своим конусом точно в место течи.

Хотя этот способ обнаружения течей достаточно прост, однако он ограничен довольно узким диапазоном давлений (от нескольких миллиметров рт. ст. до сотых долей миллиметра рт. ст.) и мало чувствителен при отыскании течей в металлических установках.

В этом случае для обнаружения грубых течей чаще всего используется метод опрессовки (испытание давлением). При применении этого метода внутри испытуемого объекта создают избыточное давление, после чего с помощью того или иного приема наблюдают за выходящим через течи газом. Если испытываются отдельные узлы или детали, то они погружаются в ванну с водой, после чего наблюдают за выделением пузырьков газа. Если испытанию подвергается целая установка, которую нельзя погрузить в воду, то течи могут быть обнаружены по отклонению пламени газовой горелки под действием вырывающихся через течь струек газа. Для обнаружения более тонких течей поверхность установки смачивают

мыльным раствором и наблюдают за возникновением пузырей.

В последние годы появились более тонкие методы, позволяющие обнаруживать самые ничтожные течи. К их числу относится, например, метод галоидного течеискателя, основанный на использовании явления испускания положительных ионов накаливаемой до высокой температуры платиной, которое сильно увеличивается в присутствии галоидосодержащих газов. При применении этого метода вакуумную установку чаще всего наполняют фреоном до давления выше атмосферного, после чего обследуют «подозрительные» места специальным щупом, в котором находится платиновый элемент. Отклонение стрелки прибора и изменение частоты звукового сигнала говорят об утечке газа в том месте, к которому прикасается щуп.

Еще более чувствительный метод основан на использовании масс-спектрометра, подсоединяемого к откачиваемой вакуумной установке. Последовательно обдувая снаружи «подозрительные» места установки тонкой струйкой гелия, по изменению звукового сигнала и показанию прибора следят за попаданием гелия в камеру масс-спектрометра. Проникновение гелия в установку происходит в том месте, где имеется течь.

Выбор гелия в качестве пробного газа объясняется прежде всего тем, что он почти отсутствует в окружающей атмосфере и среди газов, выделяемых стенками вакуумной аппаратуры, и вместе с тем хорошо проникает даже в самые ничтожные трещины и щели.

За последние годы в производстве электровакуумных приборов начал применяться люминесцентный метод обнаружения течей. Испытываемые приборы при этом предварительно помещают в раствор люминофора. При наличии в приборе течи под действием капиллярных сил раствор медленно втягивается внутрь места течи, и в этом месте, по мере испарения растворителя, постепенно накапливается подсохший люминофор, который в дальнейшем легко обнаружить при облучении прибора ультрафиолетовыми лучами. Светящаяся точка на поверхности прибора показывает место течи. Для того, чтобы иметь представление о тех ничтожных по величине течах, с которыми приходится иметь дело в вакуумной технике, достаточно, например, сказать, что даже через отверстие, которое имеет площадь всего лишь $0,0003 \text{ кв. мм}$, проникает в аппаратуру $0,1 \text{ г}$ воздуха в час, что совершенно недопустимо в высоковакуумных системах.

ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ ПРИБОРОВ

Высокий вакуум необходим для подавляющего большинства современных электровакуумных приборов прежде всего потому, что во многих из них имеются нагретые до высокой

температуры детали. В лампах накаливания в качестве источника света используется накалившаяся до высокой температуры вольфрамовая спираль. В приемно-усилительных и генераторных лампах, в приборах сверхвысоких частот, в рентгеновских и электронно-лучевых трубках и во многих газоразрядных приборах источником электронов является накаливающийся до высокой температуры катод. Если из этих приборов предварительно не удалить атмосферный воздух, то при нагреве спираль или катод сгорит в кислороде воздуха. Даже незначительное присутствие химически активных газов в электронной лампе или каком-либо другом приборе с накаливающим катодом (газотроне, тиратроне и т. п.) вызывает отравление катода, в результате чего выход электронов из него прекращается.

Но не только химически активные газы приводят в негодность электровакуумный прибор. В том случае, если прибор плохо откачан, то независимо от состава остаточных газов, в результате приложенного к электродам прибора напряжения, а также вследствие взаимодействия с испускаемыми катодом электронами, молекулы остаточных газов ионизируются. Возникающие при этом ионы изменяют характеристики и параметры приборов, а при наличии на их электродах высокого напряжения могут явиться причиной пробоя, вследствие чего прибор может выйти из строя. Значительное увеличение давления в электронной лампе вызывает резкое увеличение анодного тока и образование концентрированного дугового разряда, приводящего к расплавлению электродов и гибели лампы.

