

Цена «десятки»

О.Ю. Исаев (ООО «СИЛУР»)

Многие из нас, учась в институте, в свое время прослушали курс лекций «Допуски и посадки». Преподаватели, желая, чтобы студенты прониклись важностью предмета, часто говорили о причинах долговечности японских (немецких, американских) машин по сравнению с отечественными: «Допуски жестче! Там никто не махнет рукой на отклонение в десятку, там это – брак».

На одном из российских НПЗ при остановке технологической установки произошло возгорание. Из объяснительной оператора: «...в момент загорания находился в районе очага загорания и лично наблюдал как по фланцу корпус–крышка арматуры ЗКЛ2-200х40, которую я только что закрыл согласно технологическому регламенту, начался равномерный пропуск продукта по всему диаметру. Спустя несколько секунд произошло возгорание...».

Запорная арматура располагалась на трубопроводе со следующими рабочими параметрами: температура – до 420°C, давление – до 1 МПа, среда – мазут. На момент возникновения пожара температура трубопровода снижалась и составляла 355°C. Во время капитального ремонта на данный фланец была установлена прокладка из армированного перфорацией терморасширенного графита (ТРГ), и в течение всего срока службы (3 года 7 месяцев) нареканий не вызывала. По результатам расследования было выявлено, что на данном фланце были установлены шпильки из стали 40, на присоединительных фланцах этой задвижки – из стали 30ХМА; материал фланца – сталь 15ХМ.

Согласно выводам комиссии, причиной инцидента стала совокупность факторов: применение несоответствующих шпилек, превышение момента затяжки, снижение температуры фланца, дополнительная нагрузка на шпильки при полном закрытии задвижки.

Больше трех с половиной лет задвижка проработала не с теми и с не так затянутыми шпильками, которые при температуре однозначно пластически деформировались. За это время задвижку не раз за-

крывали, температуру также, возможно, снижали и повышали. При этом прокладка ТРГ успешно компенсировала все нештатные раскрытия фланца, но одновременно все факторы сложились лишь один раз, что и привело к пропуску и возгоранию.

Сжимаемость и восстанавливаемость качественного ТРГ составляет соответственно 50% и 20%. Это значит, что прокладка двухмиллиметровой толщины сожмется до 1 мм, а при снятии нагрузки восстановится на 0,2 мм. Учитывая, что при восстановлении прокладка должна остаться в напряженном состоянии, для обеспечения герметичности раскрытие фланца не должно было превысить 0,1 мм. Прокладка потекла, значит, величина раскрытия оказалась большей. Не углубляясь в расчеты, можно утверждать, что в совокупности пластическая деформация и разность изменения длины шпилек и толщины фланцев при снижении температуры дали искомые 0,1 мм.

На данном фланце установлены 14 шпилек М16, создающих, по нашим подсчетам, суммарное усилие не менее 500 кН, а «спусковым крючком» для разгерметизации стало усилие в 20...30 кН, развиваемое шпинделем с резьбой Тр24х5, дополнительно приподнявшее крышку на сотые доли миллиметра.

Нередко слесарь-сборщик (подрядчик, механик) с облегчением вытирает пот со лба, добившись герметичности фланца затяжкой шпилек с помощью кувалды «до звона». При этом, если этот фланец будет ра-

ботать при высоких температурах, то с большой долей вероятности можно утверждать, что он «побежит» при остановке или при последующем прокладке, а потому, что напряженные сверх меры шпильки при повышении температуры пластически деформируются, т.е. безвозвратно останутся вытянутыми, тогда как толщина фланца при снижении температуры уменьшится, что приведет к снижению контактных напряжений на прокладке. Здесь следует еще раз отметить, что уплотнения ТРГ, не имея в своем составе каучука и асбеста, действительно сохраняют упругие свойства в течение всего срока службы, не «высыхают» и не твердеют в отличие от традиционных асбестосодержащих и новейших безасбестовых паронитов, теряющих способность упруго восстанавливаться после первой теплосмены.

