

ОБ ИЗГОТОВЛЕНИИ ОТПАЯННОЙ ВАКУУМНОЙ КАМЕРЫ БЕТАТРОНА НА 15 МЭВ

Б. Н. ГУЛЬКО

(Представлено научным семинаром радиотехнического факультета)

В связи с широким использованием бетатронов в различных отраслях науки и техники уделяется большое внимание упрощению их устройства, удобству эксплуатации, стабильности работы.

Одним из важных усовершенствований является замена постоянно откачиваемых вакуумных ускорительных камер камерами отпаянными, не требующими для своей работы громоздких вакуумных систем и насосов предварительного и высокого вакуума. При использовании отпаянных вакуумных камер бетатрон в течение нескольких минут может быть подготовлен к работе, тогда как при работе с обычной камерой на подготовку бетатрона к работе затрачивают около часа — полутора часов, необходимых для достижения нужной степени вакуума. Отпаянные вакуумные камеры дают возможность использовать электронные пушки с оксидными катодами.

Несмотря на то, что в современной литературе имеются указания об эксплуатации таких камер [1], технология изготовления их нигде не опубликована.

Целью настоящей работы является разработка технологии отпаянных камер и изготовление опытных образцов.

Для изготовления отпаянных камер использовались стеклянные торондажные камеры для бетатрона на 15 Мэв, изготовленные в заводских условиях путем выдувания в форму отдельных половинок, которые затем спаивались в целое с помощью стеклодувных операций.

В процессе изготовления отпаянных камер была разработана технология изготовления их, которая, как и технология любого крупного электровакуумного прибора, состоит из технологических заготовительных операций, технологии заварки, откачки и тренировки отпаянных камер.

Технология заготовительных операций

К числу заготовительных операций относится создание надежного электрического контакта между внутренним проводящим слоем камеры и молибденовым вводом, который обычно вплавляется в труб-

ку, служащую для откачки камеры. Для этой цели в отрезок стеклянной трубки длиной в 15 — 20 см и диаметром 2,5 — 3,0 см впаиваются два молибденовых стерженька из проволоки диаметром 0,8 — 1,0 мм. Эти выводящие стерженьки должны выдаваться внутрь трубки на 3 — 4 мм, с тем, чтобы в дальнейшем можно было бы получить достаточно надежный контакт с проводящим слоем.

Для создания такого контакта используется металлизация внутренней части молибденового стерженька и некоторой части внутренней поверхности стеклянной трубки с помощью серебра. Наиболее прочное сцепление с основанием получается при нанесении слоя серебра методом вжигания. Сущность этого способа состоит в том, что легко разлагающееся углекислое серебро, нанесенное в виде пасты, при нагреве прочно соединяется с поверхностным слоем основания, чему способствует специальный плавень, добавляемый в небольшом количестве [2].

Однако молибден непосредственно с серебром не соединяется. Поэтому перед вжиганием серебра молибденовые вводы покрываются никелем, который и используется в качестве переходного слоя между ними. Нанесение никеля производится гальваническим способом.

Подготовленная таким образом стеклянная трубка с помощью стеклодувных операций припаивается к стеклянному патрубку камеры, предназначенному для ее откачки. Следующим этапом является нанесение на внутреннюю поверхность камеры и откачной трубки проводящего покрытия, которое в наших опытах изготовлялось из аквадага. Технология нанесения аквадага принципиально ничем не отличается от таковой, принятой в электровакуумной промышленности [3].

Первоначальное закрепление проводящего слоя производится путем продувания внутрь камеры горячего воздуха сразу же после операции нанесения слоя. Дальнейшая сушка и закрепление слоя на поверхности производится в электрической печи при температуре 400 — 450°C. При этом происходит распад органических соединений раствора аквадага и прочное закрепление графитового слоя на поверхности стекла.

Электронная пушка монтируется отдельно на стеклянной ножке обычного типа, применяемого для камер на 15 Мэв. Перед запайкой в камеру электронная пушка подвергалась специальной вакуумной обработке, которая заключалась в предварительном обезгаживании ее анода. Предварительное обезгаживание анода пушки является обязательной операцией, так как удаление большой массы газа из материала анода невозможно провести путем его прогрева, когда пушка припаяна к камере. Конструкция последней такова, что припаянную пушку невозможно нагреть до высокой температуры в процессе откачки токами высокой частоты.

