

БЕССВАРНЫЕ ГЕРМЕТИЧНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ МАЛЫХ ДИАМЕТРОВ И ИМПУЛЬСНЫХ ЛИНИЙ ТРУБНЫХ ПРОВОДОВ

д-р техн. наук, проф. Н.Н. ПОПОК
(Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой)
А.С. БАЛЫШ
(ООО «Поинт», Полоцк)

Проведен анализ отечественных и зарубежных конструкций бессварных герметичных соединений трубопроводов малых диаметров и импульсных линий трубных проводок, а также применяемых марок материалов. Представлены конструкции соединений с зажимным и упорным кольцами и соединений с врезающимся кольцом. Определены преимущества и недостатки существующих конструкций. Рассмотрена возможность применения бессварных герметичных соединений на трубопроводах, транспортирующих агрессивные среды, которые вызывают коррозионное разрушение металла. Предложено новое исполнение соединения с зажимным и упорным кольцами из двухфазной дуплексной стали. Приведены результаты гидростатической прочности рассматриваемых конструкций после однократной и многократных сборки и разборки соединений на трубопроводе из нержавеющей коррозионностойкой стали аустенитного типа. Дана экономическая оценка целесообразности серийного производства соединений нового исполнения.

Ключевые слова: *трубопроводы, бессварные соединения, зажимные и упорные кольца, дуплексная сталь.*

Введение. Трубопроводы представляют собой сооружения из труб, деталей (отводы, переходы, тройники, метизы, фланцы и т.д.), опор, подвесок, арматуры, плотно и прочно соединенных между собой и предназначенных для транспортировки жидкостей, газов, паров, парожидкостных смесей и иных продуктов промышленной и хозяйственной деятельности^{1; 2}. И если для трубопроводов диаметрами $DN 10–DN 4000$ разработаны, описаны и спроектированы разнообразные разъемные (фланцевые, муфтовые, раструбные и т.п.) и неразъемные (сварные, с пайкой и т.п.) соединения элементов трубопроводов, то для трубопроводов малых диаметров $DN 1–DN 10$ разработанных и реализованных на практике методик соединений значительно меньше. К этой же категории трубопроводов малых диаметров относят импульсные линии трубных проводок, которые соединяют отборные устройства с контрольно-измерительными приборами на технологических трубопроводах, сосудах и аппаратах, а также могут служить в качестве линий питания, обогрева, охлаждения^{3; 4}. Бесспорно, что для трубопроводов малых диаметров можно применять те же методики соединений, что и для трубопроводов больших диаметров, например, сварные соединения. Однако, как показывает практика, монтаж импульсных линий трубопроводов малых диаметров в основной массе происходит в значительно стесненных либо полевых условиях. Поэтому проектные, монтажные и эксплуатирующие организации при проектировании и разработке документации на трубные проводки все чаще отдают предпочтение бессварным разъемным соединениям трубопроводов.

Основная часть. Типовая схема манометрической (приборной) стойки с бессварными разъемными соединениями представлена на рисунке 1.

Наиболее распространенными типами бессварных разъемных соединений в промышленности являются соединения с врезающимся кольцом (рисунок 2) и соединения с зажимным и упорным кольцами (рисунок 3).

И если на территории бывшего Советского Союза чаще встречаются соединения с врезающимся кольцом, конструкция которого была описана и внедрена в 1970 г.⁵, то за рубежом широкое применение получили соединения с зажимным и упорным кольцами, которые в промышленности стран западного мира известны

¹ ГОСТ 32569-2013 Трубопроводы технологические стальные. Требования к устройству и эксплуатации на взрывопожароопасных и химически опасных производствах. – М.: Стандартинформ, 2015. – 184 с.

² ТКП 45-3.05-167-2009 Технологические трубопроводы. Правила монтажа и испытаний. – Минск: М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2010. – 70 с.

³ СП 77.13330.2016 Системы автоматизации. Свод правил. – М.: Стандартинформ, 2017. – 70 с.

