

# Герметичность при минус 196° С

Dr. G. Gaida

**С**фера промышленного применения сверхнизких температур неуклонно расширяется. Еще буквально десять лет назад температуры минус 100 °С и ниже использовались только в каких-то экзотических, узкоспециальных случаях — например, для охлаждения сверхпроводящих обмоток ускорителей элементарных частиц. Сейчас же технологии, использующие сверхнизкие температуры, становятся все более востребованными. Однако, многие существующие конструкции арматуры, вполне приемлемые в обычных условиях, далеко не обязательно будут герметичны и при сверхнизких температурах. В статье рассматриваются причины утечек арматуры в криогенных условиях и рассказано, как можно решить эту проблему с использованием современных технологий.

Наиболее часто низкотемпературные технологические процессы используются в фармацевтике и пищевой промышленности. Такой пример. При розливе лекарственных препаратов или напитков в ёмкостях всегда остается небольшой объем воздуха. Затем, чтобы гарантировать сохранность продукта, нужно провести его асептическую обработку. С этой целью воздух стерилизуется с помощью шоковой заморозки: он охлаждается жидким азотом, перед герметизацией упаковки.

В нефтехимии нынче тоже настоящий бум в использовании сверхнизких или криогенных температур. Например, все более актуальной становится технология сжижения природного газа. Если еще десять лет назад сжиженный природный газ не был столь широко рас-



Dr. Gregor Gaida

пространен, то сегодня с трудом можно найти промышленно развитую страну, которая бы не предпринимала усилий для расширения своих возможностей в этой области. Сжижение природного газа представляется идеальным решением для его транспортировки по морю. Становясь жидкостью при температуре ниже -162 °С, газ при этом значительно уменьшается в объеме, что и упрощает его транспортировку.

Использование криогенных технологий приобретает большое значение и в других областях. Например, криогенные температуры используются для снятия заусенцев в деталях из эластомеров и для хранения биологических и генетических материалов в научных учреждениях.

## Требования к герметичности

Для большинства условий применения арматуры требования к её герметичности, указанные в стандартах DIN EN 12266 или API 598, вполне достаточны. Абсолютную герметичность при испытании воздухом (которая равняется лишь нескольким пузырькам в минуту) в диапазоне температур от 0 и вплоть до 600 °С можно достичь с помощью одного-единственного клапана. Это справедливо даже для больших диаметров и для давлений 100 бар и выше.

Однако, когда речь заходит о нормах герметичности при криогенных температурах, вырисовывается совсем иная картина. Требования к герметичности для обычных конструкций арматуры тут значительно выше; часто используются нормы, приведенные в стандарте BS 6364.

Допустимые значения утечек –  $100 \text{ мм}^3/\text{с} \cdot \text{DN}$  при температуре испытаний –  $196^\circ\text{C}$ . И, в отличие от требований стандарта DIN EN 12266, утечки считаются не в пузырях в минуту, а расходом!

### Коэффициенты расширения

Важно понимать, как ведут себя материалы при повышении или понижении температуры. При повышении температуры детали увеличиваются в объеме, а при понижении их размер уменьшается. В соответствии с данной теорией, круглое проходное сечение при изменении температуры остается круглым, а от температуры будет зависеть только его диаметр. И при высоких температурах эта теория подтверждается опытом, причем результат не зависит от толщины стенок. Испытания деталей с различной толщиной стенок показали, что даже при температуре  $1000^\circ\text{C}$  круглое проходное сечение остается круглым.

Вроде бы, согласно данной теории, при понижении температуры результат должен быть аналогичным. Однако, в ходе испытаний выяснилось, что области с большей толщиной стенки сокращаются в объеме в иной степени, нежели области с более тонкой стенкой. Так, при испытании корпуса поворотного дискового затвора, имеющего большую толщину стенки в области отверстия для вала, именно разница в степени уменьшения размеров вызвала деформацию исходной формы седла. Седло стало уже не круглым, а овальным.

Но ведь уплотняющая прокладка диска, толщина которой почти одинакова по всей окружности, осталась круглой! Значит, у затвора такой конструкции начнутся сложности с обеспечением герметичности выше определенного уровня.

Еще одна проблема порождается значительными отличиями коэффициентов расширения металлов и неметаллических материалов. В то время как металлы, используемые при криогенных температурах: нержавеющая сталь, латунь или бронза – имеют практически одинаковые коэффициенты расширения, приблизительно  $12\sim 15 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ , коэффициент расширения пластмасс, таких как PTFE<sup>1</sup> и PVDF<sup>2</sup>, грубо говоря, в десять раз выше. Следует отметить, что PTFE, кристаллическая структура которого меняется при температуре  $\sim 19^\circ\text{C}$ , имеет очень неустойчивый коэффициент теплового расширения в этом температурном диапазоне.