Предварительная тщательная откачка воздуха имеет важное значение не только для высоковакуумных, но и для газонаполненных приборов (газотроны, тиратроны, игнитроны, разрядники, газосветные лампы, газонаполненные фотоэлементы и т. п.). Дело в том, что наличие малейших посторонних примесей к основному газу или к газовой смеси, которой наполняют прибор после его предварительной откачки, сильно меняет установленный потенциал зажигания и пробивное напряжение, а в газосветных лампах — характер и цвет свечения.

Из всего сказанного очевидна недопустимость в электровакуумных приборах посторонних газовых примесей, необходимо удаления из них атмосферного воздуха, тщательного обезгаживания внутренней арматуры и поддержания в них высокого вакуума в процессе всего периода эксплуатации.

Откачка воздуха из колб осветительных ламп, а также различного рода электровакуумных приборов, к которым в первую очередь относятся приемно-усилительные лампы, при их массовом производстве осуществляется с помощью откачных полуавтоматов. Если сравнительно недавно откачные полуав-

томаты предназначались в основном для откачки воздуха из приборов, имеющих, как правило, сравнительно небольшой разрежаемый объем, то в последнее время проявляется вполне оправданное стремление перевести на машинную откачку воздуха более широкий круг электровакуумных приборов, включая электронно-лучевые трубки и другие приборы, имеющие большие откачиваемые объемы.

Производительность современных заварочно-откачных полуавтоматов, применяемых в производстве осветительных ламп, достигает нескольких тысяч ламп в час. При этом автоматически осуществляется загрузка ножек и колб, заварка ламп, перенос лампы с последней позиции заварки на позиции откачки, откачка воздуха и клеймение колб. Пройдя цикл заварки и откачки, лампы автоматически сбрасываются на транспортер, с помощью которого они передаются на цоколевочный автомат.

В обязанность работницы, обслуживающей полуавтомат, входит загрузка колб в конвейер, из которого они автоматически поступают в специальные шаблоны, расположенные на заварочной карусели, и наблюдение за ходом всего технологического процесса.

Откачка воздуха из приемно-усилительных ламп более трудоемка и в меньшей степени поддается полной автоматизации. Производительность предназначенных для этой цели полуавтоматов обычно не превышает 600—800 ламп в час.

Но это отнюдь не является пределом. Совмещение ряда технологических операций, сокращение технологического цикла и дальнейшая автоматизация трудоемких процессов позволяют значительно увеличить производительность откачного оборудования.

В зависимости от целевого назначения откачные полуавтоматы имеют самые различные конструкции. Однако основной деталью каждого из них является золотник. Золотник состоит из двух массивных пришлифованных друг к другу дисков. Верхний диск связан с вращающейся при работе полуавтомата каруселью, на которой устанавливаются откачиваемые лампы. Нижний диск жестко скреплен со станиной полуавтомата. В толще подвижного и неподвижного дисков имеются каналы, выходящие наружу в виде патрубков. К патрубкам верхнего диска с помощью специальных трубопроводов присоединяются откачиваемые лампы, а к патрубкам нижнего диска — вакуумные насосы. Между прилегающими друг к другу плоскостями подвижного и неподвижного дисков имеются заполненные касторовым маслом канавки. Масло, с одной стороны, обеспечивает смазку трущихся поверхностей, а с другой — вакуумное уплотнение между подвижными и неподвижными золотниковыми дисками.

Вращение карусели и связанного с ней верхнего диска происходит с перерывами, в течение которых отверстия в обоих дисках совпадают, что обеспечивает откачку воздуха из приборов. Во время поворота карусели прибор временно изолируется от подводок, связанных с неподвижным диском. Но как только вместе с каруселью прибор перейдет на следующую позицию, он сразу же становится связанным с новым отверстием неподвижного диска, а следовательно, с новыми пароструйным или вращательным насосом.

Для откачки воздуха из колб ламп накаливания нет необходимости применять пароструйные насосы, так как обычно воздух из ламп откачивается до тех пор, пока давление не достигнет $1 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст., а дальнейшее улучшение вакуума достигается путем применения специальных газопоглотителей.

Процесс откачки приемно-усилительных ламп значительно более сложен. На первых позициях откачного полуавтомата с помощью вращательных насосов из откачиваемых приборов удаляют основную массу воздуха. Затем начинается довольно длительный процесс вакуумной обработки деталей откачиваемого прибора с одновременной откачкой из него воздуха пароструйными насосами. Прогрев лампы в электрической печи при ее одновременной непрерывной откачке позволяет удалить с внутренней поверхности стеклянной колбы ранее поглощенные газы и пары воды.

