

## **КОНТРОЛЬ І ДІАГНОСТИКА ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ В ПРИЛАДОБУДУВАННІ**

УДК 621.643.03: 620.179.18

### **КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА РАБОТ ПРИ МУФТОВОМ РЕМОНТЕ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ**

*Тымчик Г.С., Подолян А.А., Национальный технический университет Украины  
“Киевский политехнический институт”, г. Киев, Украина*

*В статье рассмотрены доминирующие факторы, влияющие на надёжность отремонтированного трубопровода, предложены дополнительные методы контроля, которые в сочетании с традиционными методами, обеспечивают требуемое качество муфтового ремонта магистральных газопроводов*

**Ключевые слова:** муфта, неразрушающий, контроль, диагностика, магистральный газопровод

#### **Введение**

При длительной эксплуатации трубопроводов может возникнуть необходимость восстановления несущей способности трубы, имеющей механико-коррозионные (в том числе и сквозные) повреждения, усиления дефектных кольцевых стыков, а также необходимость перевода участков действующих трубопроводов в более высокую категорию. Это достигается путём повышения прочности трубопроводов или их участков с помощью установки бандажей или ремонтных муфт. На действующих трубопроводах большое распространение получил способ повышения прочности трубы с помощью сварных муфт с внутренним наполнением [1] (клеево-сварных муфт), от правильности монтажа которых зависит эффективность, надёжность и долговечность ремонтируемого трубопровода. В настоящее время контроль качества монтажа муфтовых конструкций сводится к визуальному контролю процесса изготовления и монтажа элементов муфт, а также контролю качества сварных соединений известными методами (визуальным, ультразвуковым, рентгенографическим, магнитографическим) [1,2]. Использование данных методов неразрушающего контроля в отношении появившихся в последнее время муфт с внутренним наполнением под давлением, не обеспечивает требуемое качество ремонта, так как не позволяет учесть основные факторы, влияющих на надёжность отремонтированного трубопровода.

#### **Постановка задачи**

Целью данной статьи является определение доминирующих факторов, влияющих на надёжность отремонтированного трубопровода, рассмотрение методов контроля, обеспечивающих требуемое качество муфтового ремонта магистральных газопроводов. Вопросы внутритрубной диагностики и дефектоскопии, предшествующие ремонту, в статье не рассматриваются.

### Клеево-сварные муфты

Муфты с наполнением являются ремонтными конструкциями долгосрочной эксплуатации. В общем случае, они имеют вид жесткой металлической оболочки, герметично установленной с внешней стороны усиливаемого участка трубопровода. Чаще всего жесткая оболочка составляется из двух полумуфт, которые свариваются между собой продольными швами, или скрепляются другими известными способами. Пространство между трубопроводом и оболочкой (подмуфтовое пространство) заполняется под давлением специальным веществом. В большинстве случаев используют клеевую самотвердеющую массу на эпоксидной или полиуретановой основе (компаундное заполнение) [1,3,4]. Известны варианты применения бетона [5] или несжимаемой жидкости [2]. Заполнение подмуфтового пространства несжимаемой жидкостью (например, маслом), закаченной под давлением, позволяет разгрузить ремонтируемую трубу, обеспечивая частичную передачу нагрузки на оболочку муфты. Однако всегда сохраняется опасность вытекания жидкости из-за разгерметизации муфты в процессе эксплуатации, в результате чего ремонтная конструкция перестаёт выполнять свои функции. В связи с этим, более предпочтительным является использование практически несжимаемого вещества, самотвердеющего после запрессовки в подмуфтовое пространство, не подлежащего усадке или расширению в процессе затвердевания и обладающего прогнозируемыми характеристиками.

В настоящее время для ремонта магистральных газопроводов Украины наибольшее распространение получили два вида клеево-сварных муфт, конструкции которых показаны на рисунках 1 и 2.

