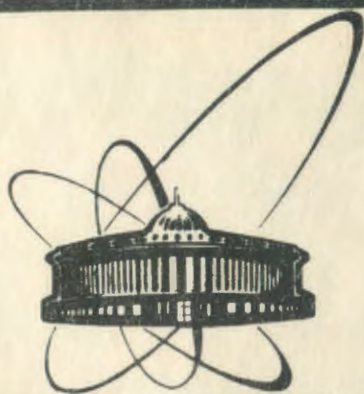


90-440

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА



**сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна**

P9-90-440

М. Н. Вертеш

**ПОВЕРХНОСТНЫЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ,
ИХ ВЛИЯНИЕ НА ВАКУУМ
И ОПТИМАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ И СТЕКЛЯННЫХ ДЕТАЛЕЙ
ДЛЯ СВЕРХВЫСОКОГО ВАКУУМА
ФИЗИЧЕСКИХ УСТАНОВОК**

Доложено на II Европейской вакуумной
конференции, Италия, 21-25 мая 1990 г.

1990

Введение

В последнее время в различных областях науки и техники и особенно в разнообразных физических установках и ускорителях широко используется высокий и сверхвысокий вакуум.

Самым же важным условием получения и сохранения сверхвысокого вакуума в вакуумных системах является тщательная и полная очистка поверхностей вакуумных деталей от различных загрязнений перед монтажом ее, по принципу: чем чище детали, используемые при монтаже вакуумных систем, тем короче процесс откачки и тем более высокий вакуум может быть достигнут [2,5].

В нижеприводимой статье описываются и классифицируются виды загрязнений, приводится схема их расположения на поверхности деталей и объясняется механизм их отрицательного влияния на вакуум.

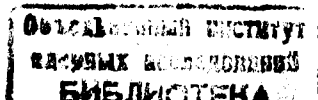
Что касается количественной оценки соотношения друг к другу различных видов загрязнений на поверхности деталей, то автор этой статьи ни в одном из использованных литературных источников не нашла ее. Это и ясно: количественное соотношение различных типов загрязнений непредсказуемо: - оно зависит от окружающих вакуумные детали условий внешней среды при их изготовлении, хранении, транспортировке; - от ее загрязненности механическими, органическими, химическими агентами; - от ее газового состава и от реальностей попадания загрязнений на поверхность вакуумных деталей. Это количественное соотношение изменяется вместе с изменением внешних условий.

В статье также приводятся оптимальные, по мнению автора, варианты технологий очистки металлических и стеклянных деталей для сверхвысокого вакуума.

Виды загрязнений и их размещение на поверхности вакуумных деталей

Поверхность вакуумных деталей считается чистой, когда на ней находится минимальное количество загрязнений.

Для разработки оптимального процесса очистки нужно знать типы существующих загрязнений. Всякая классификация их является в определенной степени условной.



Пожалуй, самым целесообразным является классификация на основании химических свойств загрязнений, что и определяет выбор способов их обнаружения и удаления [1,2]. Рассмотрим виды загрязнений поверхностей вакуумных деталей.

Физические и механические загрязнения: волокна, ворсинки, абразивные частицы, металлическая пыль и мелкая стружка, керамическая, стеклянная и прочая пыль, коготь и другие посторонние частицы, физически либо химически не связанные с поверхностью вакуумной детали. Источники их - окружающая среда и люди.

Органические загрязнения, нерастворимые в воде. Это углеводороды: смазки, масла, эмульсии для охлаждения режущих инструментов, смолы, жирные кислоты и стеролы.

Попадают они на поверхность при обработке деталей на станках, из загрязненного воздуха.

Смолы - из табачного и печного дымов; жирные кислоты - олеиновая, стеариновая, пальмитиновая - из масел и смазок.

Стеролы - с рук, из мыла и мыльных охлаждающих эмульсий.

Они образуют либо грубые загрязнения, либо тонкие пленки - монослои.