⁴ РМ 4-242-92 Системы автоматизации. Рекомендации по проектированию обогрева и теплоизоляции трубных проводок. – М.: НПО «Монтажавтоматика» ГПКИ «Проектмонтажавтоматика», 1992. – 56 с.

⁵ ГОСТ 15763-70 Соединения трубопроводов с врезающимся кольцом для гидравлики, пневматики и смазки на $P_y 40$ МН/м кв. (примерно 400 кгс/см кв.). Технические требования. – М.: Гос. ком. стандартов Совета министров СССР, 1970. – 2 с.

уже с 1947 г.^{6,7}. На территории же бывшего Советского Союза соединения с зажимным и упорными кольцами были описаны и внедрены только в 1991 г.⁸. Но ввиду того, что после распада Советского Союза в странах СНГ началось активное внедрение промышленного оборудования западных образцов, именно соединения с зажимным и упорным кольцами заняли передовые позиции в ряду герметичных соединений трубопроводов и трубных проводок.

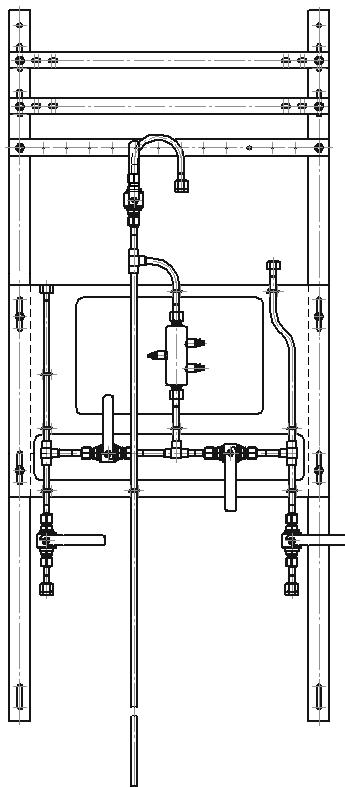
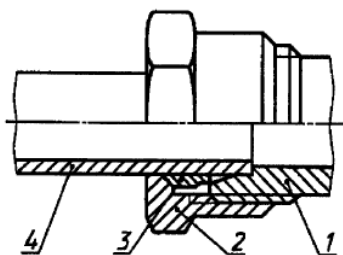


Рисунок 1. – Типовая схема манометрической (приборной) стойки отбора давления⁹



1 – присоединительный конец корпусной детали; 2 – накидная гайка; 3 – врезающееся кольцо; 4 – труба

Рисунок 2. – Соединение с врезающимся кольцом¹⁰

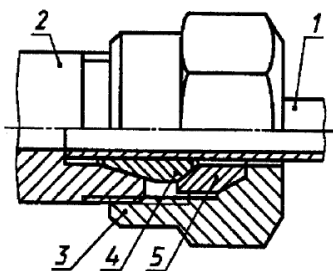
⁶ Swagelok Tube Fitting Advantage [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.swagelok.com/-/media/distributor-media/o-s/singapore/tube-fitting-advantage-brochure.ashx> (дата обращения 29.01.2024).

⁷ Трубные обжимные фитинги Swagelok® [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.swagelok.com/downloads/webcatalogs/ru/MS-06-16.PDF> (дата обращения 29.01.2024).

⁸ ГОСТ 15763-91 Соединения трубопроводов резьбовые на Ру до 63 МПа (до около 630 кгс/см кв.). Общие технические условия. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1991. – 21 с.

⁹ Манометрическая стойка (ОУД) [Электронный ресурс]. – URL: <https://pointltd.by/index.php/catalog/armatura-dlya-datchikov/manometricheskaya-stojka-oud> (дата обращения 29.01.2024).

¹⁰ ГОСТ 15763-2005 Соединения трубопроводов резьбовые и фланцевые на PN (Ру) до 63 МПа (до около 630 кгс/см²). Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2008. – 35 с.



