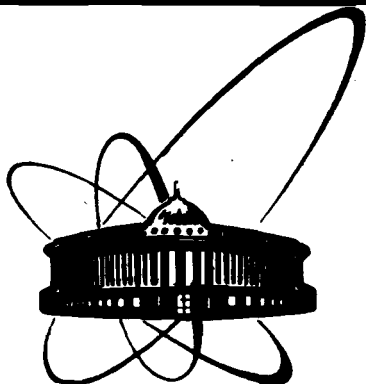


89-573



**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

A 861

9-89-573

**Н.С.Артемов*, И.В.Колесов, В.А.Богуш*,
Г.Г.Гульбекян**

**РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ
ИЗГОТОВЛЕНИЯ БАКОВ
И ШТОКОВ РЕЗОНАТОРОВ
ИЗОХРОННОГО ЦИКЛОТРОНА
ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ У-400М**

***Тамбовский завод химического машиностроения
"Комсомолец"**

1989

В лаборатории ядерных реакций создается циклотронный комплекс тяжелых ионов ¹, ², предназначенный для получения пучков как легких ионов с энергией 80-100 МэВ/нуклон, так и сверхтяжелых, таких, как ксенон-уран с энергией 20-40 МэВ/нуклон. Комплекс состоит из двух ступеней ускорения. В качестве первой ступени будет использоваться ныне действующий изохронный циклотрон тяжелых ионов У-400, а сооружаемый в настоящее время изохронный циклотрон тяжелых ионов У-400М будет выполнять роль второй ступени. В свою очередь циклотрон У-400М может работать в автономном режиме с собственным источником ионов.

Ускоритель У-400М (рис. 1) создается на основе электромагнита действовавшего до 1989 года циклотрона У-300. Магнитная структура выбрана четырехсекторной с углом спиральности 40°. Высокочастотная система циклотрона У-400М представляет собой четыре резонансных колебательных контура, каждый из которых состоит из укороченной четвертьволновой коаксиальной линии, нагруженной емкостью дуанта. В резонансных высокочастотных контурах от внешних мощных источников высокочастотного питания возбуждаются колебания, в результате чего в зазорах между дуантами и заземленными плакировками камеры возникают высоковольтные переменные во времени потенциалы, обеспечивающие ускорение ионов. Частотный диапазон — от 12 до 25 МГц. В состав каждого резонансного контура входят (рис. 1): бак 5, шток 4, дуант 3, плакировка камеры 7 и закорачивающая пластина 6. Перестройка частоты резонансных контуров осуществляется путем передвижения закорачивающих пластин вдоль осей баков (штоков).

КОНСТРУКЦИЯ БАКОВ И ШТОКОВ

Конструкция баков и штоков должна обеспечивать герметичность (в пространстве между ними должен быть высокий вакуум), прочность, жесткость и иметь высокую проводимость для высокочастотных токов.

В традиционных конструкциях баков и штоков функции герметичности, прочности и жесткости возлагаются на корпуса, изготавливаемые, как правило, из нержавеющей стали, а функцию проводника высокочастотного тока возлагают на плакировку из медного листа, которая механически крепится к корпусам баков и штоков.