Для избежания пластической деформации при температуре ГОСТ Р 52857.4–2007 «Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность» дает четкие рекомендации по допустимым нагрузкам на шпильки в зависимости от диаметра, марки стали и температуры использования. Для удобства практического применения зависимость максимально допустимых моментов от указанных параметров рассчитана специалистами ООО «СИЛУР» и сведена в таблицу. В табл. 1 для примера приведены некоторые предельные моменты затяжки для шпилек М20.

Таблица 1

Предельные моменты затяжки для шпилек М20 из стали 40Х при разных температурах

Температура, °С	Предельный момент затяжки, Н·м	Коэффициент запаса к пределу текучести	M_T^1 , Н·м
20	310,5	1,8	558,9
200	303,8	1,8	546,8
300	299,7	1,8	539,5
350	249,8	1,8	449,6
400	216,0	1,8	388,8
425	210,6	1,8	379,1
¹ Момент, при котором нагрузка на шпильки превышает момент текучести			
За полной версией таблицы можно обратиться к авторам статьи.			

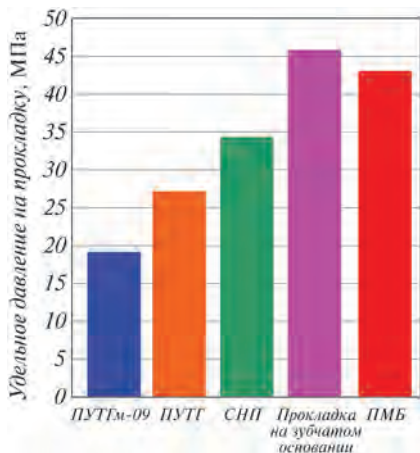


Рис. 1. График удельных давлений на прокладки разных типов, обеспечивающих герметичность при давлении 16 МПа

Используя данную таблицу при затяжке очередного «трудного» фланца, можно оперативно сориентироваться, не превышен ли предельно допустимый момент. Может быть, стоит остановиться и подумать о выборе прокладки другого типа.

Неплоскостности, локальные искривления фланцев величиной 0,3... 0,5 мм практически не видны на глаз, но на фланцах эксплуатируемых емкостей и аппаратов они есть всегда. В местах, где эти локальные дефек-

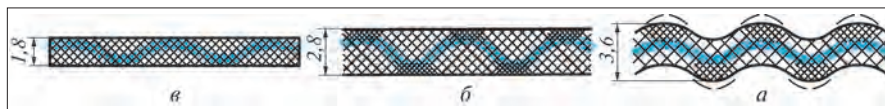


Рис. 2. Работа графита на разных уровнях

ты увеличивают зазор, как правило, требуется повышенная затяжка шпилек для «выпрямления» фланца. А там где этот зазор минимален? Здесь тоже надо тянуть шпильки, чтоб хоть как-то сблизить фланцы и разгрузить шпильки, расположенные в местах увеличенных зазоров. А если у прокладки недостаточная сжимаемость или присутствует жесткий ограничитель сжатия?

Выпускаемая компанией «Силур» прокладка на стальном волновом основании марки ПУТГм-09 как нельзя лучше приспособлена для работы в этих условиях, поскольку для достижения герметичности в каждом конкретном случае необходимо меньшее усилие обжатия (рис. 1), чем для других типов прокладок, а это, в свою очередь, снижает нагрузку на шпильки. Кроме того, в отличие от плоских, зубчатых, спирально-навитых прокладок волновые имеют два уровня расположения графита – на гребнях и во впадинах (рис. 2), и в зависимости от условий может работать

верхний (а), нижний (в) или оба уровня графита (б).

На рис. 3 показаны максимальные изгибы фланцев, которые при давлении уплотняемой среды до 4,0 МПа могут быть скомпенсированы упругостью прокладок ТРГ разных конструкций при их сжатии без необходимости выправления фланцев с помощью дополнительной затяжки шпилек. Диапазон отклонений от плоскостности рассчитан исходя из максимальной (50%) и минимальной (20%) величин обжатия, обеспечивающих герметичность при давлении 4 МПа.

В случае превышения данных отклонений при затяжке шпилек в зоне с минимальным зазором (см. рис. 3, зона А), велика вероятность раздавить армированный перфорацией ТРГ (причем раздавить по всему полю прокладки) или перенапрячь шпильки при использовании жестких зубчатых прокладок и прокладок СМП с ограничителями сжатия.