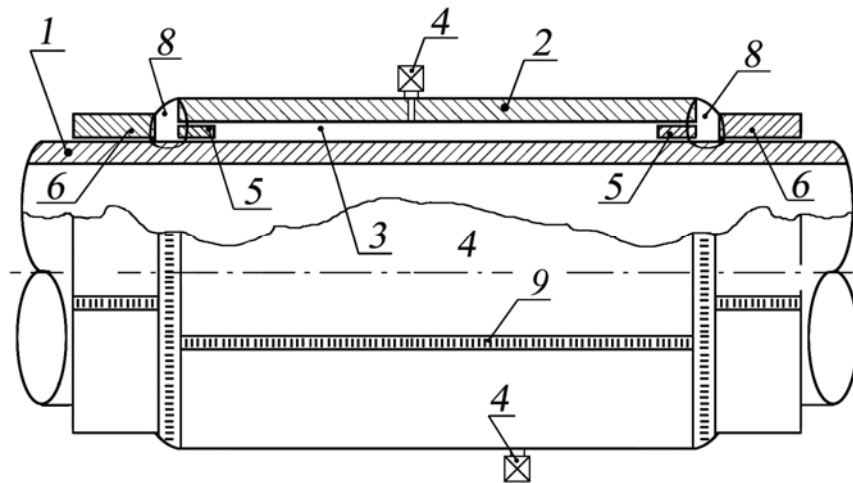


Рис.1. Конструкции наиболее распространённой клеево-сварной муфты с приваркой к телу трубы, где: 1 – трубопровод, 2 – муфта, 3 – подмуфтовое пространство, 4 – штуцеры, 5 – сварочная лента, 6 – технологические кольца, 7 – торцевые уплотнители, 8 – кольцевые сварные швы, 9 – продольные сварные швы

Клеево-сварная муфта с приваркой к телу трубы [6] (рис.1) используется для ремонта практически всех видов несквозных дефектов на действующем магистральном газопроводе и может устанавливаться без изменения режимов транспорта газа. Конструкция клеево-сварной муфты без приварки к телу трубы [7] (рис.2) отличается большей сложностью за счёт камер для формирования торцевых уплотнителей. Её применение оправдано в случае, когда по объективным причинам сварка с телом трубы нежелательна или нецелесообразна. С незначительными доработками оба вида муфт могут с успехом использоваться и для ремонта сквозных отверстий.

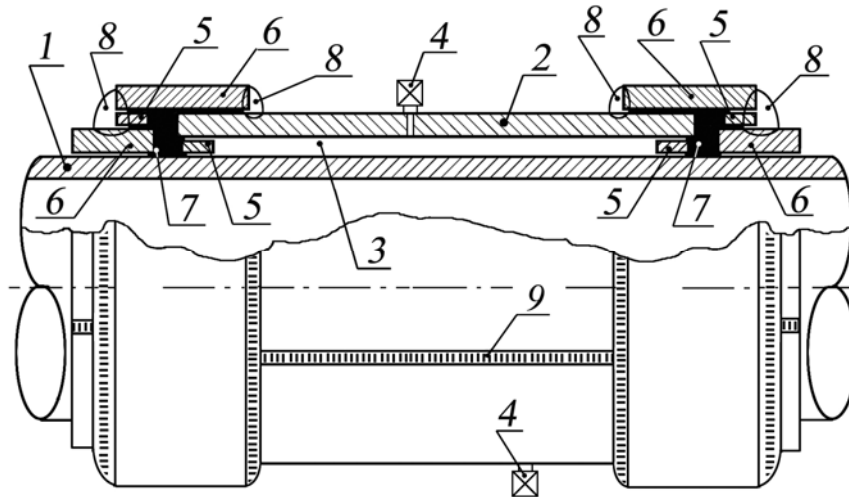


Рис.2. Конструкции наиболее распространённой клеево-сварной муфты без приваркой к телу трубы, где: 1 – трубопровод, 2 – муфта, 3 – подмуфтовое пространство, 4 – штуцеры, 5 – сварочная лента, 6 – технологические кольца, 7 - торцевые уплотнители, 8 – кольцевые сварные швы, 9 – продольные сварные швы

При увеличении прочности трубопровода или его участка с помощью клеево-сварных муфт любой конструкции, достигается снижение как кольцевых, так и продольных напряжений в трубе. Продольные напряжения в трубопроводе снижаются за счёт сварки элементов муфт с трубопроводом, а также за счёт адгезии компаунда к элементам трубы и муфты.

