

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ  
им. Г.И. Будкера СО РАН  
(ИЯФ СО РАН)

В.В. Анашин, А.А. Краснов, А.М. Семенов

ОБЗОР ВАКУУМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ  
ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СВЕРХВЫСОКОГО ВАКУУМА

ИЯФ 2017-14

Новосибирск  
**2017**

## **Обзор вакуумных соединений для получения сверхвысокого вакуума**

В.В. Анашин<sup>1</sup>, А.А. Краснов<sup>1,2</sup>, А.М. Семенов<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, 630090, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup> Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

<sup>3</sup> Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

### **Аннотация**

В настоящее время в Институте ядерной физики СО РАН ведутся работы по созданию ускорительных комплексов с большой апертурой вакуумных камер, такие как FAIR (Дармштадт, Германия), НИКА (Дубна, Россия). В данной работе рассматривается применение фланца типа ISO-K с упругим металлическим уплотнением как наиболее перспективное решение в качестве возможного варианта разъемного вакуумного соединения по сравнению с фланцами типа COF, ConFlat, плоские фланцы VATSeal.

### **Overview of vacuum sealings for UHV obtaining**

V.V. Anashin<sup>1</sup>, A.A. Krasnov<sup>1,2</sup>, A.M. Semenov<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Budker Institute of Nuclear Physics. 630090, Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup> Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

<sup>3</sup> Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

### **Abstract**

In present time BINP is led the works for accelerator complexes creation with a huge vacuum chamber aperture such as FAIR (Darmstadt, Germany) and NICA (Dubna, Russia). In this paper the application of flange type ISO-K with elastic metal coating is examined. This gasket is the most perspective solution as compared with flanges of types COF, ConFlat and flat flanges VATSeal.

© *Институт ядерной физики им. Г.И.Будкера СО РАН*

## 1. Цель работы, исходные требования

Цель данной работы – проанализировать существующие варианты разъемных вакуумно-плотных соединений, которые могут быть применены для проектирования и последующего конструирования вакуумной системы с большой апертурой камер, например, участков вакуумной системы с Шоттки резонаторами на Collector Ring (FAIR).

## 2. Обзор применяемых фланцев

В настоящее время в мире существует большое множество различных разъемных вакуумно-плотных соединений для получения сверхвысокого вакуума в вакуумных камерах с большой апертурой (больше 400 мм). Это и фланцы типа COF, ConFlat, плоские фланцы VATSeal и ISO-K. У каждого из типов есть свои недостатки и преимущества: стоимость уплотнений или фланцев, опыт применения того или иного типа соединений на различных установках, а также немаловажным является толщина фланцев и необходимое место для их стыковки. В Таблице 1 приведен сравнительный анализ наиболее широко распространённых вакуумно-плотных соединений.

**Таблица 1.**

Тип	Толщина фланца, мм	Необходимое расстояние, мм	Тип уплотнения	Максимальный проходной диаметр, мм	Опыт
ConFlat	35	120	Cu кольцевое уплотнение	$\leq$ DN 400	Много (до $\leq$ DN 400) ИЯФ СО РАН (DN 500*) Hositrad
COF	43	155	Cu проволока	$\leq$ DN 2000	Много
Flat	25	95	VATSeal	$>$ 500 x 100 (прямоугольные)	PETRA III
ISO-K	17	80	Упругие «С»-образные уплотнения с мягким гальваническим покрытием	До 4000	HTMS, ИЯФ СО РАН

\*) Прототип вакуумной камеры для резонатора НИКА, созданного в ИЯФ СО РАН.

Поскольку при проектировании ускорительного комплекса необходимо размещение всех основных элементов комплекса (магнитов, диагностики, датчиков давления, вакуумных насосов и прочее), минимизация необходимого расстояния для осуществления вакуумно-плотного соединения является важной задачей. Как видно из таблицы, наименьшим требуемым расстоянием для осуществления стыковки обладают фланцевые соединения типа ISO-K с упругими «С»-образными уплотнениями.

Кроме того, любое здание подвержено сезонным «просадкам/подъемам» фундамента, что влечет за собой и «просадку/подъем» магнитных элементов вследствие чего возможен излом вакуумного соединения с последующим нарушением герметичности. С этой целью был проведен ряд экспериментов для изучения поведения фланцевых соединений типа ISO-K с упругими «С»-образными уплотнениями к подобным нагрузкам.