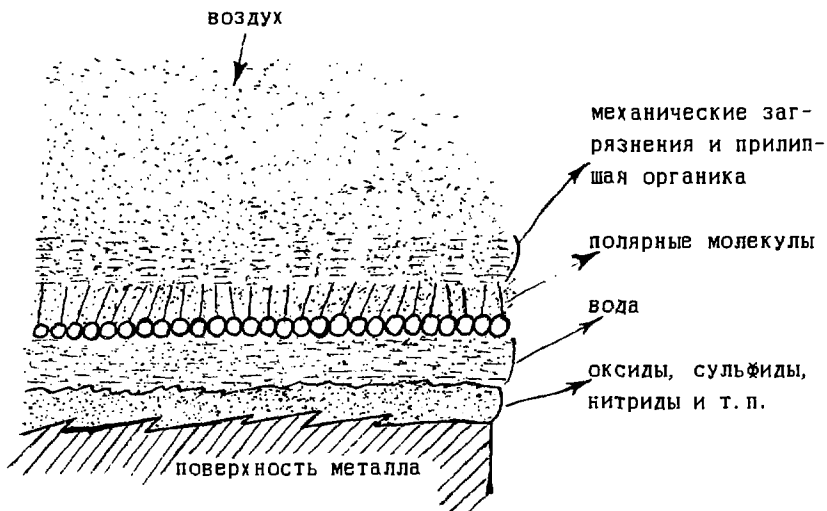
Растворимые в воде (ионные) загрязнения. Это электролиты - минеральные соли (NaCl и др.), остатки кислот и щелочей.

Неэлектролиты - различные органические соединения.

Нерастворимые химические вещества, химически связанные с поверхностью деталей. Это окисные, сульфидные, силикатные, нитридные, боридные и др. фазовые пленки, образующиеся на поверхности деталей при механической, химической и термической обработке. Как правило, они прочно соединены с поверхностью деталей. Являются одним из основных источников газовой выделенной в вакууме.

Газообразные загрязнения. Это - газы адсорбированные, абсорбированные поверхностью и выделяющиеся в вакуумной системе во время ее работы. Прогрев в вакууме способствует их удалению. На вакуумных деталях обычно вместе присутствуют различные виды загрязнений [1,2].

Рассмотрим схему расположения вышеуказанных типов загрязнений [3] на поверхности деталей:



Отрицательное действие загрязнений на вакуум

Вредное действие органических загрязнений и некоторых видов механических загрязнений состоит в том, что они, особенно жирные кислоты и стеролы, под действием высокоинтенсивного корпускулярного и электромагнитного излучений, экстремальных радиационных и температурных условий, под действием ускоренных частиц и электронов, выпадающих из цикла ускорения и бомбардирующих стенки вакуумных систем физических установок, разлагаются с выделением молекул CO_2 , CO , H_2O , O_2 , CH_4 , C , H_2 , C_2H_2 , C_2H_4 и др., с образованием лаковых пленок, твердого графита. Эти молекулы ухудшают вакуум, а между углеродом и водородом, при определенных условиях, могут образовываться за счет химических реакций углерод-водород летучие углеводороды C_mH_n . Лаковые же пленки и углерод, в виде графита, осаждаясь, изменяют состояние электрических контактов и межэлектродных сопротивлений, еще они служат дальнейшими источниками загрязняющих газов [4, 1].

Механические загрязнения - частицы пыли, ворсинки и др.

под действием вышеуказанных факторов, действующих в физических установках, в резко восстановительной среде вакуума распадаются на газообразные и твердые составляющие. Первые загрязняют вакуум, а твердые, осажаясь, способствуют возникновению неконтролируемого электрического пробоя.

Неорганические загрязнения и связанные с поверхностью оксиды, сульфиды, сульфаты и др., разлагаясь в вакууме, выделяют, соответственно, O_2 , Si и т. д., солевые загрязнения NaCl (из пота рук) - Cl, которые пагубно влияют на оксидный катод, отравляя его, что очень ощущалось в начале работы ускорителя ЛИУ-30 (ОИЯИ), когда там в пушке работал оксидный катод.