Обезгаживание металлических деталей, в зависимости от конструкции прибора, производится с помощью различных приемов. Наиболее крупные детали (прежде всего аноды) обычно прокаливаются токами высокой частоты, которые возбуждаются в них с помощью специальных индукторных катушек. Прогрев или прокаливание нитей, спиралей и катодов производится путем непосредственного пропускания через них электрического тока. Эффективное обезгаживание деталей достигается также электронной бомбардировкой. С этой целью на прогреваемые электроды (аноды, сетки, экраны и т. п.) подается положительный по отношению к катоду потенциал. Испускаемые с накаливаемого катода электроны ударяются о поверхность этих электродов, их кинетическая энергия превращается в тепловую, в результате чего электроды разогреваются до высокой температуры.

После обезгаживания внутренней арматуры продолжается откачка воздуха из приборов до тех пор, пока в них не будет достигнуто требуемое разрежение. Затем вакуумные приборы отпайваются, а в ионные приборы перед отпайкой напускается определенное количество какого-либо инертного газа.

Однако если не принять специальных мер, то в процессе работы прибора не исключена возможность повторного газо-

выделения из тех или иных деталей, в результате чего прибор может выйти из строя. Для того чтобы значительно улучшить предельное разрежение, а также непрерывно поддерживать в отпаянном приборе высокий вакуум, применяют газопоглотители. Действие газопоглотителей основано на свойстве некоторых твердых тел поглощать и прочно удерживать на своей поверхности газы, выделяющиеся в процессе эксплуатации прибора. Особенно хорошо поглощают газы сильнопористые и мелкокристаллические вещества (активированный древесный уголь, силикагель, алюмогель и др.).

В производстве электровакуумных приборов более широкое применение получили другие виды газопоглотителей, которые делятся на две большие группы. К первой группе относятся те из них, которые в процессе откачки воздуха из прибора или же в отпаянном приборе подвергаются интенсивному прогреву, в результате которого они испаряются и в виде налета осаждаются на холодных внутренних стенках колбы прибора. В вакуумных лампах накаливания для этой цели широко используется порошок красного фосфора. Он в виде спиртовой суспензии наносится на нить накала лампы и при первом же включении ее после отпайки распыляется, образуя на стенках колбы прозрачный налет, который жадно поглощает оставшиеся в колбе газы, снижая давление с 10^{-2} мм рт. ст. до 10^{-4} — 10^{-5} мм рт. ст.

В приемно-усилительных лампах требуется получить еще более низкое давление порядка 10^{-7} мм рт. ст. Здесь в качестве распыляющегося поглотителя широко применяются металлический барий и его сплавы. Барий жадно соединяется с кислородом воздуха и влагой, теряя при этом свою активность, поэтому его помещают в откачиваемый прибор в специальной защитной оболочке. В зависимости от материала защитной оболочки бариевый газопоглотитель называют «феба» (в железной оболочке), «ниба» (в никелевой оболочке) и «куба» (в медной оболочке).

Распыление бариевой ампулы осуществляется путем ее прогрева токами высокой частоты после откачки воздуха из прибора. Оседаая на стенке прибора, барий образует темный блестящий налет, снижая давление с 10^{-4} мм рт. ст. до 10^{-7} мм рт. ст.

Кроме чистого бария, в производстве электровакуумных приборов широко используются бариево-алюминиевые таблетки, бериллат бария и другие испаряющиеся газопоглотители.

В качестве неиспаряющихся газопоглотителей чаще всего используются тантал, титан, цирконий и другие достаточно тугоплавкие металлы. Характерной их особенностью является то, что они поглощают газы только будучи нагреты до высокой температуры, при которой может возникнуть химическая реакция между газопоглотителем и остаточными газами. По-

этому неиспаряющиеся газопоглотители в виде порошка наносятся на те детали прибора, которые в процессе эксплуатации нагреваются до высокой температуры (чаще всего на аноды). Использование газопоглотителей значительно облегчает задачу получения высокого вакуума и поддержания его в процессе всей работы прибора.

В связи с широким развитием телевидения в нашей стране стало необходимо резко увеличить производство приемных электронно-лучевых трубок (кинескопов) и перевести их изготовление на конвейер. Созданная коллективом Московского электролампового завода конвейерная агрегатная машина для производства кинескопов позволяет не только совмещать технологические операции, но и объединять их с межоперационным транспортированием.

Агрегат вакуумной обработки кинескопов представляет собой горизонтально замкнутый цепной конвейер непрерывного действия, на котором выполняется 140 технологических операций. Он занимает площадь около 600 кв. м и весит около 70 т.