Волновая прокладка при этих условиях будет работать следую-

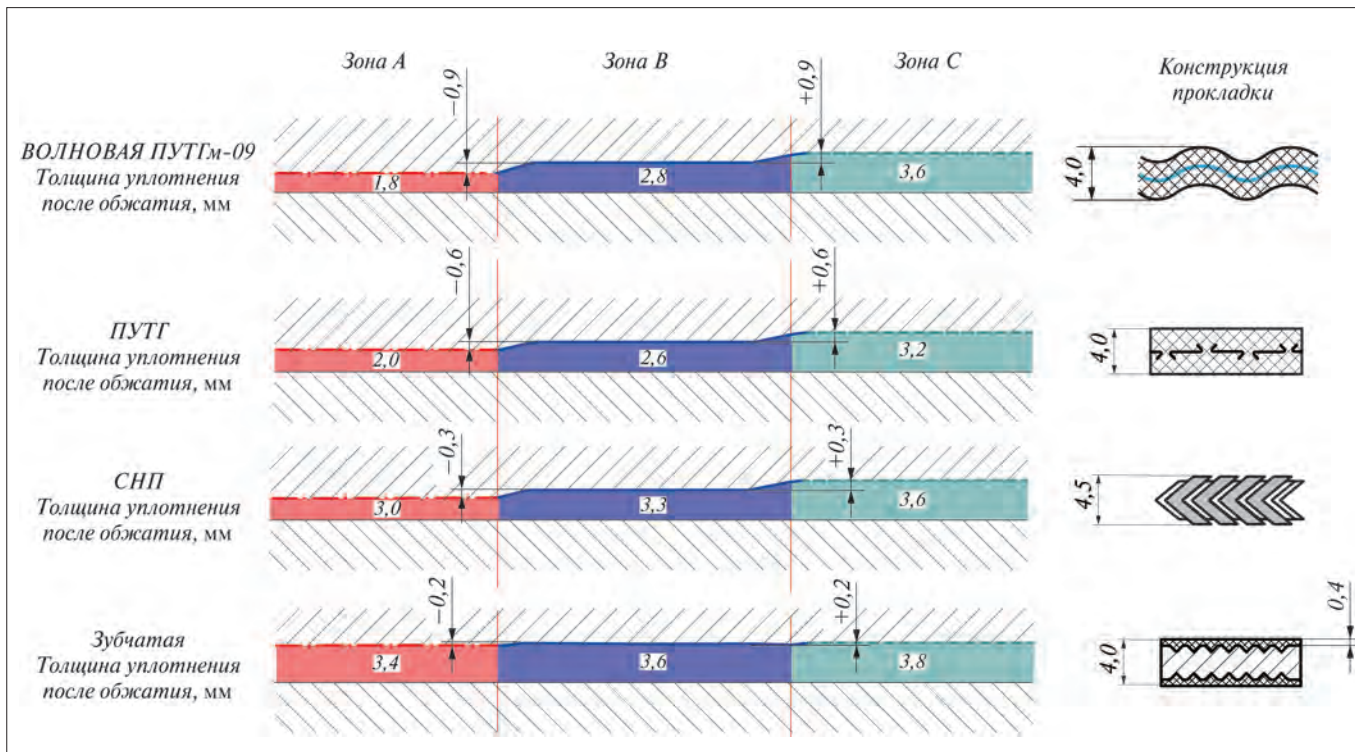


Рис. 3. Компенсация изгибов фланцев прокладками различных типов

щим образом: 1) ТРГ, расположенный на гребнях, будет уплотнен до максимума и частично выдавлен во впадины – в области с меньшей плотностью; 2) произойдет упругая деформация волнового основания; 3) во впадинах, замкнутых гребнями, для графита будут созданы идеальные условия для обеспечения герметичности. Увеличенного момента затяжки шпилек при этом не требуется.

Для обеспечения герметичности при прогибах фланцев, более указанных на рис. 3 (зона С), для любых прокладок потребуются дополнительные усилия на шпильках для выправления фланцев, но для волновой прокладки эти усилия будут меньше, поскольку уплотнение графита, необходимое для обеспечения герметичности, на гребнях произойдет раньше.