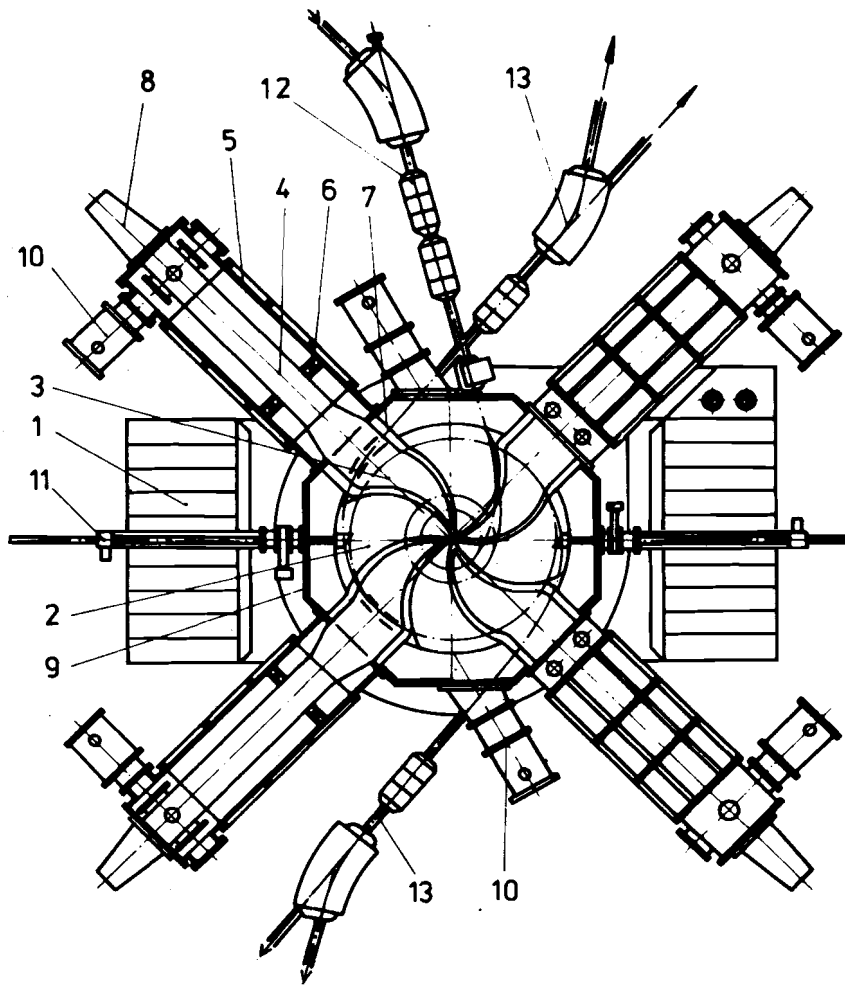


Рис. 1. Общий вид (в плане) изохронного циклотрона тяжелых ионов У-400М. 1 – электромагнит, 2 – секторы, 3 – дуант, 4 – шток резонатора, 5 – бак, 6 – закорачивающая пластина, 7 – плакировка камеры, 8 – опора штока, 9 – вакуумная камера, 10 – высоковакуумный насос, 11 – пробник, 12 – канал ввода пучка, 13 – канал вывода пучков.

Тепло, выделяющееся при прохождении в них высокочастотных токов, снимается водой, протекающей внутри припаянных к плакировкам медных трубок.

Такая конструкция баков и штоков имеет следующие недостатки:

— в три раза увеличиваются поверхности, расположенные в вакууме, а это значит, что во столько же раз увеличивается и газоотделение. При этом две из трех поверхностей находятся в узком зазоре между