### 3. Описание уплотнений с мягким гальваническим покрытием

Принцип герметизации таких уплотнений основан на пластической деформации С-кольца (Рис. 1), у которого пластичность больше, чем у материала фланца. Уплотнение происходит между уплотняющей поверхностью фланца и упругим С-кольцом. Во время сжатия результирующее удельное давление заставляет С-кольцо сжиматься и заполнять дефекты фланца, обеспечивая при этом положительный контакт с уплотнительными поверхностями фланца. Кроме того, уплотнения с мягким гальваническим покрытием обладают очень важным свойством: выдерживать небольшие деформации после сборки фланца, связанные с изменениями температуры или давления за счет упругости уплотнения [1]. Такая комбинация упругости и пластичности уплотнений с мягким гальваническим покрытием делает фланцы ISO-K лучшим решением в выборе вакуумно-плотного соединения.

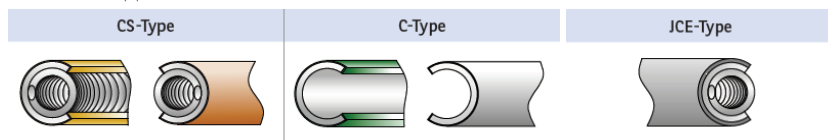


Рис. 1. Изображение каждого типа уплотнения.

Были протестированы четыре разных типа уплотнений (с «мягкой» или «жесткой» пружиной или без нее, с разными покрытиями и способом обработки уплотнений), произведенных фирмой «High Tech Metal Seal» (HTMS), Мехелен, Бельгия [1]. В Таблице 2 представлены основные параметры уплотнений.

**Таблица 2.**

Туре	CE-052800-6.35H-2/0-4-SN50	CSE-052800-6.35H-2/2-1-S50	JCE-052800-6.20M-2/2-1-A300	CSE-052800-6.35M-2/2-1-S50
Диаметр уплотнения, мм	528	528	528	528
Толщина, мм	6,35	6,35	6,2	6,35
Материал C-ring	Alloy 718	Alloy 718	Alloy 718	Alloy 718
Материал пружины	-	Alloy 718	Alloy 718	Alloy 718
Покрытие	Олово	Серебро	Алюминиевый сплав	Серебро
Толщина покрытия, $\mu$	30÷50	30÷50	300	30÷50
Нагрузка, Н/мм	160	770	230	325
Обработка	отжиг + осаждение	деформационное упрочнение	деформационное упрочнение	деформационное упрочнение
Диаметр уплотнения после сжатия, мм	5,18÷5,28			

#### 4. Описание эксперимента

Установка для испытаний уплотнений (Рис. 2) состоит из:

- фланца-заглушки ISO-K DN500, через который осуществляется откачка соединения;
- подставки, на которых жестко закрепляется фланец-заглушка;
- ответного фланца ISO-K DN500 с «плечом», к которому прикладывается усилие, равное 10 кН·м;
- силовой тяги, способной обеспечить данное усилие;
- системы откачки и контроля на герметичность.

До проведения испытаний осуществляется вакуумно-плотная сборка фланцев. Для того, чтобы не допустить чрезмерной деформации уплотнения, на одном из фланцев устанавливаются на одинаковом расстоянии друг от друга ограничители. Вакуумно-плотное соединение обеспечивается двойными зажимами, причем для разных типов уплотнений применяется разное количество данных зажимов. Перед установкой зажимы лучше обработать, например, дисульфидом молибдена для уменьшения силы трения.

После вакуумно-плотного соединения проводится проверка на герметичность в течение 2÷3 мин при помощи чехла из полиэтилена, наполненного газообразным гелием. Далее проверка на герметичность осуществляется под нагрузкой через каждые 1,5 кН·м до максимальной величины, равной 10 кН·м. Затем нагрузка плавно уменьшается до нуля и выполняется окончательная проверка на герметичность.

Одно из покрытых серебром и с «мягкой» пружиной уплотнений дополнительно подвергается только прогреву при температуре, равной 350 °С в течение 4 часов. После охлаждения до комнатной температуры выполняется окончательная проверка на герметичность при помощи чехла из полиэтилена, наполненного газообразным гелием.

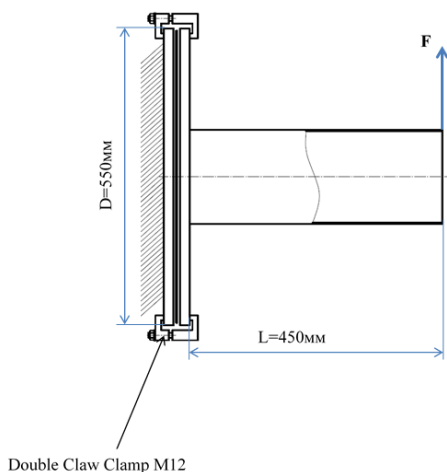


Рис. 2. Упрощенная схема проверки вакуумно-плотного соединения.

