

The original article was published in Valve World, Volume 16, Issue 4, May 2011, p. 85. The translation of the original English article was revised by T. Sklyarova, Zavod «Znamya Truda», JSC, St. Petersburg.

**От редакции.** К сожалению, после развала СССР в области научно-конструкторских разработок трубопроводной арматуры на 1/6 части суши имел место серьезный застой и спад. Оно и понятно: когда нужно просто выжить — не до новых разработок. Причем выживать проще, выпуская лишь самую примитивную номенклатуру. Вот и были в итоге утрачены навыки производства целого ряда интересных и сложных разновидностей арматуры. В числе которых и криогенная.

Но время не стоит на месте. Настала пора возвращать утраченное. Одной из самых актуальных тем в этом плане является как раз арматура для сверхнизких температур, ведь уже озвучены планы строительства в России заводов по сжижению природного газа. В области криогенного оборудования мы существенно отстали. Нужно догонять.

Мы уже публиковали ранее статьи специалистов петербургской Академии Холода, посвященные прикладным вопросам материаловедения, прямо относящимся к производству корпусов криогенного оборудования, работающего под давлением.\* А в этом номере мы предлагаем вашему вниманию перевод трех статей из журнала Valve World, посвященных арматуре для СПГ. Прямо перед вами — небольшая обзорная статья китайского инженера Cao Yaohua о ключевых моментах конструирования криогенной арматуры. Также см. материалы на стр. 77 и 93.

\* См. статьи Ю.С. Кривцова, С.Л. Горобченко в № 5, 6 за 2010 г.

## Ключевые моменты в проектировании криогенной арматуры для заводов по производству СПГ

Cao Yaohua, Anhui Tunxi, High Pressure Valve Co., Ltd.

Основным компонентом природного газа является метан, который называют «чистым» источником энергии, — он не токсичен, не имеет цвета, запаха и не коррозионный. Это самый простой углеводород ( $\text{CH}_4$ ) с самой низкой среди всех прочих температурой кипения/сжижения. Процесс производства СПГ прежде всего требует удаления из природного газа всех примесей (этот процесс еще называют «десульфацией»). После этого газ подвергается сжижению, которое происходит путем его охлаждения до минус  $162^\circ\text{C}$ , газ переходит в жидкое состояние и готов к транспортировке. Объем метана в сжиженном состоянии практически в 600 раз меньше, чем в газообразном. В таком компактном виде он может транспортироваться специальными танкерами до пере-



Об авторе  
**Cao Yaohua.** Закончил Технологический университет в Хэфэе (Китай). В настоящее время — Главный инженер и Вице-президент Anhui Tunxi High Pressure Valve Co., Ltd.

грузочных терминалов. Такая транспортировка потребует огромного количества криогенной арматуры, к примеру, шаровых кранов, задвижек, предохранительных и обратных клапанов. При проектировании арматуры для СПГ нужно принимать во внимание следующие соображения.



### Выбор материалов

Вследствие сверхнизкой температуры СПГ материал арматуры должен иметь низкую теплопроводность, хорошую свариваемость и стойкость к низкой температуре. Поэтому самым подходящим материалом является нержавеющая сталь.

### Выбор конструкции

Конструкция с удлиненной крышкой предназначена для того, чтобы температура сальниковой коробки не опускалась ниже 0 °С, что убережет набивку сальника от замерзания. В патрубке подачи давления должен быть предусмотрен порт сброса, а эластичный диск должен использоваться в качестве устройства, предотвращающего нежелательное повышение давления. Узел затвора должен иметь наплавку из стеллита, что гарантирует высокие уплотняющие характеристики. Кроме того, крайне необходимо указывать направление подачи рабочей среды в виде определенного знака, если применяется арматура с односторонней подачей среды.

### Изготовление

При сварке аустенитной нержавеющей стали выпадает карбид и появляется феррит. Это снижает стойкость материала к низкой температуре. Поэтому после сварки, чтобы восстановить хладостойкость материала, необходима термообработка (закалка) на твердый раствор. Закалка на твердый раствор<sup>1</sup> — основной способ термообработки, используемый для аустенитных нержавеющих сталей, позволяющий предотвратить межкристаллитную коррозию. Назначение такой обработки — полностью растворить углерод (добиться однофазной структуры твердого раствора) и тем уменьшить хрупкость материалов, используемых для криогенной арматуры.

Большинство хромоникелевых аустенитных сталей метастабильны при нормальной температуре, но при сверхнизкой температуре искажается кристаллическая

<sup>1</sup> Выдержка в течение нескольких часов при температуре более 1000 °С с последующим быстрым охлаждением. Не следует путать со стабилизирующим отжигом, проходящим при более низких температурах и предполагающим наличие в аустенитной стали легирующих добавок, связывающих углерод (прим. ред.).



решётка, и происходит мартенситное превращение. Объемноцентрированная решетка мартенсита имеет больший удельный объем, чем кубическая гранецентрированная решетка аустенита; поэтому низкотемпературный фазовый переход вызывает объемное расширение и деформирует детали.

Кроме того, снижение температуры вызывает усадку металла. Если усадка детали неравномерная, появляются температурные напряжения. Когда температурное напряжение превышает предел текучести материала, деталь может оказаться необратимо деформированной. Как мы видим, глубокое охлаждение может изменить состояние материала и привести к деформации.

Финишная обработка проводится для того, чтобы добиться относительной стабильности структуры и формы. Метод заключается в погружении детали в жидкий азот, выдержке в течение одного или двух часов при температуре -196 °С, подъеме и хранении при нормальной температуре. Такую процедуру требуется выполнять, как минимум, дважды.



### Испытания

В настоящее время испытания криогенной арматуры, как правило, проводятся на соответствие требований стандартов BS6364, JB7794. Перед испытаниями арматура должна быть просушена и не должна содержать смазки, поскольку масла и влага затвердевают, что приводит к поломке деталей и искажению конструкции.

После установки арматуры, подготовки испытательного оборудования и проведения начальных испытаний при нормальной температуре и максимальном рабочем давлении подается гелий, чтобы подтвердить герметичность всех соединений арматуры. В процессе понижения давления крайне важно, чтобы гелий постоянно циркулировал в арматуре с целью полного удаления влаги.

Полный цикл испытаний завершается на криогенном стенде, где корпус клапана погружается в жидкий азот или в смесь жидкого азота и метилового спирта до уровня горловины крышки. Испытания могут проводиться, когда все детали охладятся до требуемой температуры. Главной



целью криогенных испытаний является проверка герметичности и работоспособности арматуры при низкой температуре в соответствии с заданными параметрами.

### Вывод

Глубокое охлаждение эффективно решает проблему деформации и коробления деталей арматуры из аустенитной нержавеющей стали в условиях низкой температуры. Проведение криогенных испытаний позволяет подтвердить надежность уплотнений и правильность рабочих характеристик.

*Перевод Т. Склярской, ЗАО «Завод «Знамя Труда»*