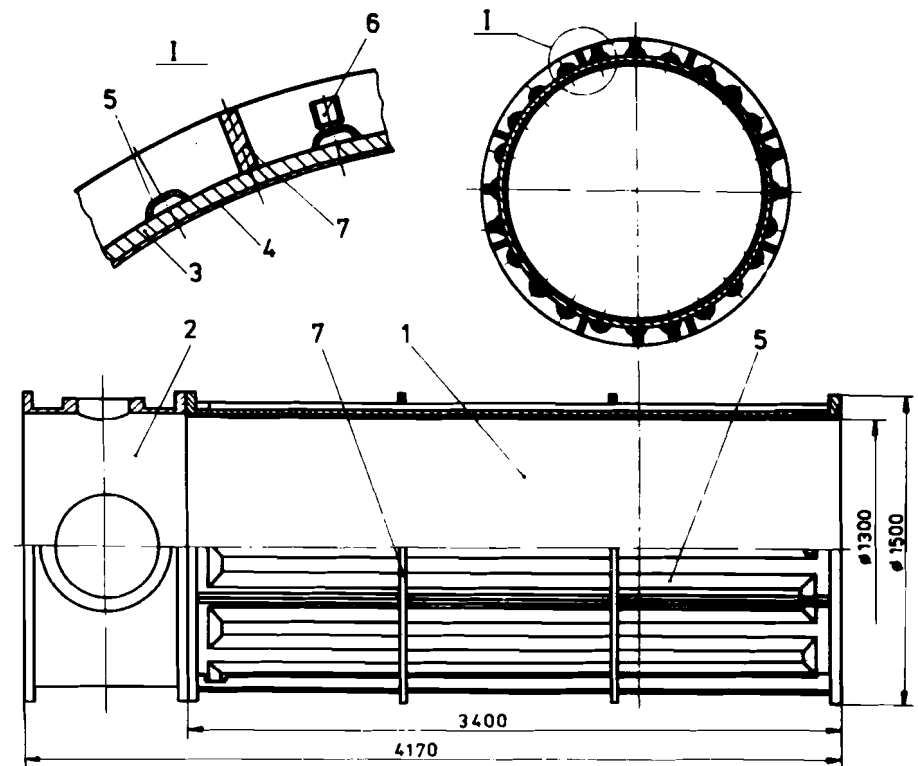


Рис. 2. Конструкция бака резонатора. 1 – биметаллическая часть, 2 – часть бака без плакирующего слоя, 3 – корпус, 4 – плакирующий медный слой, 5 – канал для охлаждающей воды, 6 – штуцер.

плакировкой и корпусом бака (штока), что затрудняет процесс откачки остаточного газа и усложняет обслуживание поверхностей резонаторов в соответствии с требованиями вакуумной гигиены;

— так как плакировки изготавливаются из листов меди малой толщины (1-2 мм) без последующей механической обработки, то точность геометрии резонаторов получается невысокой.

Для исключения этих недостатков представляется более предпочтительной конструкция баков и штоков (рис. 2, 3) из биметалла, состоящего из нержавеющей стали 3 и меди 4. Толщина нержавеющей стали составляет 10-12 мм, обеспечивая вакуумную герметичность, прочность и жесткость. Медная часть биметалла толщиной около 3 мм соединяется с корпусом из нержавеющей стали бака (штока) вакуумно-диффузионной сваркой. Снаружи бака и внутри штока привариваются коробка, по которым протекает охлаждающая вода.

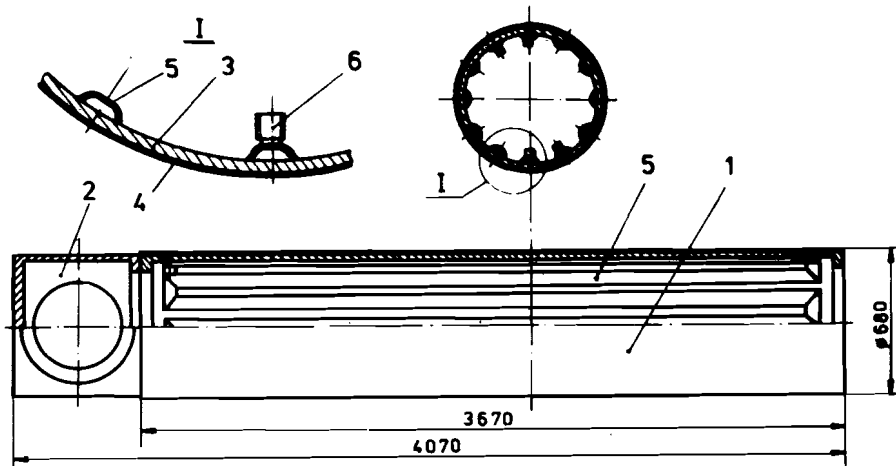


Рис. 3. Конструкция штока резонатора. 1 – биметаллическая часть, 2 – часть штока без плакирующего слоя, 3 – корпус, 4 – плакирующий медный слой, 5 – канал для охлаждающей воды, 6 – штуцер.