## 5. Результаты эксперимента

Результаты экспериментов подробно представлены в Таблице 3.

**Таблица 3.**

Тип	CE-052800-6.35H-2/0-4-SN50	CSE-052800-6.35H-2/2-1-S50	CSE-052800-6.35M-2/2-1-S50	JCE-052800-6.20M-2/2-1-A300
Диаметр уплотнения, мм	528	528	528	528
Толщина, мм	6,35	6,35	6,35	6,2
Материал C-ring	Alloy 718	Alloy 718	Alloy 718	Alloy 718

Материал пружины	–	Alloy 718	Alloy 718	Alloy 718
Покрытие	Олово	Серебро	Серебро	Алюминиевый сплав
Толщина покрытия, $\mu$	30÷50	30÷50	30÷50	300
Нагрузка, Н/мм	160	770	325	230
Обработка	отжиг + осаждение	деформационное упрочнение	отжиг + осаждение	деформационное упрочнение
Кол-во зажимов	24	48	48	До 48
Усилие, Н·м	35 <sup>1)</sup>	45 <sup>1)</sup>	45 <sup>1)</sup>	>45
Макс. нагрузка, кН·м	10 <sup>2)</sup>	10 <sup>2)</sup>	10 <sup>2)</sup>	10 <sup>2)</sup>
Кол-во циклов затягиваний	Много <sup>3)</sup>	Не менее 2 <sup>3)</sup>	Только 1	0
Кол-во тестируемых уплотнений	3	2	2 <sup>4)</sup>	2
Натекание, л·мбар/с	< 1E–10	< 1E–10	< 1E–10	>1E–09
Кол-во неудавшихся уплотнений	0	0	1 <sup>5)</sup>	2

<sup>1)</sup> Максимальное усилие дано такое, чтобы зазор между фланцем и ограничителями на ответном фланце равнялся меньше 0,05 мм, хотя герметичность достигалась при меньших усилиях.

<sup>2)</sup> Нарушение герметизации для фланца DN 250 CF появлялась при нагрузке, равной 8 кН\*м.

<sup>3)</sup> Если зазор между ограничителями и фланцем меньше 0,05 мм, то количество циклов затягиваний равно двум, иначе возможно до пяти раз.

<sup>4)</sup> Одно уплотнение испытывалось только на прогрев, другое – под нагрузкой

<sup>5)</sup> Герметизация проводилась при помощи двойных зажимов (36 шт).

## 6. Выводы

Как видно из результатов эксперимента, «С»-образные уплотнения с покрытием олова обладают лучшими результатами по количеству используемых двойных зажимов, максимальному усилию, необходимому для герметизации стыка и количеству использования каждого уплотнения (до 5 раз). Недостатком является температура прогрева, которая не должна превышать 200 °С. Применение уплотнений типа CSE, покрытых серебром, возможно в прогреваемых вакуумных системах (максимальная температура прогрева 430 °С). Данное уплотнение используется только один раз, независимо от того, осуществляется прогрев или нет.

Альтернативой уплотнениям типа CSE являются уплотнения типа CE с покрытиями, способными выдерживать нагрев до 450 °С, например, серебром. Но требуется проведение дополнительных испытаний с данными уплотнениями.

**Благодарности.** Авторы выражают благодарность Овчарову Е.М., Скорову Р.В. и Голынскому В.В. за помощь в проведении экспериментов.

## **Литература**

[1] <http://www.hightechmetalseals.com/catalogue/htms-full-catalogue-english.pdf>



В.В. Анашин, А.А. Краснов, А.М. Семенов

**Обзор вакуумных соединений  
для получения сверхвысокого вакуума**

V.V. Anashin, A.A. Krasnov, A.M. Semenov

**Overview of vacuum sealings for UHV obtaining**

ИЯФ 2017-14

Ответственный за выпуск Я.В. Ракшун  
Работа поступила 19.10. 2017 г.

---

Сдано в набор 19.10. 2017 г.  
Подписано в печать 20.10. 2017 г.  
Формат 60х90 1/16 Объем 0,5 печ.л., 0,4 уч.-изд.л.  
Тираж 100 экз. Бесплатно. Заказ № 14

---

Обработано на РС и отпечатано  
на ротапринте «ИЯФ им. Г.И. Будкера» СО РАН,  
*Новосибирск, 630090, пр. Академика Лаврентьева, 11*