Что касается вопроса о допустимом количестве загрязнений на поверхности вакуумных деталей, то известно, что для целей производства изделий электроники количество органических загрязнений не должно превышать $1 \cdot 10^{-8}$ г/см², что соответствует покрытию 10% поверхности деталей мономолекулярным слоем стеариновой кислоты (принятое стандартное загрязнение); количество поверхностных солевых загрязнений не должно превышать $1 \cdot 10^{-9}$ г/см² [1], т. е. требования к солевым загрязнениям на порядок жестче.

Данные по допустимым количествам загрязнений для физических установок автором не были найдены в литературе, но нужно сказать, что они должны быть строго дифференцированными и наиболее жесткие требования должны предъявляться к чистоте "первой" стенки термоядерных реакторов (ТЯР) - тороидальной оболочке, где формируется плазменный шнур, и $P_{\text{раб.}} < 1 \cdot 10^{-9}$ торр ($\approx 1.33 \cdot 10^{-7}$ Па), и к вакуумным каналам для встречных пучков ускорительно-накопительных комплексов, где исходя из критерия рассеяния частиц $P_{\text{раб.}} < 1 \cdot 10^{-9}$ торр ($\approx 1.33 \cdot 10^{-7}$ Па).

Наименее жесткие - к новой тенденции современного ускорителестроения, к высокоточным линейным ускорителям протонов (дейтонов) или электронов с необходимым рабочим давлением в ускорительном тракте $\approx 1 \cdot 10^{-4}$ Па ($\approx 7.5 \cdot 10^{-7}$ торр) [4].

Очень серьезные требования нужно предъявлять к конструкционным материалам деталей вакуумного тракта, чтобы они были

максимально свободны от нежелательных примесей [4].

Так, в очень ответственных экспериментах нужно иметь в виду (см. материалы семинара в Будапеште, 1981 года) [3], что в системах, сделанных из нержавеющей стали, при очистке стенок тлеющим разрядом и долгим прогреванием испаряется Cr и осаждается на поверхностях, не охваченных разрядом или непрогреваемых. Также и латунь можно применять только в системах низкого вакуума и непрогреваемых, из-за легкой летучести и испаряемости содержащегося в ней Zn. Этот эффект нужно принять к сведению.

Теперь перейдем к вопросу о выборе оптимальной технологии очистки и обработки металлических вакуумных деталей для сверхвысокого вакуума, априорно полагая, что конструкционные материалы их были выбраны грамотно, исходя из конечного назначения физической установки и режимов ее работы.

Кроме вышеуказанного требования "свободы" от загрязнений и примесей, детали вакуумного тракта должны:

- иметь "гладкую" поверхность;
- сохранять требуемую герметичность;
- допускать эффективную очистку поверхности от адсорбированных паров и газов [4].

Основные требования к разрабатываемой технологии

Та технология считается хорошей, у которой на конечной операции очистки происходит практически полное удаление всех возможных загрязнений - это предел, к которому нужно стремиться.

- Технологические операции должны состоять из ряда последовательных операций, из которых каждая должна быть предназначена для удаления одного или нескольких видов загрязнений.

- Для химической очистки нужно применять вещества, продукты взаимодействия которых с поверхностью деталей легко удаляются следующей обработкой.

Удаление адсорбированных монослоев солевых загрязнений целесообразно производить вымыванием их водой. Последние

промывки производить чистой деионизированной (дистиллированной) водой.

— Производить регулярный контроль состояния поверхности и очищающих технологических сред.

После выполнения операций очистки разработать меры по предотвращению загрязнения очищенных деталей при последующих транспортировке и хранении (заранее заготовить и применять нужные чистые крышки и др.) [1].