### Особенности конструкции

Огромная разница в коэффициентах температурного расширения должна учитываться при конструировании арматуры. Прокладка из PTFE, не утопленная в металле, может попросту выпасть из гнезда при охлаждении до  $-196^\circ\text{C}$ . Даже если при комнатной температуре ее внешний диаметр был впрессован в металл. Уже при сравнительно небольшом номинальном диаметре шарового крана, допустим, DN 100, прокладка при погружении

<sup>1</sup> PTFE – политетрафторэтилен (ПТФЭ), в просторечии «тефлон» (прим. ред.)

<sup>2</sup> PVDF – поливинилиденфторид, плотный высокочистый пластик, используемый в критических условиях (напр., производство полупроводников) (прим. ред.)

в жидкий азот на несколько миллиметров ужимается в диаметре заметно сильнее, чем окружающий ее металл. Значит, избежать утечек в кране будет весьма сложно. Преимущество такой арматуры в себестоимости обманчиво, оно компенсируется тем фактом, что из-за протечек возрастают потери среды, восстановление которых потребует немалых усилий и затрат.

Коаксиальные клапаны благодаря своей конструкции избавляют от всех вышеописанных проблем. Их основные преимущества:

- все детали имеют равное осесимметричное сжатие;
- коническая геометрия седла идеальна для уплотнительных деталей (из полимеров), сжимающихся значительно сильнее, нежели металлическое седло.

В существующих конструкциях коаксиальных клапанов используется, по меньшей мере, одна динамическая прокладка, контактирующая со средой и подвергающаяся, таким образом, воздействию криогенных температур. Размеры прокладок, служащих уплотнением при поступательном движении штока, более или менее соответствуют номинальному диаметру трубы. Но с ростом номинального диаметра выполнять условие герметичности становится всё сложнее. Утечки в существующих конструкциях практически постоянны. В новой запатентованной конструкции фирмы Müller Co-Ax AG коаксиальный клапан включает в себя только одну динамическую прокладку, не подвергающуюся воздействию температуры среды.

### Новая конструкция

Согласно стандарту ISO и стандарту DIN 5211, для монтажа неполноворотного привода на клапан (будь то ручной, пневматический или электрический привод) используется установочный фланец. Клапан может управляться любым стандартным неполноворотным приводом. Привод вращает круглый вал. Редуктор клапана преобразует вращательное движение в возвратно-поступательное. Таким образом, полимерная или металлическая коническая прокладка, установленная на предназначенное ей место и прикрепленная к металлу, будет возвратно-поступательно перемещаться вдоль оси трубопровода.

Следовательно, внутри клапана имеются только две прокладки:

- коническая прокладка в седле клапана;
- прокладка между валом и корпусом.

Размер прокладки вала значительно меньше внутреннего диаметра трубы. Так что динамическое уплотнение значительно менее чувствительно к сжатию, вызываемому изменением температуры. Кроме того, уплотняется вращательное движение, и, стало быть, усилие, прилагаемое для достижения герметичности, меньше, чем при поступательном ходовом перемещении. В зависимости от условий эксплуатации, прокладка вала может устанавливаться и вне контакта с криогенной средой. Это позволяет применять даже уплотнения из резины.

Передняя часть корпуса, включая коническое седло, строго осесимметрична, с полностью идентичной толщиной стенок. Коническая полимерная прокладка целиком



**CRYAXX DN 80**

заделана в деталь, тоже осесимметричную, и потому надежно защищена и закреплена. Возможно использование и металлических прокладок.



### Опытные образцы

Первые испытания опытных образцов (было изготовлено около двадцати клапанов) показали, что даже при достаточно большом номинальном диаметре – DN 80 – вполне реально достичь полной герметичности при испытании гелием как в затворе, так и по штоку! Можно полностью устранить утечки во внешнюю среду через прокладку штока.

Детали корпуса жестко приварены друг к другу. Однако, имеется свободный доступ ко всем деталям, что позволяет заменять их при необходимости без каких-либо проблем.

Для изготовления всех деталей, кроме прокладок, применяется только нержавеющая сталь. В ближайшее время будут изготовлены клапаны DN 100 на давление до PN 63. Планируется подготовить весь ряд номинальных диаметров со строительной длиной F4 в соответствии с требованиями стандартов ISO и DIN 3202.

В Заявлении о соответствии соблюдений требований Директивы 97/23 EG, модуль H «Оборудование, работающее под давлением», клапаны могут использоваться при температуре среды до  $-200^{\circ}\text{C}$  и давлении, соответствующем W 10 AD.<sup>3</sup> Класс герметичности – А по стандарту DIN EN 12266 (I класс герметичности – по DIN 3230, нулевые утечки – по API 598).

<sup>3</sup> Стандарт, определяющий, какой материал при каком максимальном давлении может использоваться при той или иной низкой температуре (прим. авт.)

*Впервые статья была опубликована в журнале «Valve World» в ноябре 2008 г., с. 81-82. Статья переведена Т. Складовой, ЗАО «ТД «Знамя труда»*