Преимущество волновой прокладки по способности компенсировать изгибы фланцев по сравнению с занявшей второе место прокладкой ПУТГ весьма небольшое, всего «каких-то» полмиллиметра. Но если подумать, какие усилия потребуются для выправления этих десятков на фланце любого среднего аппарата, то станет понятным важность этого показателя.

Прочность и упругие свойства прокладки могут варьироваться в широком диапазоне в зависимости от толщины металла и шага волны и подбираются для каждого конкретного случая (рис. 4).

Рассмотрев показатели сжимаемости и их влияние на нагружение шпилек, покажем, как другой, не менее важный показатель – восстанавливаемость, сможет компенсировать пластическую деформацию, ставшую результатом усердия слесарей.

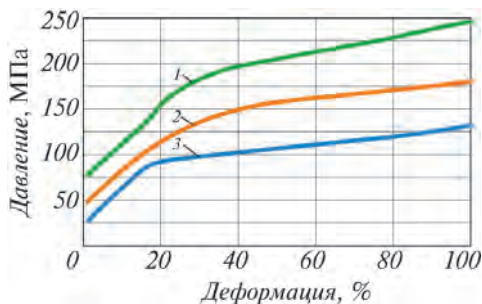


Рис. 4. Зависимость деформации от прикладываемого давления волновой прокладки с разным шагом волны: 1 – 3 мм; 2 – 4 мм; 3 – 5 мм

На рис. 5 графически представлены результаты исследования способности прокладок разных конструкций упруго восстанавливаться после снижения или полного снятия нагрузки. Прокладки диаметром 152×132×3 мм разных конструкций обжимали во фланцах с соединительным выступом до достижения герметичности при давлении 16 МПа, затем шпильки отпускали до начала протечки при заданном давлении. Величину раскрытия фланца при этом фиксировали индикатором. Как видно из графика, разница в минимальных и максимальных показателях раскрытия фланца для прокладок разных конструкций не превышает 0,1 мм (тоже не Бог весть какое достижение). Однако в описанной выше аварии, возможно, именно этой десятки и не хватило.

У каждого уплотнения есть свои особенности: паронит сохнет, СМП больших размеров нуждается в особом бережном обращении, минимальная риска на стальном кольце «Армко» требует тщательной зачистки. Есть своя особенность и у волновой прокладки. При снятии нагрузки на границе повышенной и пониженной плотности из-за внутренних напряжений, которые собственно и обеспечивают герметичность, происходит расслоение графита. На бывших в употреблении волновых прокладках этот эффект проявляется в виде трещин, идущих вдоль гребней прокладки, что ни в коем случае не должно ставить под сомнение ее работоспособность – прокладка ТАК работает.

Способность волновых прокладок, не напрягая сверх меры шпильки, уплотнять самые «неплоские» фланцы наиболее ярко проявляется на теплообменном оборудовании.

В период капитального ремонта установки риформинга на пяти теплообменных аппаратах в разъемное соединение «плавающая головка» были установлены волновые прокладки производства ООО «Силур». Ни одно из ранее применяемых уплотнений – ПУТГ, СМП, паронит, плоская металлическая прокладка (табл. 2) – герметичности не обеспечивали. Разгерметизация соединения приводила к нарушению технологического процесса, попаданию углеводородов из «трубной» среды в межтрубное пространство, нарушению параметров пароконденсата и необходимости его слива в канализацию. Вследствие этого теплообменники Т-8, Т-9, установленные в 2011 г., были выведены из эксплуатации. Аналогичная ситуация ежегодно была с аппаратами Т-15, Т-22 (выпуска 1976, 1980 гг.), средний период нормальной работы которых составлял не более трех месяцев.

С момента монтажа волновой прокладки и по настоящее время аппараты работают в штатном режиме.

Причиной пропуска по фланцу «плавающей головки» на всех указанных теплообменниках было отклонение фланцев от плоскостности, устраняемое при опрессовке дополнительной подтяжкой шпилек, что при нагреве приводило к пластической деформации шпилек. Применение волновых прокладок позволило перевести нагрузки на шпильки в область упругих деформаций.