Итак, для сборки сверхвысоковакуумной системы нужно использовать тщательно очищенные по оптимальной разработанной технологии детали, хорошо защищенные от возможных загрязнений во время последующих транспортировок, хранения и монтажа.

Одним из основных принципов сверхвысоковакуумной технологии является проведение механической очистки перед любой очисткой в жидкости [3].

Очистка металлических деталей для сверхвысокого вакуума

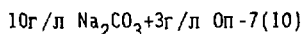
Рассмотрим современные технологические операции очистки металлических деталей для сверхвысокого вакуума.

Первая операция

Тщательная механическая обработка внутренних поверхностей вакуумных деталей с последующей подшлифовкой абразивной бумагой марок в последовательности 280, 320, 360, 400, 500 [6]. При этом происходит удаление толстых оксидных, сульфидных и т. п. слоев со всеми вышележащими над ними слоями.

Вторая операция

Очистка вакуумных деталей в щелочном растворе НПАВ (детергента - синтетического поверхностно - активного моющего вещества) в ультразвуковой ванне. Состав моющего раствора :



в дистиллированной воде при $t=60+70^{\circ}\text{C}$. Оптимальная температура раствора, его перемешивание и особенно - воздействие ультразвуковых колебаний - интенсифицируют процессы, имеющие место при очистке в щелочных растворах :

- увеличивают скорость диффузии очищающего раствора к поверхности металла;
- хорошо смачивают ее;
- диспергируя и эмульгируя загрязнения, удаляют их с поверхности деталей;
- легко смываются (удаляются) водой, не вызывая коррозии очищаемого металла и ванны [1].

Затем производится тщательное смывание остатков НПАВ и щелочного раствора (лучше проточной дистиллированной водой).

Сушка под инфракрасной лампой либо в потоке горячего воздуха (феном).

Обработка деталей по этим двум операциям приводит к снижению газоотделения с поверхности почти на целый порядок [3].

Третья операция

Проведение химического либо электролитического полирования. При проведении процесса полирования происходит удаление вновь образовавшихся оксидных, нитридных и т. п. пленок, выравнивание поверхности (удаление неровностей размером $1 \div 15 \mu\text{м}$) и гляцевание (устранение мелких шероховатостей менее $1 \mu\text{м}$). При этом остается неизменной кристаллическая структура поверхности металла, улучшается ее коррозионная стойкость, увеличивается магнитная проницаемость. На полированной поверхности адсорбция различных газов и загрязнений затруднена, а их удаление облегчено.

Сочетание механического и химического способов полировки дает особо гладкие поверхности, чистота обработки детали увеличивается на 2÷3 класса. Величина же газовыделения уменьшается на целых два порядка [1, 3]. Из этих двух способов полирования широкое применение в последнее время находит химическое полирование, которое в отличие от электролитического:

- не требует источника постоянного тока и контактирующих устройств;
- позволяет полировать детали сложной формы и любых размеров (были бы только соответствующие ванны);
- имеет высокую производительность процесса.

Механизмы полирования обоих видов мало отличаются друг от друга.

Недостатки химического полирования:

- Относительно небольшой срок службы электролитов;
- Трудность их корректировки;
- Значительное выделение газов (NO_2 , NO и др.), требующее применения вытяжки.

Рецепты химического полирования

Нержавеющая сталь

удаляется: 1÷3 мкм
 $T=80^{\circ}\div 90^{\circ}\text{C}$; $\tau=1\div 2$ мин
 H_3PO_4 (d=1.7) - 50мл
 H_2SO_4 (d=1.84) - 20мл
 HNO_3 (d=1.4) - 20мл
 HCl (d=1.19) - 50мл
 H_2O - 720мл
фурфурол - 10мл

Медь (МБ, МВ)

удаляется 7÷10мкм
 $T=18^{\circ}\div 25^{\circ}\text{C}$; $\tau=3\div 5$ мин
 H_3PO_4 (d=1.7) - 550мл
 HNO_3 (d=1.4) - 200мл
 CH_3COOH (d=1.065) - 250мл
(уксусная кислота)
 $\text{CH}_4\text{N}_2\text{S}$ - 0.2÷0.3г/л
(тиомочевина)

Титан

HNO_3 (d=1.4) - 400мл
 H_2SO_4 (d=1.84) - 400мл
 HF (d=1.15) - 200мл
 $T=60^{\circ}\div 63^{\circ}\text{C}$
 $\tau=1\div 2$ мин.