В связи с этим пушка сначала впаивается в стеклянную трубку такого же диаметра, как и ее ножка. Свободный конец трубки оттягивался и штенгелевался. Пушка, таким образом, запаивалась в цилиндрическую колбочку, на которую заранее одевался цилиндрический индуктор, сделанный из медной шинки. Запаиваемая электронная пушка подпаивалась к вакуумной системе, откачиваемой насосами высокого и предварительного вакуума. По достижении вакуума порядка 10^{-5} — 10^{-6} мм рт. ст., с помощью генератора высокой частоты производился прогрев анода пушки до светло-красного каления; при этом выделялось большое количество газов, сорбированных металлом анода. После удаления основной массы газа колба с пушкой отпаивалась от установки и хранилась в таком виде до операции заварки в камеру.

Естественно, что описанный способ предварительного обезгаживания пушек не может быть рентабельным в условиях серийного изготовления отпаянных камер. В этом случае следует рекомендовать обезгаживание анодов пушек под вакуумным колпаком с помощью токов высокой частоты.

К числу заготовительных операций относится также подготовка газопоглотителя (геттера). В качестве химического поглотителя остаточных газов нами использовался весьма интенсивный бариево-титановый поглотитель, известный под названием „бати“, спрессованный в виде таблеток. Его преимущество перед остальными распыляющимися поглотителями, в том числе и алюминиево-бариевым, заключается в том, что присадка титана в момент распыления испаряется раньше бария и дает дисперсный слой, увеличивающий поверхность поглощения. Барий же напыляется сверху. Зеркало при распылении такого поглотителя получается дисперсным, цвет его почти черный.

Полочка поглотителя, на которой закрепляются таблетки „бати“, делается из никелевой ленты толщиной 0,1 мм в виде кольца, наружный диаметр которого равен 20 мм, а внутренний — 8 мм. На поверхности полочки по кругу сверху и снизу крепятся таблетки поглотителя в количестве 12—14 штук. Сверху каждая таблетка закрывается накладкой из перфорированного ленточного никеля. Накладки привариваются к полочке с помощью контактной точечной электросварки. Для закрепления полочки с поглотителями в откачной трубке камеры к ней привариваются шесть танталовых пружинящих полосок по три с каждой стороны (рис. 1).

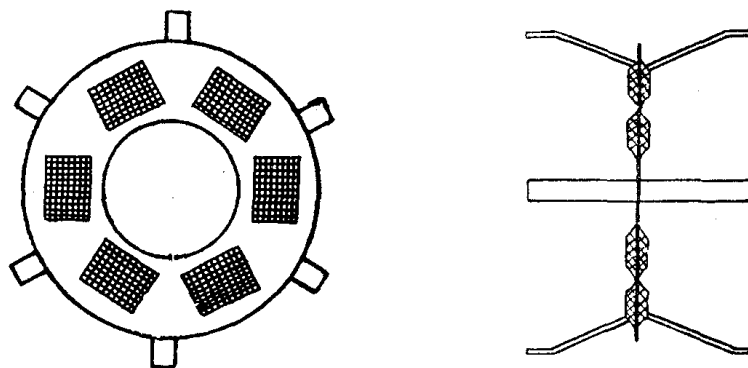


Рис. 1. Полочка газопоглотителя

Технология операции заварки и отпечатки камеры

После окончания всех заготовительных операций следует операция заварки электронной пушки в камеру. Заварка осуществляется „спайкой в стык“ широкой трубки камеры и цоколя ножки электронной пушки. Вследствие невозможности обеспечить равномерное вращение прибора во время этой операции прибегают к „спаиванию частями“, когда получившийся шов пропаивается последовательно, участок за участком. В этом случае, как правило, спай получается неровный с местными утолщениями и просветами. Заварка электронной пушки затрудняется еще и тем, что часто диаметр цоколя пушки меньше диаметра патрубка камеры, предназначенного для пушки. Перед заваркой поэтому приходится оттягивать конец этого патрубка и доводить его диаметр до диаметра цоколя.

При осуществлении заварки электронной пушки в камеру очень важно правильно расположить ее электроды. Вольфрамовый катод пушки должен находиться в строго вертикальном положении на расстоянии 15,8—15,9 см от оси прибора. При несоблюдении этого условия могут быть нарушены условия впуска электронов на равновесную орбиту. Поэтому перед запайкой электронной пушки в камеру каждый раз строго размечается место обрезки цоколя пушки и оттянутого конца трубки камеры. Обрезка производится как можно тщательнее с помощью нагретого куска хромоникелевой проволоки. При правильной обрезке цоколя и конца трубки соединенные в стык цоколь и трубка как раз обеспечивают необходимое погружение пушки внутрь камеры. После обрезки стеклодув мягким пламенем газовой горелки разогревает соединенные в стык концы трубок. Постепенным увеличением подачи воздуха в горелку пламя делается более острым и горячим, стекло размягчается, и края трубок свариваются. Затем обычными стеклодувными приемами шов проваривается и выравнивается.