### Снижение механических напряжений в ремонтируемой трубе

В трубе, не усиленной муфтой, действуют кольцевые напряжения, в общем случае определяемые выражением:

$$\sigma_{T0} = \frac{P_p \cdot D_{\text{внутр}}}{2 \cdot \delta_T}, \quad (1)$$

где  $P_p$  - рабочее давление внутри трубопровода,  $\sigma_{T0}$  - кольцевые напряжения растяжения в стенке трубы без муфты при рабочем давлении  $P_p$ ;  $D_{\text{внутр}}$  - внутренний диаметр трубы;  $\delta_T$  - толщина стенки трубы.

После установки муфты на трубопровод с внутренним давлением  $P_v$  и запол-

нении подмуфтового пространства клеевым составом, закаченным под давлением  $P_M$ , кольцевые напряжения растяжения в стенке трубы уменьшатся до значения  $\sigma_{T1}$ :

$$\sigma_{T1} = \frac{(P_y - P_M) \cdot D_{\text{внутр}}}{2 \cdot \delta_T}, \quad (2)$$

При этом в оболочке муфты будут действовать кольцевые напряжения, определяемые зависимостью:

$$\sigma_{M1} = \frac{P_M \cdot (D_{\text{внутр}} + \delta_T + \delta_{\text{ПП}})}{2 \cdot \delta_M}, \quad (3)$$

где  $\delta_{\text{ПП}}$  - толщина подмуфтового пространства,  $\delta_M$  - толщина стенки муфты.

Для полной разгрузки внешней оболочки муфты, давление внутри трубопровода должно быть снижено на величину  $P_M$ .

В этом случае, в трубе действуют остаточные кольцевые напряжения  $\sigma_{T2}$ , в то время как оболочка муфты находится в ненагруженном состоянии ( $\sigma_{M2} = 0$ ):

$$\sigma_{T2} = \frac{(P_y - 2 \cdot P_M) \cdot D_{\text{внутр}}}{2 \cdot \delta_T}. \quad (4)$$

При определённых допущениях (несжимаемости затвердевшего клеевого слоя и незначительной толщине подмуфтового пространства ( $\delta_{\text{ПП}} \ll \delta_M$ )), выражение для кольцевых напряжений растяжения в стенке трубы с установленной муфтой с наполнением, может быть записано в виде:

$$\sigma_{Tp} = \frac{(P_y - 2 \cdot P_M) \cdot D_{\text{внутр}}}{2 \cdot \delta_T} + \frac{(P_p - (P_y - 2 \cdot P_M)) \cdot D_{\text{внутр}}}{2 \cdot (\delta_T + \delta_M)}, \quad (5)$$

при этом кольцевые напряжения  $\sigma_{Mp}$  в оболочке муфты определяются выражением:

$$\sigma_{Mp} = \frac{(P_p - (P_y - 2 \cdot P_M)) \cdot D_{\text{внутр}}}{2 \cdot (\delta_T + \delta_M)}. \quad (6)$$

Эффективность усиления трубопровода оценивается степенью снижения кольцевых напряжений в стенке ремонтируемой трубы:

$$\frac{\sigma_{Tp}}{\sigma_{T0}} = \frac{\left( \frac{(P_y - 2 \cdot P_M) \cdot D_{\text{внутр}}}{2 \cdot \delta_T} + \frac{(P_p - (P_y - 2 \cdot P_M)) \cdot D_{\text{внутр}}}{2 \cdot (\delta_T + \delta_M)} \right)}{\frac{P_p \cdot D_{\text{внутр}}}{2 \cdot \delta_T}}, \quad (7)$$