Затем, после химического полирования, производится тщательное смывание остатков полирующей смеси, первое смывание возможно обычной водой, последующее - дистиллированной либо деионизованной. Затем - сушка под инфралампой либо феном.

Четвертая операция (желательная)

Монтаж очищаемой детали на технологическую вакуумную систему, проведение ее термического обезгаживания в вакууме или в атмосфере инертного газа лучше с добавкой кислорода при T до 1000К, с одновременным контролем состояния сварных швов имеющимися способами.

Затем из металлических деталей, обработанных по

вышеуказанной схеме, собирается запланированная физическая установка, где и производится окончательное удаление паров воды, других парогазовых компонентов, сорбирующихся на стенках в процессе монтажа, а также удаление O_2 и C , присутствующих в виде различных соединений на стенках.

Виды окончательной обработки:

- термическое обезгаживание до $T=400\div 800K$ и $\tau=20\div 10$ час;
- чистка стенки одним из типов разрядов в газах [4];
- бомбардировка стенок потоком электронов с большой энергией без ее расплавления [3].

Типы применяемых разрядов - тейлоровский разряд в H_2 , с низкой электронной температурой;

- тлеющий разряд в инертных газах и с добавкой O_2 ;
- В. Ч. - разряд в водородной плазме [4].

Разряд в водороде имеет высокую активность и малое распыление стенки, давление H_2 в этом разряде $p \approx 5 \cdot 10^{-2} Pa$.

Так как инертные газы, особенно тяжелые из них, вызывают интенсивную ионную эрозию и при этом внедряются в подвергнутый эрозии поверхностный слой, то для их ремиссии нужен затем прогрев камеры. Давление газа в разряде $P_{раз.} \approx 1 Pa = 7.5 \cdot 10^{-3} \text{ торр}$.

Режим разряда, его длительность подбирается опытным путем для каждой установки [4].

Фирмы Varian (США), Leybold-Heraeus (ФРГ), Balzers и др. по сравнению с предложенным выше вариантом обработки детали для сверхвысокого вакуума использует после механической обработки поверхности ее "пескоструение" стеклянными шариками с размерами $10\div 100 \mu m$; так сбиваются все загрязнения и освобождаются капилляры. Эта операция повторяется затем после сварки и других процессов, создающих загрязнения [3].

Обработка стеклянных деталей для сверхвысокого вакуума физических установок

Важные общие положения

Перед рассмотрением рекомендуемой технологии обработки стеклянных деталей для высокого и сверхвысокого вакуума с целью максимально возможного уменьшения величины их

газовыделения и улучшения их вакуумных свойств основаны на нескольких общих положениях о стеклах, применяемых как в вакуумных системах физических установок, так и в вакуумной технике вообще, и о некоторых их особенностях. Обычно для этих целей используются специальные "легкоплавкие" (мягкие) и "тупоплавкие" (твердые) стекла [2, 5, 9], отличающиеся друг от друга, как известно, содержанием основного окисла - SiO_2 : в мягких стеклах - 70% и менее, и до 80% в твердых стеклах плюс все необходимые добавки: для мягких стекол - до 15% - 20% Na_2O - это натриевое стекло; до 7% - 15% Pb_2O - свинцовое стекло, а для твердых стекол применяются другие специальные добавки - B_2O_3 - 19% - боросиликатное стекло (например, пирекс) и до 18% Al_2O_3 - алюмосиликатное стекло. Возможны различные комбинации этих добавок [5, 8, 9]. К твердым стеклам относятся также стекла из плавленого кварца и из 96% кварца (викор).