По направляющим конвейера передвигаются откачные устройства, снабженные щетками, скользящими по токоведущим шинам. На различных участках к шинам подводятся соответствующие напряжения, необходимые для обработки деталей кинескопа. С помощью системы шины — щетки автоматически включаются и выключаются вращательные и паромасляные насосы, печи для прогрева стекла и другие приборы и аппараты. Одновременно с прогревом стекла производится прогрев электронной оптики и удаление газа токами высокой частоты.

Отличительной особенностью вакуумной системы агрегата является то, что она прямоточная, т. е. предварительная откачка основной массы воздуха вращательным насосом из сравнительно большого объема кинескопа ведется непосредственно через паромасляный насос без применения каких бы то ни было вакуумных вентилях и золотников для обеспечения раздельной работы насосов.

Использование такой системы устраняет возможность возникновения добавочных мест натекания и тем самым значительно облегчает получение высокого вакуума в кинескопе. Для того чтобы предохранить выход из строя паромасляного насоса в случае разрыва колбы кинескопа, в вакуумной системе имеется специальный мембранный клапан, разрывающий цепь электронагревателя паромасляного насоса в том случае, если давление в вакуумной системе станет больше 10^{-1} мм рт. ст.

Этот же самый клапан «дает команду» на включение паромасляного насоса после удаления из колбы кинескопа основной массы воздуха.

Кроме большого числа самых разнообразных запаянных электровакуумных приборов, мощность которых сравнительно невелика, существуют мощные и сверхмощные приборы, представляющие собой цельнометаллические устройства, достигающие нескольких метров высоты и имеющие вес в несколько сот килограммов. Они изготавливаются либо отпаянными, но такой конструкции, которая обеспечивала бы возможность их быстрой разборки с целью замены поврежденных или вышедших из строя частей, либо вообще не отпаиваются от вакуумной установки, а работают в условиях непрерывной откачки воздуха.

Для обеспечения высокогерметичных разъемных соединений в приборах этого типа в качестве прокладочного материала используется пластинка золоченой меди, зажатая между двумя фланцами, имеющими канавочно-клиновой уплотняющий профиль. Герметичность подобного рода соединений основана на том, что между разнородными металлами, прижатыми друг к другу с большой силой и нагретыми до высокой температуры, возникает взаимная диффузия, в результате которой обеспечивается практически полное отсутствие натекания атмосферного воздуха сквозь уплотнение в течение длительного времени. Вместе с тем обеспечивается легкая разборка и сборка прибора.

Однако, даже несмотря на самое тщательное обезгаживание всех внутренних деталей и металлического корпуса прибора и длительную откачку воздуха, сохранение высокого вакуума внутри прибора невозможно без применения газопоглотителей. По-видимому, в процессе работы прибора имеет место медленное выделение газов из толщи металлических деталей, корпуса и других элементов конструкции. Для поддержания вакуума $2 \cdot 10^{-7}$ мм рт. ст. в этих приборах используют титановый распыляющийся газопоглотитель с косвенным нагревом.

Чаще же всего приборы разборного типа работают в условиях непрерывной откачки воздуха. К таким приборам относятся разборные генераторные триоды, используемые на передающих радиостанциях, а также металлические ртутные выпрямители для выпрямления переменного тока.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВАКУУМА В МЕТАЛЛУРГИИ И МЕТАЛЛИЗАЦИЯ В ВАКУУМЕ

В целом ряде различных производств широко применяются такие металлы, как тантал, ниобий, титан, цирконий, чистое железо и т. п. Большинство из них получают путем спекания в вакууме спрессованных заготовок (штабиков) из порошков этих металлов.

Пористые заготовки имеют чрезвычайно большую поверхность, что обуславливает поглощение ими значительного количества различных газов, которые затем интенсивно выделяются в процессе нагрева и спекания заготовок. Если производить нагрев и спекание заготовок при атмосферном давлении, то давление газов в порах настолько сильно возрастает, что может вызвать даже разрушение заготовок.

Вакуум позволяет легко удалить из заготовок ранее поглощенные газы и произвести качественное спекание заготовок при значительно меньшем нагреве. При этом интенсивно испаряются и легко удаляются различного рода летучие примеси, содержащиеся во многих порошковых металлах. Вакуум предохраняет металлы в процессе спекания от взаимодействия с атмосферным воздухом, не препятствуя в то же время восстановлению их окислов как под действием содержащихся в некоторых порошках примесей углерода, так и в результате поступления в объем печи требуемого для этой цели количества водорода, которое может легко регулироваться с помощью специального натекателя.