1 – труба; 2 – присоединительный конец корпусной детали; 3 – накидная гайка;
4 – зажимное кольцо; 5 – упорное кольцо

Рисунок 3. – Соединение с зажимным и упорным кольцами¹¹

Соединения с зажимным и упорным кольцами (далее – СЗУК), конструкция которых описана в ГОСТ 15763-2005¹¹, имеют ряд особенностей, ограничивающих сферу применения указанных соединений в промышленности. Согласно ГОСТ 15763-2005 в качестве материала колец, накидной гайки, корпусных деталей рекомендуется применять углеродистые конструкционные стали, что не позволяет использовать данные соединения для агрессивных сред, вызывающих коррозионное разрушение углеродистых конструкционных сталей. В качестве материала трубы для соединений рекомендуются сталь 20, медь или латунь, что также не позволяет использовать СЗУК для трубопроводов и трубных проводок, изготовленных из нержавеющей коррозионностойких сталей (таблица 1).

Таблица 1. – Марки материала и сортамент труб¹¹

| Наименование деталей | Марка материала | Сортамент труб |
|--|-----------------------------|----------------------------|
| Упорные кольца | Сталь 45 | – |
| Зажимные кольца | Сталь 10 | |
| | Сталь 3 Л63 | |
| Гайки и контргайки | Сталь 45, 35 А30 10кп | |
| Корпусные детали | Сталь 45, 35 А30 | |
| Трубы для соединений с зажимным кольцами | Сталь 20 | Холоднодеформируемые трубы |
| | М3 | Медные трубы |
| | Л63 | Латунные трубы |

Конструкция соединений типа СЗУК западного образца (рисунок 4), напротив, в стандартном исполнении предусматривает их изготовление из нержавеющей стали (как правило, марки 316/316L) и предназначена для монтажа на трубопроводах и трубных проводках из коррозионностойких сталей аустенитного типа (марки 304, 321, 316Ti, 316/316L и т.п.)^{12; 13}. Однако недостатком такой конструкции является дороговизна ее разработки и сопутствующих исследований¹⁴, т.к. принципиальными отличиями от конструкции по ГОСТ 15763-2005 являются не только геометрические параметры элементов, но и технология изготовления отдельных деталей соединения. Например, упорное (заднее) кольцо западного образца подвергается дополнительному упрочнению по запатентованным западными фирмами технологиям, которое повышает механические свойства поверхностного слоя кольца без потери коррозионных свойств стали^{15; 16}. В дополнение

¹¹ ГОСТ 15763-2005 Соединения трубопроводов резьбовые и фланцевые на PN (Py) до 63 МПа (до около 630 кгс/см²). Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2008. – 35 с.

¹² Gaugeable Tube Fittings and Adapter Fittings [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.swagelok.com/media/distributor-media/c-g/calgary/services/pdf/ms-01-140.ashx> (дата обращения 29.01.2024).

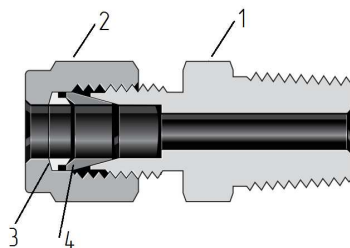
¹³ CPI/A-LOK Tube Fittings [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.parker.com/literature/Instrumentation%20Products%20Division/Catalogs/Cat%204230-4233-Dec09%20-%20Final%20for%20Web.pdf> (дата обращения 29.01.2024).

¹⁴ DesignNews. – URL: <https://www.designnews.com/metals/swagelok-improves-stainless-steel-hardness/> (дата обращения: 20.01.2024).

¹⁵ SAT 12 Swagelok [Электронный ресурс]. – URL: <https://pdfcoffee.com/sat-12-swagelok-pdf-free.html> (дата обращения 29.01.2024).

¹⁶ Engineering report on ferrule design-suparcase® [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.parker.com/literature/Instrumentation%20Products%20Division/Suparcase/CPI%20Promo%20Bulletin%204230%20B15.1.pdf> (дата обращения 29.01.2024).

накидная гайка имеет специальное серебряное покрытие, предотвращающее заедание резьбы и обеспечивающее простоту сборки^{17; 18}.