Из мягких стекол, легко подвергающихся термической обработке, для использования в вакуумных системах обычно изготавливают форвакуумные ловушки, промежуточные объемы, плоские ножки к вводам из железа и его соединений.

Из твердых же стекол - вакуумные колпаки, оболочки, вакуумные камеры и вакуумноплотные токовводы [9, 10] сложных форм.

Вопросы сорбции газов и паров

Различные газы и пары сорбируются на поверхности стекла, в его приповерхностном слое в количестве более чем 50 мономолекулярных слоев состава: преимущественно H_2O , немного CO_2 и есть N_2 . В приповерхностном слое происходит разрушение структурных связей Si-O-X , где X - входящий в состав стекла ион металла, возникновение новых структурных связей Si-O-H (типа силикагель) с выделением растворимых в воде соединений и возникновением разрушенного слоя стекла, в котором происходят сорбционные процессы [8].

Как известно, по крайней мере в 100 раз большее количество газа, чем в приповерхностном слое, содержится в его объеме из-за большого газосодержания используемых при варке стекла исходных материалов.

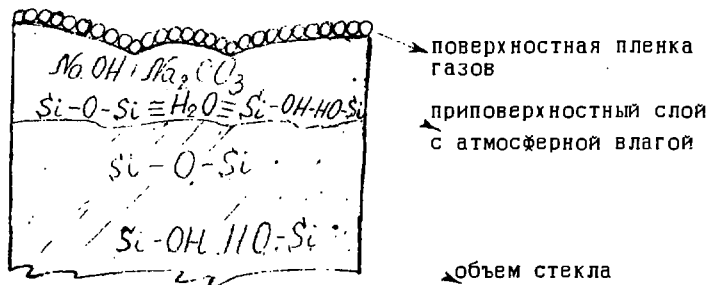


Схема сорбции любым мягким стеклом и боросиликатным твердым стеклом [7].

Прогрев же стекла до $t > 300^\circ\text{C}$ способствует выделению значительной части сорбированных на поверхности газов (всего за 3 мин) и "высушиванию" приповерхностного слоя с реставрацией связей - связи типа Si-OH-HO-Si переходят в основные связи типа Si-O-Si , освобождая H_2O [8]. Химическая связь Si-OH прочная и для ее разрыва нужна такая высокая температура.

Дальнейший прогрев стекла до $t > 450-500^\circ\text{C}$, в зависимости от типа стекла, как известно, ведет к выделению газов из его объема, т.е. к обезгаживанию его массы.

Твердые и мягкие стекла сорбируют и содержат различные количества газов, что обусловлено их разным составом и разной потому химической неустойчивостью.

Экспериментально изучалось [8] газовыделение с поверхности приповерхностного слоя и внутренних слоев стекол после обработки их : в 1% растворе HF - и прогревом до $t = 380^\circ\text{C}$.

Сказалось, что из твердых стекол у алюмосиликатного стекла почти все газы выделяются из поверхности, из приповерхностного слоя - ничего и очень мало из объема стекла ;

- у боросиликатного - 60% - с поверхности, 32% - из приповерхностного слоя и 8% из объема ;

- похожие результаты у представителя мягких стекол - известковонатриевого стекла - соответственно 58%, 31% и 11%.

Отсюда рекомендация - для высоковакуумных систем физических установок использовать в случае необходимости и возможности детали из алюмосиликатного стекла, как обладающего лучшими

вакуумными свойствами и малой проницаемостью по гелию [2, 7].

Поскольку все виды стекол, за исключением кварцевого стекла и стекла типа "викор", содержат достаточно большое количество окислов Na, K, Ca, Pb, а также V_2O_5 , нужно иметь в виду, что при высокотемпературном отжиге стекла ($>350^{\circ}C$) их ионы и нейтральные частицы испаряются и оседают на введенных в вакуум электродах, а окисляясь остаточным O_2 , создают на них изоляционные либо полупроводниковые слои, на которых затем возникают положительные заряды. Наибольшая летучесть у V_2O_5 , в 1000 раз меньшая — у Al_2O_3 [11, 12].