Весьма важно в процессе этой операции предохранять камеру от чрезмерного перегрева, так как остаточные внутренние напряжения в ней, а также возникающие временные напряжения могут привести к ее растрескиванию. В связи с этим полезно обматывать камеру вблизи места спая лентой из асбеста. Для уменьшения напряжения в самом спаяе совершенно необходимо проводить постепенное охлаждение места спая. Для контроля вакуума в отпаянной камере нами использовался ионизационный манометр. С этой целью к цоколю электронной пушки выше или ниже места спая припаивалась расцоколеванная манометрическая лампа ЛМ-2. Рис. 2 показывает этапы заварочных операций.

Ручная заварка электронной пушки в камеру обладает существенным недостатком. Даже при тщательном проведении этой операции нельзя быть уверенным, что электронная пушка установлена совершенно точно. При пропаивании места шва стеклодув раздувает и осаживает стекло; последнее может привести к тому, что пушка может либо сдвинуться к оси прибора, либо отойти наружу на несколько миллиметров. Может произойти также поворот пушки вокруг оси и искривление цоколя. При серийном изготовлении приборов для этой цели необходимо использовать заварочный станок. Только в этом случае можно быть уверенным в правильности посадки пушки.

После операции заварки пушки следует операция установки геттерной полочки в откачной трубке камеры. Геттерная полочка вставляется внутрь трубки и отодвигается от края трубки на 6—7 см, с тем чтобы дальнейшая штенгелевка трубки не привела бы к заметному нагреванию таблеток пламенем газовой горелки. Конец откачной трубки оттягивается и к нему припаивается толстостенный штенгель с перетяжкой, имеющей внутренний диаметр 4—5 мм.

После штенгелевки геттерная полочка с помощью проволочного крючка несколько выдвигается наружу так, чтобы она расположилась от впаянных молибденовых вводов на расстоянии 6—7 см. Это необходимо делать с той целью, чтобы предотвратить растрескивание места впаев при обезгаживании геттерной полочки и распылении геттера, когда этот узел нагревается почти до 1000°C. Танталовые пружинки, упирающиеся изнутри в стекло, прочно удерживают геттерную полочку в трубке. На этом операция заварки заканчивается, и камера сразу же ставится на откачку. Для этой цели она напаявается на вакуумную систему откачного поста.

Откачку камеры следует начинать сразу же после операции заварки, так как наличие большого количества влаги после стеклодувных работ может привести к отслаиванию проводящего покрытия от поверхности стекла.

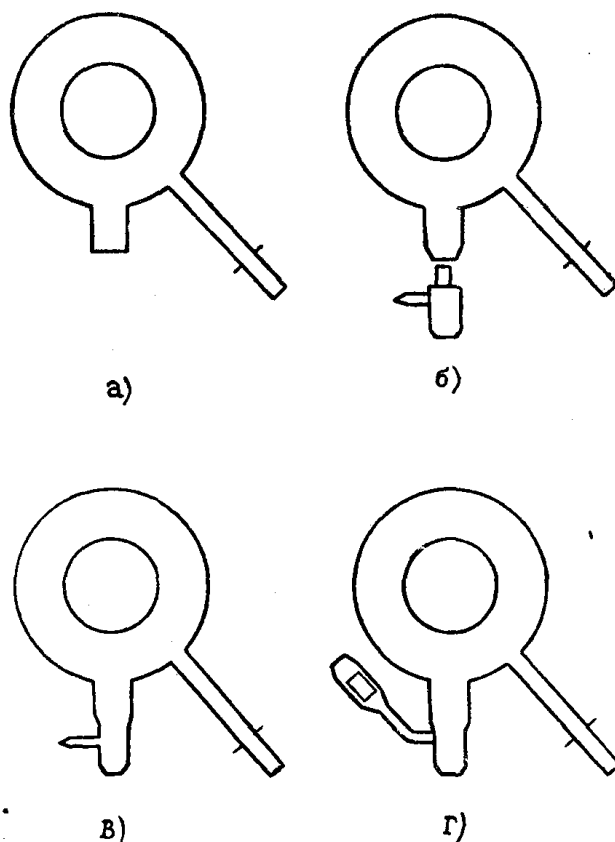


Рис. 2. Этапы операций заварки
а—камера, подготовленная к заварке, б—тубус
камеры оттянут под диаметр цоколя пушки, в—ка-
мера с припаянной пушкой, г—камера с припаян-
ной пушкой и лампой ЛМ-2

Откачной пост, применявшийся для откачки камер, представлял собою металлический каркас, в нижней части которого размещалась вакуумная система с насосами высокого и предварительного вакуума. Вакуумная система была сделана из молибденового стекла марки ЗС - 5. Для удобства манипуляций в высоковакуумной части имелся большой стеклянный кран. Насосом предварительного вакуума служил насос РВН - 20, насосом высокого вакуума—ЦВЛ - 100.