1 – корпусная деталь; 2 – накидная гайка; 3 – упорное (заднее) кольцо;
4 – зажимное (переднее) кольцо

Рисунок 4. – Конструкция соединений типа СЗУК западного образца¹⁹

В связи с тем, что предприятия энергетической, нефтехимической отраслей промышленности остро нуждаются в бессварных герметичных соединениях для трубопроводов из коррозионностойких нержавеющей сталей, было решено разработать принципиальное новое исполнение соединений типа СЗУК, которое объединило бы лучшие стороны существующих конструкций отечественного и западных образцов с устранением их вышеописанных недостатков.

За основу была принята конструкция зарубежного образца, т.к. именно она сейчас имеет наибольшее применение в бессварных герметичных соединениях трубопроводов и трубных проводок. Эксплуатирующему персоналу, специалистам КИПиА уже знакомы подобные фитинги, поэтому все присоединительные размеры и материальное исполнение корпусных деталей целесообразнее оставить взаимозаменяемыми с соединениями западного образца для облегчения замены, монтажа и обслуживания оборудования на технологических объектах. При этом требования к механическим свойствам материалов для изготовления деталей соединений (таблица 2), а также правила приемки (герметичность соединений трубопроводов, герметичность соединений трубопроводов при многократной сборке и разборке, стойкость к воздействиям пульсации давления и вибрации) нового исполнения СЗУК соответствуют требованиям ГОСТ 15763-2005²⁰.

Таблица 2. – Механические свойства материала для изготовления деталей соединений²⁰

| Наименование деталей | R_m , МПа | R_e , МПа | A_5 , % |
|----------------------|-------------|-------------|-----------|
| Корпусные детали | 420 | 240 | 15 |
| Накидные гайки | 380 | 220 | 8 |
| Упорные кольца | 700 | 420 | 7 |
| Зажимные кольца | 340 | – | 31 |

Примечание. R_m – временное сопротивление разрыву; R_e – предел текучести; A_5 – относительное удлинение.

Как было отмечено ранее, механические свойства материалов, приведенные в таблице 2, не позволяют использовать СЗУК для трубопроводов и трубных проводок из нержавеющей коррозионностойких сталей, т.к. твердость нержавеющей аустенитных сталей (12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т и т.п.) выше, чем у углеродистой стали 20, меди М3 или латуни Л63 (таблица 3).

Для поиска оптимальной конструкции соединения и материала упорного (заднего) кольца с целью применения нового исполнения на трубопроводах и трубных проводках, изготовленных из нержавеющей коррозионностойких сталей аустенитного типа, были проведены стендовые испытания различных конструктивов СЗУК.

¹⁷ Engineering report on ferrule design-suparcase® [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.parker.com/literature/Instrumentation%20Products%20Division/Suparcase/CPI%20Promo%20Bulletin%204230%20B15.1.pdf> (дата обращения 29.01.2024).

¹⁸ Фитинги с торцевым уплотнением VCR® с металлической прокладкой. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.swagelok.com/downloads/webcatalogs/ru/ms-01-24.pdf> (дата обращения 29.01.2024).

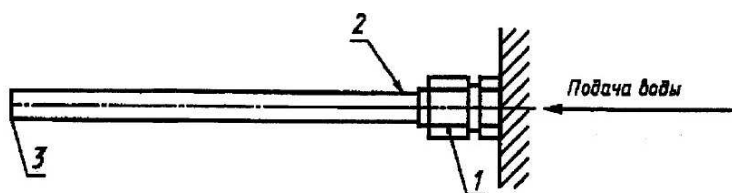
¹⁹ Gaugeable Tube Fittings and Adapter Fittings [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.swagelok.com/media/distributor-media/c-g/calgary/services/pdf/ms-01-140.ashx> (дата обращения 29.01.2024).

²⁰ ГОСТ 15763-2005 Соединения трубопроводов резьбовые и фланцевые на PN (Ру) до 63 МПа (до около 630 кгс/см кв.). Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2008. – 35 с.