Принятая конструкция баков и штоков позволяет уменьшить почти в два раза (или на 250 м^2) обращенную в вакуумный объем поверхность металла, что в конечном счете уменьшает расчетную величину газоотделения на $3,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 \text{ Па/с}$. При этом необходимая расчетная быстрота действия вакуумных насосов У-400М при давлении в объеме циклотрона $1,33 \cdot 10^{-5} \text{ Па}$ составляет $56 \text{ м}^3 / \text{с}$ в случае изготовления элементов резонаторов из биметалла, тогда как для традиционной конструкции резонаторов она должна быть $87 \text{ м}^3 / \text{с}$, т.е. более чем в 1,5 раза больше. Кроме того, принятая конструкция и технология изготовления баков и штоков, предусматривающая на последней стадии механическую обработку на станках внутренней поверхности бака и внешней поверхности штока, обеспечивают получение точности, позволяющей применить в конструкции закорачивающих перемещаемых пластин скользящие высокочастотные контакты, например, в виде шариков без усложняющих их эксплуатацию механизмов отжима контактных элементов.

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БАКОВ И ШТОКОВ

Анализ современных методов производства биметаллических резонаторов показал, что технология, основанная на методе вакуумно-диффузионной сварки, наиболее полно отвечает высоким требованиям, предъявляемым к конституции бака и штока резонатора.

В основу технологии положены результаты исследований и разработок, полученные в течение ряда лет при изготовлении биметаллического и триметаллического крупногабаритного оборудования для химической промышленности, электрофизических и ядерных установок^{/3-6/}. Технология, основанная на методе вакуумно-диффузионной сварки, позволяет получить корпуса резонаторов с хорошей теплопередачей от медного слоя к системе водоохлаждения, исключает расслоение биметаллического корпуса в процессе эксплуатации и обладает рядом существенных преимуществ перед другими способами, а в определенных случаях является единственно возможной при изготовлении крупногабаритного биметаллического и триметаллического оборудования.

Технологический процесс осуществляется следующим образом:

- изготавливаются по обычным технологиям корпус и плакирующий медный элемент;
 - протачивается та поверхность корпуса, к которой должен быть присоединен плакирующий элемент;
 - предварительно подготавливаются поверхности корпуса и плакирующего элемента, подлежащие сварке, методами, способствующими протеканию процесса сварки;
 - производится сборка стального корпуса и плакирующего элемента с минимально возможными зазорами;
 - устанавливается тонкостенная технологическая рубашка и герметизируется путем приварки к стальному корпусу, т.е. создается герметичное пространство между жестким корпусом и деформируемой рубашкой, в котором расположен плакирующий элемент;
 - после проверки сварных швов на герметичность технологический узел помещается в специальную печь и подключается к коллектору вакуумной системы;
 - из герметичного пространства между корпусом и деформируемой рубашкой производится удаление воздуха, в объеме печи поднимается давление, обеспечивающее прижатие плакирующего элемента к корпусу, и осуществляется нагрев технологического узла;
 - после выхода параметров оборудования на заданный режим по температуре, давлению и вакууму проводится процесс вакуумно-диффузионной сварки;
 - после сварки параметры приводятся к исходным значениям, и изделие извлекается из печи;
 - технологическая рубашка удаляется, и производится окончательная обработка изделия до необходимых размеров и параметров.
- Проверка качества диффузионного соединения осуществляется на образцах – свидетелях, прошедших сварку одновременно с изделием.

При изготовлении крупногабаритных аппаратов по данной технологии используется комплекс специального технологического оборудования:

— сварка продольных швов медных обечаек для плакирующих слоев осуществляется на стенде, позволяющем производить автоматическую сварку неплавящимся электродом в среде защитных газов (азот особой чистоты, гелий) при толщинах $3 \div 6$ мм.