В верхней части установки размещена электрическая печь в виде плоского горизонтального шкафа, сделанная из железа толщиной в 0,5 мм. В печь могла быть помещена в горизонтальном положении одна камера, подлежащая откачке. На дне печи на асбо-цементной подкладке укреплены три хромо-никелевые спирали, включаемые параллельно в электрическую сеть. Мощность нагревателя печи — около трех киловатт. Внутри печи для улучшения теплоизоляции сделана асбестовая футеровка толщиной в 1 см. Снаружи печь для уменьшения потерь на излучение окрашена алюминиевой краской.

При включении нагревателя в печи можно было через час достигать температуры в 480 — 500°C. Контроль температуры проводился с помощью хромель - капелевой термопары и компенсационного потенциометра постоянного тока.

Операция откачки начинается с удаления из камеры основной массы воздуха. По достижении вакуума $10^{-5} - 10^{-6}$ мм рт. ст. производится вакуумная обработка прибора, заключающаяся в обезгаживании под откачкой стеклянной оболочки камеры и внутренних металлических деталей.

Для удаления паров воды и некоторых газов, сорбированных поверхностью стекла и проводящим покрытием, камера нагревалась в печи до температуры $450 - 480^{\circ}\text{C}$. При этом при температуре $300 - 320^{\circ}\text{C}$ наблюдалось максимальное газоотделение, после которого оно шло на убыль и при температуре $400 - 450^{\circ}\text{C}$ вновь возрастало за счет выделения газов из внутренних слоев стекла при реакции между компонентами стекла. В течение $0,5 - 1$ часа камера выдерживалась при температуре в $450 - 480^{\circ}\text{C}$, затем медленно охлаждалась в течение $1,5 - 2,0$ часов. Если при температуре в $300 - 350^{\circ}\text{C}$ давление внутри камеры и вакуумной системы было $1 - 2 \cdot 10^{-6}$ мм рт. ст., считалось, что обезгаживание было проведено вполне удовлетворительно. Иногда при слишком толстом слое покрытия (нанесение аквадага 2 раза) приходилось проводить вторичный нагрев, но уже с меньшей выдержкой при высокой температуре. После остывания камеры до 100°C печь открывалась и проводилось обезгаживание внутренних металлических деталей.

В первую очередь нагреванию подвергались металлические детали манометрической лампы, припаянной к камере. Прогрев сетки и вольфрамового катода достигался непосредственным пропусканием тока через эти электроды. Для этой цели использовался лабораторный автотрансформатор и понижающий трансформатор, позволявшие медленно увеличивать нагрев деталей. Прогрев проводился до полного удаления газов, что контролировалось с помощью ионизационного манометра на вакуумной установке.

Подобным же образом проводилось обезгаживание нити пушки, через которую пропускался ток силой до 3 ампер; за счет излучения тепла от нити обезгаживался и управляющий электрод пушки.

По достижении давления $1 \cdot 10^{-6}$ мм. рт. ст. обезгаживание прекращалось.

Обезгаживание сетки и катода манометрической лампы занимает $5 - 6$ минут. Обезгаживание нити пушки и управляющего электрода требует большего времени — около 30 минут.

Обезгаживание анода (коллектора ионов) лампы и геттерной полочки проводилось с помощью нагрева токами высокой частоты. Для этой цели использовался генератор высокой частоты мощностью в 1 квт. Индуктор диаметром 5 см был сделан из медной шинки и состоял из 6 витков.

Прогрев никелевого анода лампы до светло-красного каления проводился в течение $8 - 10$ минут. По снижении давления до $1 \cdot 10^{-6}$ мм рт. ст. при нагретом аноде обезгаживание прекращалось. Наиболее трудоемкой операцией являлось обезгаживание геттерной полочки и таблеток „бати“ из-за содержания большого количества газов в них. Прогрев проводился постепенно с медленным повышением температуры. Основная масса газа выделяется при температуре $300 - 400^{\circ}\text{C}$, причем нередко наблюдалось увеличение давления почти на два порядка. Прогрев геттерной полочки проводился с перерывами, так как необходимо было давать насосу справляться с выделяющимися газами. Постепенно, после $6 - 7$ прогревов, геттерная полочка достаточно обезгаживалась и нагревалась до светло-красного каления, т. е. почти до $900 - 1000^{\circ}\text{C}$. При указанной температуре давался длительный

прогрев в течение 5—6 минут, при этом начинал распыляться геттер и оседал плотным слоем на стекле откачной трубки. По достижении толстого непрозрачного слоя металла прогрев прекращался. Давление в вакуумной системе нередко переходило на 7-ю степень.