Таблица 3. – Показатели твердости некоторых марок материала

| Марка материала | Твердость, НВ |
|-----------------|-------------------------------|
| 12X18H10T | не более 179 НВ ²¹ |
| 10X17H13M2T | не более 200 НВ ²² |
| Сталь 20 | не более 163 НВ ²³ |
| Медь МЗ | не менее 95 НВ ²⁴ |
| Латунь Л63 | не менее 130 НВ ²⁵ |

Методика испытаний заключалась в следующем: на испытуемый образец и трубку (рисунок 5) подавалось пробное гидростатическое давление, которое фиксировалось манометром, обеспечивающим регламентированные условия испытаний. Свободный конец трубки закрыли заглушкой. Рабочая среда (вода) поступала с постоянным давлением, выдержка образца при установившемся давлении производилась в течение не менее 5 (пяти) мин.



1 – испытуемый образец; 2 – трубка; 3 – заглушка

Рисунок 5. – Схема типовой установки для проведения стендовых испытаний на прочность гидростатическим давлением

По результатам экспериментальных исследований было установлено (таблицы 4, 5), что для обеспечения возможности применения СЗУК с нержавеющими трубками достаточно, чтобы твердость упорного (заднего) кольца была не менее 35 HRC, а механические свойства кольца при этом соответствовали характеристикам, указанным в таблице 2. Для аустенитных нержавеющих сталей (12X18H10T, 10X17H13M2T и т.п.) таких показателей твердости и механических свойств в состоянии после проката или после термической обработки добиться невозможно [1; 2]. Поэтому по результатам экспериментальных исследований в качестве материала упорного (заднего) кольца решено использовать двухфазную дуплексную сталь, которая при высоких показателях механических свойств (см. таблицу 2) и твердости 35–45 HRC по коррозионной стойкости сопоставима со сталями аустенитного типа [3].

Таблица 4. – Результаты экспериментальных исследований гидростатической прочности конструкций СЗУК различного типа после однократного использования

| Испытуемый образец | Тип упорного (заднего) кольца | Твердость кольца | Пробное гидростатическое давление, МПа | Результат испытаний |
|-------------------------------|-------------------------------|------------------|--|---|
| Соединение по ГОСТ 15763-2005 | двухфазная дуплексная сталь | 35–45 HRC | 25,0 | неудовлетворительно, пропуск рабочей среды |
| Соединение западного типа | двухфазная дуплексная сталь | 35–45 HRC | 40,0 | удовлетворительно, пропуск рабочей среды не выявлен |
| Соединение западного типа | 316/316L с упрочнением | до 1800 HV | 40,0 | удовлетворительно, пропуск рабочей среды не выявлен |
| Соединение западного типа | 316/316L | не более 22 HRC | 40,0 | удовлетворительно, пропуск рабочей среды не выявлен |

Примечание. Рабочая среда – вода комнатной температуры, материал испытуемой трубки – 12X18H10T.

²¹ ГОСТ 25054-81 Поковки из коррозионно-стойких сталей и сплавов. Общие технические условия. – М.: Гос. ком. СССР по стандартам, 1983. – 9 с.

²² ГОСТ 15763-2005 Соединения трубопроводов резьбовые и фланцевые на PN (Ру) до 63 МПа (до около 630 кгс/см кв.). Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2008. – 35 с.

²³ ГОСТ 1050-2013 Металлопродукция из нелегированных конструкционных качественных и специальных сталей. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2014. – 31 с.

²⁴ ГОСТ 1173-2006 Фольга, ленты, листы и плиты медные. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2007. – 22 с.

²⁵ ГОСТ 2060-2006 Прутки латунные. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2007. – 27 с.