При этом сварка производится за один проход на графитовой подушке с полным проплавлением шва и его обратным формированием, что обеспечивает высокую плотность и механические свойства соединения;

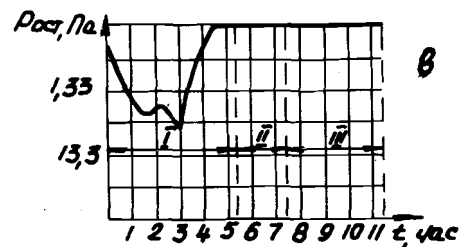
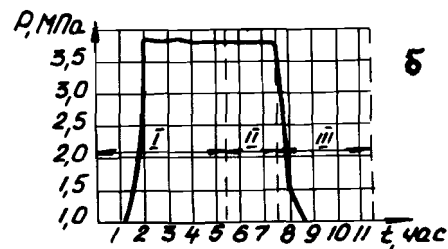
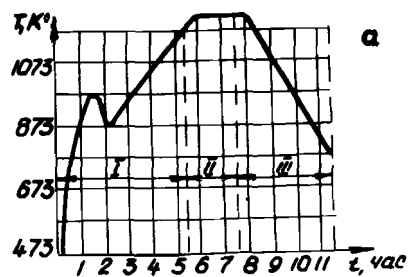


Рис. 4. Циклограмма технологических параметров: а — цикл изменения температуры печи, б — цикл изменения давления в печи, в — цикл изменения остаточного давления в технологическом узле. I — выход на рабочий режим, II — сварка, III — охлаждение.

— вакуумно-диффузионная сварка осуществляется в электрической компрессионной печи ЭПК-40, спроектированной и изготовленной специально для проведения данного процесса. Печь с габаритами рабочего пространства — диаметром 1700 мм, высотой 4000 мм — имеет возможность развивать температуру до 1273° и давление в компрессионном пространстве до 4,0 МПа. Система автоматики печи обеспечивает соблюдение заданных режимов сварки по температуре, давлению и вакууму в технологическом узле;

— предварительная расточка стального корпуса перед плакированием и биметаллического корпуса после плакирования производится на специальном станке, позволяющем производить расточку аппаратов диаметром до 1600 мм, длиной 4000 мм, и обеспечивает точность при обработке $\pm 1,0$ мм на диаметре 1400 мм.

При разработке технологии изготовления бака и штока резонаторов У-400М проведены исследования процесса вакуумно-диффузионной сварки меди с коррозионно-стойкой сталью типа 12Х18Н10Т, процесса откатки корпусов с площадью плакируемой поверхности до $16-18$ м²

(при ограниченной производительности средств откатки), влияния способа предварительной обработки поверхностей на прочностные характеристики соединения.

Отработка технологии проводилась на модельных образцах с использованием описанного технологического оборудования.

В результате были получены режимы, циклограммы которых представлены на рис. 4, обеспечивающие требуемые прочностные характеристики $\sigma_{отр} = 12 - 16$ кг/мм² и структуру соединения.

Отработка конструкции и технологии изготовления системы охлаждения резонаторов показала, что возможен вариант приварки коробов внутреннего и наружного охлаждения после плакирования корпуса, так как низкая теплопроводность основного материала и малая погонная энергия сварки обеспечивают отсутствие деформаций корпуса и сохранение прочности диффузионного соединения.