Эти продукты термического разложения стекла изменяют пробивное напряжение между электродами, уменьшая его. При более высоких t окислы Na и K диссоциируют, с испарением свободного металла, который, соприкасаясь с остаточным газом, вступает с ним в реакции.

При электронной бомбардировке стекла, из-за высокого коэффициента вторичной эмиссии, оно заряжается до больших положительных потенциалов с усилением из-за этого эффекта электронной бомбардировки и диссоциацией окислов из состава стекла с выделением O_2 [7].

Очистка деталей из стекла для сверхвысокого вакуума

Стекланные детали высоковакуумных систем физических установок должны также проходить тщательную очистку перед их монтажом в вакуумную систему.

Рассмотрим загрязнения, попадающие на заготовочное стекло, выбранное с учетом вышеуказанных свойств стекол, до изготовления из него элементов вакуумных систем.

На стекланных деталях, как и на металлических, во время транспортировки и хранения скапливается большое количество механических загрязнений: пыль, ворсинки, частицы сажи, пары минеральных масел, органические жиры, аэрозоли и т. д. Прежде чем приступить к формированию из них нужных элементов вакуумных систем, нужно произвести их предварительную обработку.

Первая операция: наилучшая — промывка в ультразвуковых ваннах, соответствующих размеров заготовочных трубок и прочих

- форм в 0.5%-1% водном растворе неионногенного ПАВ;
- промывка в горячей водопроводной воде;
- промывка в горячей проточной деионизованной воде;
- сушка в потоке сухого чистого воздуха при $t=130^{\circ}\text{C}$ [1].

В случае невозможности применения ультразвуковой очистки нужно произвести:

- промывку поверхности стекла в слабых растворах кислот (HCl , H_3PO_4 , хромовой смесью);
- нейтрализацию остатков их в щелочных растворах;
- промывку в водопроводной, затем в деионизованной воде;
- сушку обдувом чистым горячим воздухом.

При изготовлении стеклянных деталей вакуумных систем формированием их с помощью газовых горелок на поверхности стекла могут образовываться тонкие, очень прочные пленки полимеризованных масел, попадающих из сетевого воздуха. Они, по мнению автора [13], хорошо удаляются промывкой хромовой смесью с тщательным отмыванием ее в последующих операциях, и сушкой — операция II.

Для проведения хорошей последующей обработки предварительно очищенных заготовок и изготовленных из них стеклянных деталей нужно принимать во внимание, как описывается выше, сорбционные процессы и структурные изменения, имеющие место в тонком приповерхностном слое стекла, а также газовыделение из его объема.

Как указывают многие авторы, в том числе и Черепнин [7], удаление приповерхностного слоя вместе с сорбированными в нем газами (парами H_2O , CO_2 , N_2) уменьшает газовыделение в вакуум в 8-10 раз. Приповерхностный слой лучше всего удалить промывкой (но не травлением) очищаемых деталей в 1% растворе HF . Промывка же стекла хромовой смесью, растворами кислот (HCl , H_2SO_4) не уменьшает количества выделяющихся в вакууме газов. Отсюда следующая операция (третья) в рекомендованной технологии обработки стеклянных деталей для высокого вакуума с целью максимально возможного уменьшения величины их газовыделения: тщательная промывка деталей в 1% растворе плавиковой кислоты (HF), с тщательной отмывкой остатков ее в деионизованной или дистиллированной воде.

Четвертая операция: сушка промытых деталей в потоке

чистого сухого воздуха с $t \approx 130^{\circ}\text{C}$ либо сухого N_2 [7, 1].