откуда:

$$\frac{\sigma_{Tp}}{\sigma_{T0}} = \frac{P_y - 2 \cdot P_M}{P_p} + \frac{1 - \frac{P_y - 2 \cdot P_M}{P_p}}{1 + \frac{\delta_M}{\delta_T}}. \quad (8)$$

### Контроль монтажа клево-сварных муфт

Из полученного выражения (8) и графика, представленного на рис.3, видно, что распределение напряжений между усиливаемой трубой и муфтой, а, следовательно, и эффективность муфтового ремонта, зависят от давления в трубопроводе во время заполнения веществом подмуфтового пространства, давления в подмуфтовом пространстве и отношения толщин стенок трубы и муфты. Очевидно, что для качественного выполнения ремонта трубопровода, требуется учёт всех этих значений.

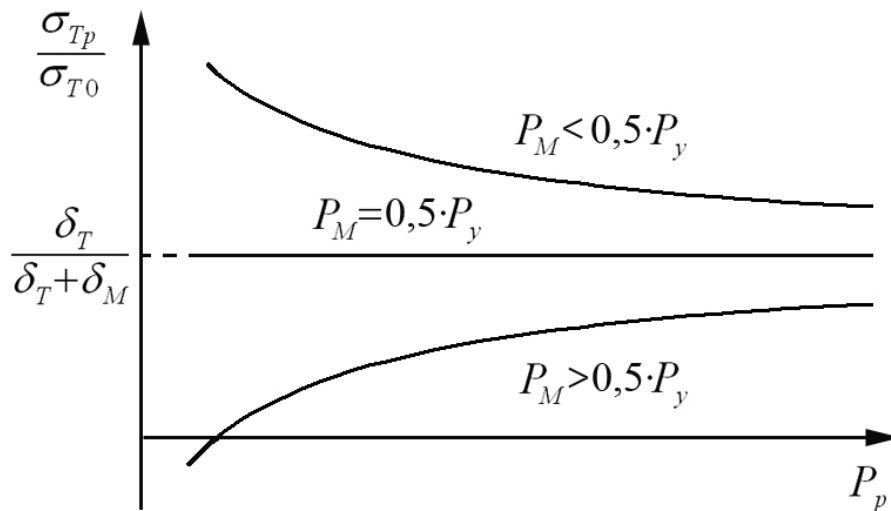


Рис.3. График зависимости степени снижения кольцевых напряжений в стенке ремонтируемой трубы от рабочего давления в трубопроводе

Кроме того, из рисунка 3 видно, что существует только одно значение давления запрессовки вещества в подмуфтовое пространство, обеспечивающее постоянное распределение нагрузки между трубой и муфтой, которое не зависит от изменения рабочего давления в трубопроводе. Данное давление является оптимальным и составляет половину давления внутри трубопровода на момент заполнения муфты, то есть:

$$P_{Mon} = 0,5 \cdot P_y, \quad (9)$$

где  $P_{Mon}$  - оптимальное давление вещества в подмуфтовом пространстве.

После подстановки в (8)  $P_M = P_{Mon}$  из выражения (9):

$$\frac{\sigma_{Tp}}{\sigma_{T0}} = \frac{\delta_T}{\delta_T + \delta_M}. \quad (10)$$

То есть, распределение нагрузки между трубой и муфтой при заполнении подмуфтового пространства веществом, подаваемым под оптимальным давлением, постоянно, не зависит от изменения рабочего давления в трубопроводе и определяется толщиной стенки муфты, которая может быть определена из выражения (10):

$$\delta_M = \delta_T \cdot \left( \frac{\sigma_{T0}}{\sigma_{Tp}} - 1 \right), \quad (11)$$

где  $\frac{\sigma_{T0}}{\sigma_{Tp}}$  - требуемая степень снижения напряжений в усиливаемой трубе,  $\sigma_{T0}$  - кольцевые напряжения растяжения в стенке трубы без муфты при рабочем давлении;  $\sigma_{Tp}$  - кольцевые напряжения растяжения в стенке трубы с установленной муфтой,  $\delta_T$  - толщина стенки трубы,  $\delta_M$  - толщина стенки муфты.