Таблица 5. – Результаты экспериментальных исследований гидростатической прочности конструкций СЗУК различного типа после многократной сборки и разборки (не менее 6 раз)

| Испытуемый образец | Тип упорного (заднего) кольца | Твердость кольца | Пробное гидростатическое давление, МПа | Результат испытаний |
|---------------------------|-------------------------------|------------------|--|---|
| Соединение западного типа | двухфазная дуплексная сталь | 35–45 HRC | 40,0 | удовлетворительно, пропуск рабочей среды не выявлен |
| Соединение западного типа | 316/316L с упрочнением | до 1800 HV | 40,0 | удовлетворительно, пропуск рабочей среды не выявлен |
| Соединение западного типа | 316/316L | не более 22 HRC | 40,0 | неудовлетворительно, пропуск рабочей среды |

Примечание. Рабочая среда – вода комнатной температуры, материал испытуемой трубки – 12X18H10T.

Закключение. Экспериментальные исследования показали, что при однократном использовании СЗУК твердость и механические свойства упорного (заднего) кольца не оказывают существенного влияния на работоспособность и эксплуатационные свойства соединения западного образца с трубкой из нержавеющей коррозионностойкой стали. При многократной сборке и разборке СЗУК (не менее 6 раз) для обеспечения работоспособности и эксплуатационных свойств соединения можно применять кольца с твердостью не менее 35 HRC и механическими свойствами согласно ГОСТ 15763-2005.

Бессварные герметичные соединения типа СЗУК с кольцом из двухфазной дуплексной стали не требуют больших финансовых вложений в подготовку производства таких соединений (в отличие от фитингов западного образца) и могут применяться в энергетической и нефтехимической промышленности при контакте с агрессивными рабочими средами, где не допустимо использовать фитинги, изготовленные из углеродистых конструкционных сталей согласно ГОСТ 15763-2005.

ЛИТЕРАТУРА

1. Материаловедение и технология металлов / Г.П. Фетисов, М.Г. Карпман, В.М. Матюнин и др. – М.: Высш. шк., 2001. – 638 с.
2. Рыбасенко И.Д., Якубовский Л.А., Каган И.З. Технология изготовления химической аппаратуры из нержавеющей стали. – Киев: Гос. науч.-техн. изд-во машиностр. лит., 1951. – 147 с.
3. Гольдштейн М.И., Грачев С.В., Векслер Ю.Г. Специальные стали. – М.: МИСИС, 1999. – 407 с.

REFERENCES

1. Fetisov, G.P., Karpman, M.G., Matyunin, V.M., Gavrilyuk, V.S., Sokolov, V.S., Sokolova, N.Kh., ... Gol'tsov, V.A. (2001). *Materialovedenie i tekhnologiya metallov*. Moscow: Vysshaya shkola. (In Russ.)
2. Rybasenko, I.D., Yakubovskii, L.A. & Kagan, I.Z. (1951). *Tekhnologiya izgotovleniya khimicheskoi apparatury iz nerzhavayushchei stali*. Kyiv: Gosudarstvennoe nauchno-tekhnicheskoe izdatel'stvo mashinostroitel'noi literatury. (In Russ.)
3. Gol'dshtein, M.I., Grachev, S.V. & Veksler, Yu.G. (1999). *Spetsial'nye stali*. Moscow: MISIS. (In Russ.)

Поступила 12.03.2024

NON-WELDED SEALED FITTINGS FOR SMALL DIAMETER PIPELINES AND TUBING

N. POPOK

(Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk)

A. BALYSH

(Point LLC, Polotsk)

An analysis of domestic and foreign designs of non-welded sealed fittings for small diameter pipelines and tubing is carried out, the grades of materials used are considered, the designs of fittings with clamping and thrust rings and fittings with a cutting ring are presented. The advantages and disadvantages of existing structures are analyzed, the possibility of using non-welded sealed fittings on pipelines transporting aggressive media that cause corrosive destruction of metal is considered. A new design of the fittings with clamping and thrust rings using rings made of two-phase duplex steel is proposed. The results of the hydrostatic strength of the structures under consideration after single and multiple assembly and disassembly of fittings on a pipeline made of stainless, corrosion-resistant steel of the austenitic type are given. An economic assessment of the feasibility of mass production of new fittings has been carried out.

Keywords: pipelines, non-welded fittings, clamping and thrust rings, duplex steel.