Пятая операция: прокалка очищенных и высушенных деталей в атмосфере (в чистом сухом воздухе) или в вакууме при $t = 500^{\circ} \div 550^{\circ}\text{C}$, при этом до 300°C удаляются пары H_2O и CO_2 , а при более высоких температурах только пары воды. При этом необходимо, чтобы точка росы сухого воздуха была бы ниже -65°C . ($P_{\text{H}_2\text{O}} < 10^{-3}$ торр), тогда стекло активно десорбирует воду, т.е. высушивается приповерхностный слой и понижается концентрация влаги в объеме стекла [14].

Шестая операция: монтаж очищенной по приведенной выше технологии стеклянной детали в вакуумную систему, откачка и обезгаживание прогревом до оптимальной температуры в зависимости от типа применяемого стекла. В случае невозможности срочного монтажа очищенной детали в вакуумную систему, для исключения их повторного загрязнения, детали нужно хранить в замкнутом объеме с осушенными гранулами активированной Al_2O_3 , т.к. хранение их в открытой атмосфере приводит к проникновению влаги и газов в приповерхностный слой, а последующее удаление их становится возможным лишь прокалкой при $t = 300 \div 400^{\circ}\text{C}$ и $\tau = 2 \div 3$ часа [7].

Заключение

Приведенная характеристика видов загрязнений, их отрицательного воздействия на вакуум и описание выбранных оптимальных технологий очистки металлических и стеклянных деталей вакуумных систем с учетом физико-химических особенностей каждого типа из них позволяют получать для сборки сверхвысоковакуумных систем физических установок очень чистые детали. Так, предварительная обработка металлических деталей механической и химической полировкой уменьшает их газоотделение на 2 порядка, а обработка их в ультразвуковой ванне с щелочным раствором детергента с последующим тщательным отмыванием его и обработка детали после химического полирования на технологической вакуумной системе прогреванием либо оптимальным газовым разрядом - еще на 2-3 порядка, т.е. описанной технологией обеспечивается достижение сверхвысокого

вакуума $10^{-9}+10^{-10}$ торр ($1.33*10^{-7}$ Па + $1.33*10^{-8}$ Па), в случае использования для откачки монтируемой вакуумной установки современных "чистых" средств создания вакуума.

Литература

- /1/ Б. Д. Луфт, А. Л. Шустина, "Очистка деталей электронных приборов", М.: Энергия, 1968.
- /2/ Ф. Розбери, "Справочник по вакуумной технике и технологии", М.: Энергия, 1972.
- /3/ Материалы семинара "Вопросы очистки в вакуумной технологии", Будапешт, 1981г. Издание Венгерского Физического общества.
- /4/ А. А. Глазков, Г. Л. Саксаганский, "Вакуум электрофизических установок и комплексов", Москва, Энергоиздат, 1985.
- /5/ Дж. Уэстон, "Техника сверхвысокого вакуума" М.: Мир, 1988.
- /6/ В. К. Антропов, А. В. Мажулик, У. Хардер, К. Здельманн, "Исследование вакуумных свойств Ti - сплава BT-20", Препринт ОИЯИ 9-88-676, Дубна 1988.
- /7/ Н. В. Черепнин, "Вакуумные свойства материалов электронных приборов", Советское Радио, Москва, 1966.
- /8/ S. Dushman, "Scientific Foundation of Vacuum Technique", John Wiley & Sons, New York, 1962.
- /9/ A. Roth, "Vacuum Sealing Techniques", Pergamon Press, Oxford, 1966.
- /10/ А. И. Пипко, В. Я. Плисковский, Е. А. Пенчко, "Конструирование вакуумных систем", Энергия, Москва, 1970.
- /11/ D. G. Bills, A. A. Evett, J. Appl. Phys. 30 N4, p 564, 1959.
- /12/ E. E. Donaldson, Vacuum 12 N1, p.11, 1962.
- /13/ H. Batey, Vacuum, 10 N3, p.263. 1960.
- /14/ T. Putner, Brit. J. Appl. Phys., vol. 10, N7, p.332, 1959.

Рукопись поступила в издательский отдел
15 июня 1990 года.