После распыления геттера сразу же следовала отпайка камеры от вакуумной системы.

Для этого ручным газовым паяльником постепенно нагревалась перетяжка штенгеля. После выделения основной массы газа и удаления ее насосом штенгель перепаяивался острым пламенем горелки, и камера отделялась от вакуумной системы.

Тренировка камеры

Для поглощения остаточных газов в камере последняя подвергалась тренировке. При этом вакуум в камере улучшался на один-два порядка. Тренировка, проводимая в лабораторных условиях, заключалась во включении манометрической лампы, припаянной к камере. Манометрическая лампа позволяла не только контролировать давление в отпаянной камере, но и уменьшать давление в ней, работая аналогично электронному насосу. Ионизованные частицы газа сорбировались коллектором лампы, частично же они поглощались зеркалом распыленного геттера.

Первая тренировка камеры проводилась в течение 0,5—1 часа.

При этом можно было наблюдать, как давление в камере постепенно снижалось и к концу этого срока становилось равным $4-5 \cdot 10^{-7}$ мм рт. ст. Последующие тренировки проводились в течение более

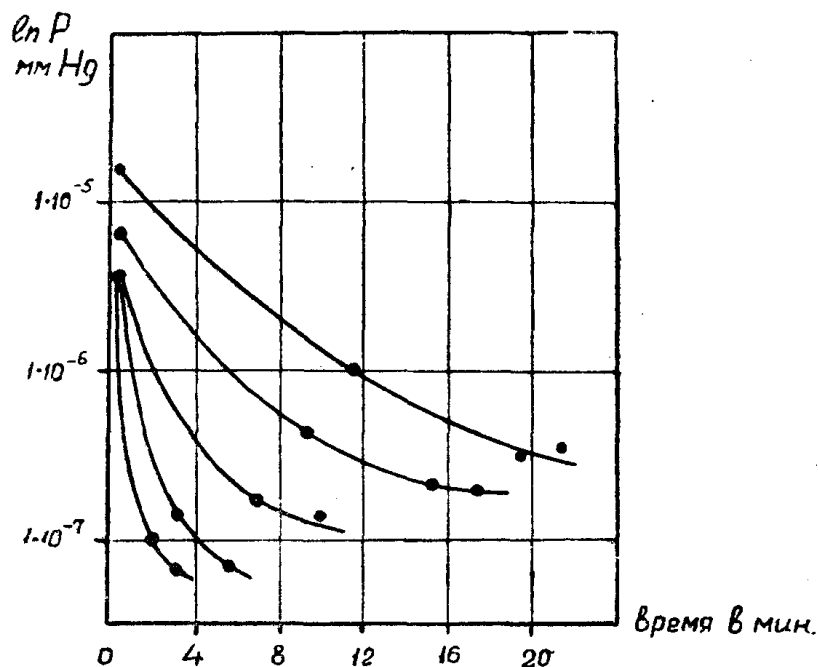


Рис. 3. Поглощение остаточных газов в результате тренировки камеры

короткого промежутка времени, давление снижалось значительно быстрее. Вследствие поглощения газов геттером верхний и нижний пределы давления в процессе тренировок снижались в сторону более низких давлений.

На рисунке 3 показано изменение давлений в процессе тренировок одной из камер.

В дальнейшем перед работой камеры в бетатроне достаточно включать манометрическую лампу на 3 — 5 минут с тем, чтобы снизить давление до $1 - 2 \cdot 10^{-7}$ мм рт. ст.

Заключение

В работе показано, что изготовление камер к бетатронам на 15 Мэв не представляет принципиальных трудностей в условиях небольшой лаборатории, оснащенной современным оборудованием.

При серийном изготовлении таких камер в заводских условиях стоимость их не должна превышать стоимости приемных телевизионных трубок.

ЛИТЕРАТУРА

1. I. P. Girard a. G. D. Adams, Application of the betatron to practical radiography, Electrical Engineering v. 65, 1946.
 2. Евтеев Ф. Е. и Жуков В. А. Технология радиоаппаратуры, Госэнергоиздат, 1952.
 3. Эспе В. и Кноль. М. Технология электровакуумных материалов, Оборонгиз, 1939.
-