Помимо спекания, в вакууме широко применяется вакуумная плавка металлов. Она необходима для получения различных сортов железа с малым содержанием углерода (железо армко, трансформаторное и др.), для производства некоторых сортов специальных сталей с пониженным содержанием водорода и азота, производства жаропрочных сталей, никеля и устойчивых против коррозии сплавов на никелевой основе с тугоплавкими и редкими металлами.

Получение высокой температуры, необходимой для плавки металлов, чаще всего достигается путем применения индукционного нагрева, при котором тепло развивается в самом нагреваемом металле. В различных конструкциях печей индуктор помещается по-разному: как в вакуумном пространстве, так и снаружи его. В первом случае уменьшается расстояние между индуктором и нагреваемым металлом, в результате чего сокращается расход затрачиваемой на плавку электроэнергии, однако при этом необходима хорошая изоляция витков индуктора для предупреждения возможности возникновения междувиткового электрического разряда в вакууме. Конструкция такой печи довольно сложна, так как здесь требуются специальные высокочастотные вакуумные вводы.

Во втором случае катушка индуктора находится под атмосферным давлением и намотана снаружи на керамический стакан, вследствие чего отпадает необходимость в хорошей междувитковой изоляции. Печи с внешним индуктором очень просты по устройству и удобны в работе. Объем пространства, из которого откачивается воздух, у них сравнительно невелик, вследствие чего сокращается время, нужное для достижения рабочего разрежения. Однако при такой конструк-

ции печи, вследствие значительного зазора между нагреваемым металлом и индуктором, резко возрастает рассеяние магнитного потока индуктора и увеличиваются потери электроэнергии. Поскольку каждая из указанных конструкций высокочастотных печей имеет свои достоинства и недостатки, то обе из них находят широкое применение.

Для сохранения основных преимуществ вакуумной плавки металл сливают из плавильного тигля в изложницу или в форму также в вакууме. Для этого поворачивают плавильный тигель внутри неподвижного кожуха печи, используя специальные сальниковые вакуумные уплотнения поворотных осей или же сразу поворачивают всю печь.

Плавка тугоплавких и порошковых металлов производится также в вакуумных печах сопротивления и дуговых печах, имеющих по сравнению с высокочастотными печами более простое электрооборудование. В качестве электронагревателей в печах сопротивления обычно используются стержни или трубы, изготовленные из угля, графита, карборунда (силита) или же из тугоплавких металлов (вольфрама, тантала, молибдена и т. п.).

В настоящее время вакуум находит применение не только для плавки и спекания металлов и металлокерамических изделий, но также для нанесения тонких металлических пленок на различные поверхности. Для этого чаще всего используется осаждение паров металла путем их конденсации в вакууме на предназначенной к покрытию поверхности. Таким путем на стекло, фарфор, керамику и другие материалы можно наносить пленки алюминия, магния, меди, серебра, золота, платины, железа, никеля, хрома и других металлов.

Аппаратура для испарения металлов в вакууме обычно состоит из металлического или стеклянного цилиндра, внутрь которого помещаются металлизированные предметы и устройство для нагрева испаряемого металла. Электрический ток можно непосредственно пропускать через ленту или проволоку из испаряемого металла или же использовать в качестве нагревательного элемента проволоку или спираль из тугоплавкого металла (обычно вольфрама или молибдена), на которой укрепляется кусок испаряемого металла. Кроме того, испаряемый металл иногда помещают в корытце, чашечку или небольшой тигелек из другого тугоплавкого металла со значительно более высокой температурой плавления, который нагревается либо электрическим током, либо индукционными токами от высокочастотного генератора.

При нагреве металл, плавясь, превращается в каплю, которая затем постепенно испаряется. В случае высокого вакуума скорость испарения металла достигает возможного для данной температуры максимума, поскольку возврат испаряющихся атомов металла из-за отсутствия столкновения их с

молекулами газа практически не имеет места. В вакууме получается четко выраженный поток атомов испаряемого металла. Оторвавшись от кусочка нагретого металла, испарившийся атом уже не меняет направления своего полета вплоть до удара о предназначенную для покрытия поверхность.

Если между испаряющимся металлом и металлизированной поверхностью поместить какой-либо экран, то он даст молекулярную тень, т. е. резко очерченный непокрытый металлом участок, четко воспроизводящий изображение экрана. Налет от сконденсированного пара может получиться только на той стороне экрана, которая обращена к источнику пара. Чем меньше размеры источника пара, тем больше резкость молекулярной тени. На принципе испарения вещества в вакууме основаны самые различные способы покрытия поверхностей как металлическими, так и неметаллическими пленками. В частности, таким путем получается пленка распыляемого газопоглотителя в баллоне электровакуумного прибора, производится алюминирование экранов электронно-лучевых трубок, зеркализация отражателей в осветительных приборах и т. п.