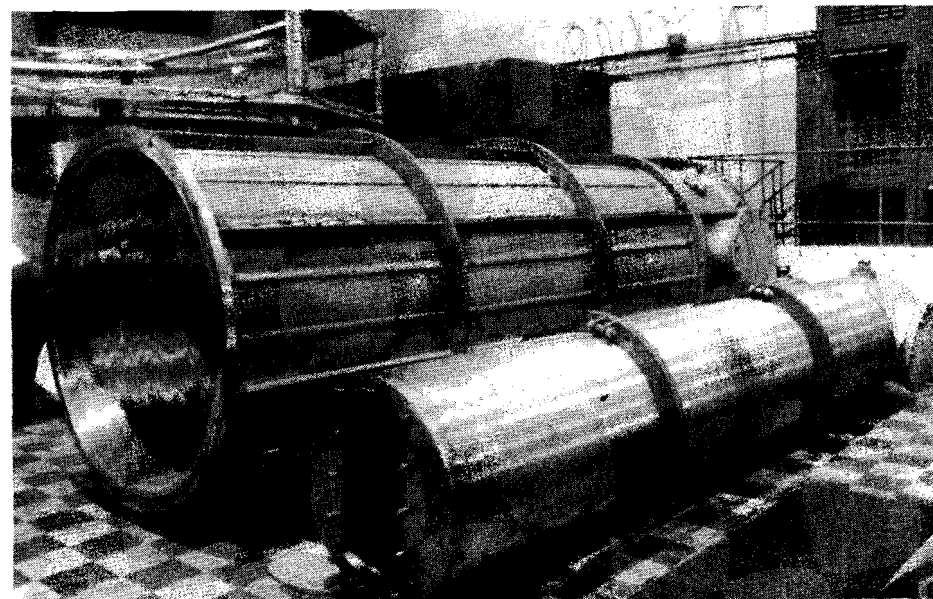


Рис. 5. Бак и шток резонатора У-400М.

Результаты проведенных исследований позволили сделать вывод о возможности использования описанного метода при изготовлении биметаллических (коррозионно-стойкая сталь + медь) водоохлаждаемых корпусов резонаторов и изготовить пять комплектов.

На рис. 5 изображен один комплект (бак и шток) резонатора У-400М. Все комплекты проверены на герметичность и подготовлены к монтажу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Флеров Г.Н. и др. – ОИЯИ, 9-84-555, Дубна, 1984.
2. Флеров Г.Н. и др. – В кн.: Труды X Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, ОИЯИ, 1987, т.1, с.109.
3. Артемов Н.С., Вайнштейн В.И., Курамжин А.В. – Способ изготовления металлических сосудов. Авт. свидетельство №428904 (СССР). ОИПОТЗ, 1974, №19, с.43.
4. Артемов Н.С. – Химическое и нефтяное машиностроение, 1980, №10, с.18.
5. Артемов Н.С., Богущ В.А. – Тезисы докладов XII конференции по диффузионной сварке. МДНТП, М., 1987.
6. Артемов Н.С. – Труды радиотехнического института АН СССР, №20, М., 1974.

Рукопись поступила в издательский отдел
28 июля 1989 года.

Артемов Н.С. и др. 9-89-573
Разработка конструкции и технологии
изготовления баков и штоков резонаторов
изохронного циклотрона тяжелых ионов У-400М

Описаны конструкция и технология изготовления баков и штоков резонаторов изохронного циклотрона тяжелых ионов У-400М. В основу технологии изготовления положен метод вакуумно-диффузионной сварки. Дополнительно были проведены исследования процесса соединения пары медь — нержавеющая сталь. Приведены результаты этих исследований и режим сварки. Использование метода вакуумно-диффузионной сварки позволило разработать конструкцию баков и штоков резонаторов циклотрона, которая отличается от традиционной конструкции тем, что в 2-3 раза уменьшена поверхность этих элементов, находящихся в вакуумном объеме, повышена их точность, а каналы с охлаждающей водой размещены вне вакуумного объема.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1989

Перевод Л.В.Пашкевич

Artemov N.S. et al. 9-89-573
Construction Design and Technology of Manufacture
of the Tanks and Rods of R.F. Resonators
for the Isochronous Heavy Ion Cyclotron U400M

The construction design and technology of manufacture of the tanks and rods of r.f. resonators for the isochronous heavy ion cyclotron U400M are described. The construction process rests on the use of the vacuum diffusion welding method. Studies are also carried out to investigate the process of welding of copper with stainless steel. The results of those studies and the welding regime are given. The use of vacuum diffusion welding has permitted a new design of the cyclotron tanks and rods. In comparison with the conventional design, the surface of the tanks and rods inside the vacuum volume is decreased by a factor of 2-3, the accuracy is enhanced, and water-cooling canals are located outside the vacuum volume.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1989