Более пяти лет волновые прокладки успешно применяются для герметизации сосудов и аппаратов на предприятиях Лукойла, Газпрома, Роснефти, Татнефти и других, из года в год растет к ним доверие механиков. Более полно с примерами применения волновых прокла-

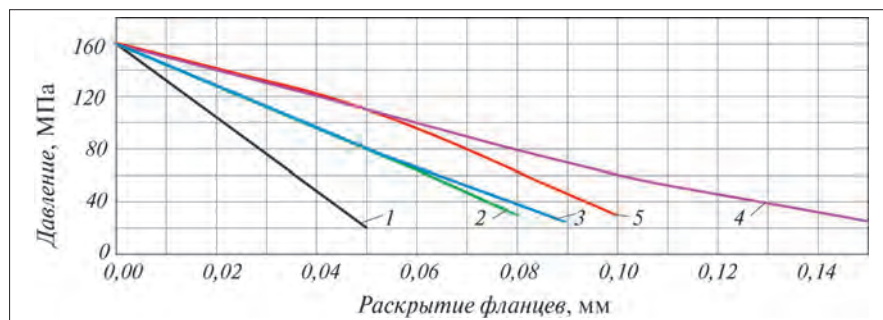


Рис. 5. Зависимость начала протечки от давления и величины раскрытия фланцев для разных типов прокладок с диаметральными размерами 152×132×3 мм: 1 – прокладка на зубчатом основании; 2 – СМП; 3 – ПУТГ; 4 – ПУТГм-09; 5 – ПМБ

Эксплуатационные параметры теплообменников, реанимированных волновыми прокладками

Номер , аппарата	Рабочее давление, МПа	Испытательное давление, МПа	Среда	Температура, °С	Ранее установленное уплотнение	Установленные прокладки
Т-8	0,7/0,6	1,88/1,83	Топливный газ/Пар	120/230	ПУТГ	ПУТГм-09-Н-01 892×864-3,0
Т-9	0,7/0,6	3,05/2,91	Топливный газ/Пар	120/230	ПУТГ	ПУТГм-09-Н-01 393×372-3,0
Т-15	0,6/0,7	2,0/2,0	Топливный газ/Пар 10	60/150	СНП, металлические паронит	ПУТГм-09-Н-01 589×567-3,0
Т-22	0,9/0,9	2,0/2,0	Топливный газ/Пар 10	80/150	СНП, металлические паронит	ПУТГм-09-Н-01 588×557-3,0

Примечание. В числителе – в трубах; в знаменателе – в межтрубном пространстве.

док можно познакомиться, открыв референц-лист на нашем сайте www.sealur.ru

Но как бы не нравилась нам наша волновая прокладка и как бы не хотели мы ее похвалить, в этой статье мы в первую очередь хотели сказать о другом: о важности состояния всех составляющих фланцевого соединения – фланцев, спи-

лек, прокладок; что даже самая «расчудесная» прокладка не исправит положения при неправильной сборке и затяжке этого соединения пневмогайковертом с неизвестным и нерегулируемым моментом по кругу за один проход; что даже на самых больших разъемах роль одной десятки бывает решающей.

Что же касается описанного в начале статьи инцидента с задвижкой, то для решения подобного рода проблем ООО «СИЛУР» освоило безштамповый способ изготовления волновых прокладок для фланцев арматуры корпус-крышка (круглые, овальные, коаксиальные и другие формы), в том числе по чертежам заказчиков.

Россия, 614014, г. Пермь, ул. 1905 года, 35
 8 (342) 270-05-99 многоканальный
 8 (499) 704-31-90 многоканальный московский
 8 (922) многоканальный мегафон
 Доб №130-138 - отдел продаж
 Доб №177, 117 - отдел технического сервиса
 E-mail: trg@sealur.ru
www.sealur.ru



СИЛУР

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ



УПЛОТНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И УПЛОТНЕНИЯ
 РАЗРАБОТКА • ПРОИЗВОДСТВО • ВНЕДРЕНИЕ
 СЕРВИСНОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ПРОДУКЦИИ