Тонкие металлические пленки можно получить также с помощью катодного распыления. Сущность последнего состоит в том, что под действием электрического разряда в разреженном газе возникает явление переноса частиц металла с отрицательного электрода на какую-нибудь поверхность, помещенную в область разряда, благодаря чему она покрывается очень тонким слоем металла. Наиболее легко подвергаются катодному распылению такие металлы, как золото, серебро и платина. Для получения пленок меди, железа и никеля требуется вдвое больше времени, а легкие металлы, например алюминий и магний, осаждаются путем катодного распыления настолько медленно, что оно вообще редко применяется для получения пленок этих металлов.

Металлизация путем катодного распыления обычно производится под стеклянным колпаком при давлении 10^{-1} мм рт. ст. Металлизированный предмет устанавливается на аноде, а форма катода чаще всего выбирается такой, чтобы она соответствовала форме покрываемой металлом поверхности. Так, например, если требуется нанести металл на внутреннюю поверхность трубки, то в качестве катода используется проволока, расположенная вдоль оси трубки. Для металлизации наружной поверхности трубки ее помещают внутрь катода, изготовленного в форме полого цилиндра.

ВАКУУМНАЯ СУШКА И ПРОПИТКА ПОД ВАКУУМОМ

В электротехнической промышленности широко используются разнообразные волокнистые электроизоляционные материалы: различные сорта изоляционной бумаги, картона,

хлопчатобумажная и шелковая пряжа, ткани, ленты и т. п. В натуральном виде они обладают большой гигроскопичностью, низкими диэлектрическими свойствами из-за большого количества содержащейся в них влаги, малой нагревостойкостью и низкой теплопроводностью.

Плохая теплопроводность волокнистых материалов объясняется наличием в них большого числа пор и капилляров, заполненных воздухом. Если удалить из них воздух и заменить его пропитывающим составом, теплопроводность которого больше теплопроводности воздуха, то при этом улучшается теплоотдача материала, в результате чего, например, заметно снижается нагрев обмоток электродвигателей. Кроме того, при этом повышается механическая и электрическая прочность изоляции, поскольку устраняются дополнительные потери электроэнергии вследствие ионизации воздуха в этих включениях. Такого рода ионизация ускоряет процессы старения и разрушения волокнистых материалов, а также облегчает условия пробоя изоляции.

Заполнение воздушных включений различного рода составами (лаками, компаундами, битумами) устраняет возможность внутренней ионизации и повышает срок службы изоляции, затрудняет проникновение в нее влаги, замедляет происходящие в ней окислительные процессы, повышая ее нагревостойкость.

Однако, прежде чем производить пропитку того или иного материала, необходимо полностью удалить из него влагу, чтобы не закупорить ее в порах и капиллярах. Удаление влаги производится в вакуумных сушильных печах. Эти печи представляют собой герметически закрывающиеся металлические баки круглого или прямоугольного сечения. Внутри печи расположены нагреватели, чаще всего в виде змеевика, по которому пропускается пар, нагретый до 110—120°. Вода из печи откачивается вращательным насосом, снабженным газобалластным устройством для улавливания паров воды. Остаточное давление в рабочем объеме печи поддерживается около 10—20 мм рт. ст., что позволяет полностью удалить влагу, даже не подвергая материал сильному нагреву.

Зачастую процессы вакуумной сушки и пропитки производятся на одной универсальной установке. При этом подлежащий пропитке материал помещают в автоклав, представляющий собой специальный герметически закрывающийся котел, снабженный приспособлением для обогрева. Материал сперва высушивается под вакуумом. Затем в автоклав впускают под атмосферным давлением расплавленный пропитывающий состав, перекрывают трубопровод, соединяющий автоклав с вакуумным насосом, и увеличивают давление в автоклаве до нескольких атмосфер. Этим самым пропитывающий состав принудительно загоняется во все поры и капилляры пропитыва-

емой изоляции. Наиболее глубокая и высококачественная пропитка получается при многократном повторении процесса откачки и подачи давления в автоклав.

В пищевой промышленности широко применяется вакуумная сушка. Если при высушивании продуктов путем их прогрева при атмосферном давлении из них испаряется вода, то при вакуумной сушке вода сперва замораживается, а затем непосредственно переходит в пар, минуя жидкую фазу. Такой процесс называется сублимацией, или возгонкой.

Сублимация широко применяется для сушки различных пищевых продуктов (рыбы, сырого мяса, макарон, сухарей, свежих ягод, фруктов, овощей, яиц, молока и т. п.), различных медицинских препаратов (кровяной плазмы и сыворотки, вакцин, гормонов, антибиотиков, например пенициллина и стрептомицина), витаминных препаратов, вирусов и бактерий (в том числе микроорганизмов для винодельческой промышленности, заквасок для молочной и маргариновой промышленности) и т. п.

Обычно предназначенный для сушки продукт на специальных противнях устанавливают на пустотелые полки сублиматора, охлаждаемого до температуры $5-10^{\circ}$, в котором при помощи вакуумного насоса создается разрежение в несколько миллиметров рт. ст. Между сублиматором и вакуумным насосом установлен конденсатор, имеющий широко развитую трубчатую поверхность, охлаждаемую до температуры $25-30^{\circ}$ за счет работы аммиачной холодильной установки. Разность температур в сублиматоре и конденсаторе создает разность давления паров воды и тягу паров в конденсатор с определенной скоростью. Процесс сушки сублимацией обычно имеет три периода: замораживание продукта, сушка сублимацией при температуре ниже 0° и тепловая вакуумная сушка при положительных температурах ($+50^{\circ}$). Последняя достигается подачей горячей воды в пустотелые полки сублиматора.

По сравнению с тепловой сушкой при атмосферном давлении вакуумная сушка сублимацией имеет целый ряд ценнейших преимуществ. Из-за низкой температуры пищевые продукты в процессе сублимации не претерпевают химических, бактериологических и биологических изменений, сохраняя присущие им вкус, запах и питательные свойства. Находящиеся в продуктах витамины не окисляются. Сами продукты в процессе сушки имеют минимальную усадку, хорошо сохраняют форму и размеры. Высушенные продукты представляют собой высокопористую массу, которая затем легко впитывает воду и набухает. Вместе с тем их можно хранить длительное время при обычной температуре.

Советы лектору

1. При подготовке к лекции о вакууме лектор должен прежде всего хотя бы приблизительно выяснить, каков уровень знаний будущих слушателей. Если образовательный ценз слушателей в основном не превышает 7—8 классов, то надо по возможности избегать использования специальных терминов, а если без этого в отдельных случаях невозможно обойтись, то предварительно надо простым, доходчивым и образным языком пояснить тот или иной термин или физическое явление.

Во вводной части лекции следует более подробно остановиться на специфических явлениях, происходящих в условиях вакуума, и только потом переходить к вопросу применения вакуума в различных областях народного хозяйства.

2. Рассказывая слушателям о вакууме, нужно обязательно подчеркнуть ошибочность широко распространенного мнения о вакууме как о пустоте или безвоздушном пространстве, разъяснив, что даже межпланетная среда, по современным данным, отнюдь не является пустой, а в современных высоковакуумных приборах содержатся громадные количества молекул воздуха.

3. Рассказывая о способах получения вакуума, следует более подробно остановиться на устройстве ионно-сорбционных насосов, как наиболее перспективных насосах, способных обеспечить очень высокий вакуум в больших объемах. Эти насосы разработаны сравнительно недавно и безусловно найдут самое широкое применение в науке и промышленном производстве.

4. Знакомя слушателей с техникой измерения вакуума, следует указать, что нет, да и не может быть, такого универсального вакуум-метра, который мог бы измерять тот громадный диапазон давлений, с которым имеет сейчас дело вакуумная техника.

В связи с этим для применения вакуума используются самые различные приборы, в основу устройства которых положена зависимость того или иного физического явления от давления газа. Каждый из этих приборов работает в свойственном ему диапазоне давлений.

5. Говоря об устройстве вакуумной аппаратуры, следует особо подчеркнуть значение герметичности и газовыделения, рассказать о способах вакуумно-плотного соединения отдельных конструктивных элементов металлических и стеклянных вакуумных систем и способах отыскания течей в вакуумных системах.

6. Знакомя слушателей с производством электровакуумных приборов, полезно напомнить, что первый электровакуумный прибор — электрическая лампочка накаливания (с уголь-

ным стержнем) — был создан русским ученым А. Н. Лодыгиным (1873 г.).

Позднее было открыто явление термоэлектронной эмиссии из накаливаемых проводников и фотоэлектронной эмиссии под действием падающего на катод света. Эти открытия послужили толчком к изучению физических явлений в вакууме и разреженных газах.

В результате этих исследований появились самые разнообразные электровакуумные приборы, количество типов которых в настоящее время исчисляется тысячами и без применения которых невозможно было бы развитие радиотехники, автоматики, телемеханики и не было бы тех замечательных достижений в исследовании космоса, которыми может сегодня гордиться советский народ.

7. Говоря об использовании вакуума в металлургии, в пищевой, химической, фармацевтической, электротехнической промышленности, надо подчеркнуть, что с внедрением вакуума связано развитие передовых методов труда, повышение производительности труда и резкое улучшение качества выпускаемых изделий.

8. В заключение следует сказать, что в нашей стране вакуумная техника начала по-настоящему развиваться только после Великой Октябрьской социалистической революции и темпы ее развития и внедрения в науку, технику и промышленное производство непрерывно нарастают.

ЛИТЕРАТУРА

- Б. И. Королев.** Основы вакуумной техники. Госэнергоиздат. 1958.
- Б. С. Данилин.** Конструирование вакуумных систем. Госэнергоиздат. 1959.
- Б. С. Данилин.** Вакуумные насосы и агрегаты. Госэнергоиздат. 1959.
- Б. С. Данилин.** Вакуум и его применение. Трудрезервиздат. 1958.
- А. В. Балицкий.** Изготовление вакуумной аппаратуры. Госэнергоиздат. 1959.
- В. И. Кузнецов.** Механические вакуумные насосы. Госэнергоиздат. 1959.
- В. А. Пазухин, А. Я. Фишер.** Вакуум в металлургии. Металлургиздат. 1956.
- В. А. Ланис, Л. Е. Левина.** Практические основы вакуумных испытаний. Госэнергоиздат. 1955.
- Я. Грошковский.** Технология высокого вакуума. Изд-во иностранной литературы. 1957.
- Р. Яккель.** Получение и измерение вакуума. Изд-во иностранной литературы. 1952.
- Н. А. Блискунов, И. Я. Каменецкий.** Технология производства электровакуумных приборов. Госэнергоиздат. 1959.
- М. А. Лебединский.** Электровакуумные материалы. Госэнергоиздат. 1956.
- П. Н. Андреев, Н. В. Зарянов.** Техника разборных ламп. Связьиздат. 1959.
- Л. Г. Ульмишек.** Производство электрических ламп накаливания. Госэнергоиздат. 1958.
- Г. А. Спыну.** Вакуумные уплотнения. Машгиз. 1956.
-

СЕРИЯ IV «НАУКА И ТЕХНИКА»

Издательство «Знание» выпускает серию брошюр, освещающих новейшие достижения науки и техники в различных отраслях народного хозяйства.

Вышли в свет следующие брошюры:

- № 1 А. И. Меркулов.** Полет ракет к Луне.
- № 2 М. И. Полухин и Б. Г. Гринберг.** Черная металлургия в семилетии.
- № 3 Б. А. Миртов.** Межпланетная станция.
- № 4 П. В. Кондратьев.** Вертолеты.
- № 5 Н. А. Орлов.** Машиностроение — основа комплексной механизации и автоматизации.
- № 6 В. Х. Абианц.** Реактивные двигатели и большие скорости.
- № 7 Г. Д. Пекелис.** Передовые методы ремонта оборудования.
- № 8 И. Я. Аксенов.** Кибернетика на транспорте.
- № 9 Л. Н. Кошкин.** Роторные линии.
- № 10 М. И. Чернов.** Суда на подводных крыльях.
- № 11 Я. Б. Миндлин.** Алмазы в технике.
- № 12 М. А. Айзерман** Кибернетика и автоматизация производства.

Готовятся к изданию:

- С. Г. Солопов.** В И. Ленин о техническом прогрессе.
- Е. А. Гаккель.** Тепловсзы.
- Н. П. Путник.** Подземное тепло.
- А. В. Яроцкий.** Электрический сигнал.
- В. М. Фридман.** Ультразвук.
- Н. Ф. Воллернер.** Радиоэлектроника в народном хозяйстве.
- Ю. С. Крючков.** Подводные лодки.
- Н. И. Рогожин.** Авиация в народном хозяйстве.
- А. Д. Амиров.** Развитие нефтяной промышленности Азербайджана.

К ЧИТАТЕЛЯМ

Издательство «Знание» Всесоюзного общества по распространению политических и научных знаний просит присылать отзывы об этой брошюре по адресу: Москва, Новая площадь, д. 3/4.

Автор
Борис Степанович Данилин

Редактор **Т. Ф. Исланкина**
Техн. редактор **Л. Е. Агрощенко**
Корректор **З. С. Патеревская**

Обложка художника **И. Н. Родионова**

А 04685. Подписано к печати 18/VI 1960 г. Тираж 41 000 экз. Изд. № 155
Бумага 60×92¹/₁₆—1,25 бум. л = 2,5 печ. л. Учетно-изд. 2,34 л. Заказ 1371
Цена 75 коп

Типография изд-ва «Знание». Москва, центр, Новая пл., д. 3/4.

75 коп.