Для обеспечения надёжного ремонта большое значение имеет качество сварки элементов конструкции, так как разгерметизация подмуфтового пространства в процессе запрессовки самотвердеющего вещества не позволит обеспечить требуемую степень разгрузки ремонтируемой трубы. Контроль сварных швов известными методами (рентгеноскопия, ультразвуковая дефектоскопия) отличается трудоёмкостью и может не дать исчерпывающих данных о состоянии сварного шва, так как проводится в ненагруженном состоянии. Наличие возможных концентраторов напряжения на практически неконтролируемой стороне сварного шва, повернутого в сторону подмуфтового пространства, может привести к растрескиванию сварного соединения под давлением самотвердеющей массы [8].

Для практических целей более эффективным и менее трудоёмким способом контроля качества установки муфтовой конструкции является проведение гидравлических испытаний подмуфтового пространства, предшествующих запрессовке самотвердеющего вещества.

Гидравлические испытания позволяют оценить герметичность муфты при заданном давлении, сведя к минимуму риски ошибок используемого в настоящее время ультразвукового и рентгеновского контроля. Для проведения испытаний удобно использовать жидкость, применяемую для обработки поверхности трубы и муфты с целью увеличения адгезии к самотвердеющему веществу. При этом гидравлические испытания могут быть совмещены с процедурой подготовки внутренней поверхности муфты к запрессовке самотвердеющего вещества [9]. Для упрощения поиска места разгерметизации подмуфтового пространства, в используемую жидкость могут быть введены вещества, обладающие специальными свойствами. Например, хладагент или краситель.

### **Выводы**

При муфтовом ремонте магистральных газопроводов высокого давления минимальный объём контроля, кроме предусмотренного руководящими документами, должен включать: контроль герметичности подмуфтового пространства путём гидравлических испытаний и контроль давления запрессовки самотвердеющей массы в подмуфтовое пространство, которое должно быть равно половине давления газа в трубопроводе на момент проведения работ.

Дальнейшие исследования предполагается проводить в направлении разработки методик контроля качества установки многосекционных муфт, разработки методик контроля муфтового ремонта подводных участков трубопроводов, а

также разработки конструкций муфт, обеспечивающих удобный доступ к сварным швам для проведения автоматического неразрушающего контроля.

### **Литература**

1. Технологічна інструкція з ремонту магістральних газопроводів під тиском з застосуванням дугового зварювання: - К.: ДК «Укртрансгаз», 2000. – 96 с.
2. ВБН В.3.1-00013741-07:2007. Магістральні нафтопроводи. Методи ремонту дефектних ділянок: - К.: НАК «Нафтогаз України», 2007. - 110 с.
3. Беккер М.В., Бут В.С., Говдяк Р.М. и др.. Ремонт магістральних трубопроводів під тиском: - К.: Кий, 2008. – 240 с.
4. Технологічний регламент підвищення несучої здатності труби та категорійності дільниць магістральних газопроводів методом установки металевих муфт: - К.: ДК «Укртрансгаз», 2008. – 37 с.
5. Ільницький Ю.В., Якимечко Р.Я. Ремонт магістральних газопроводів з використанням муфт на розширеному бетоні // Трубопровідний транспорт. - 2008. - № 4. - С.23-25.
6. Патент України на винахід № 77931, МПК F16L 55/16, B23K 31/02. Спосіб ремонту дефектної ділянки трубопроводу, що знаходиться під тиском / Бут В.С., Марчук Я.С., Подолян О.П. та ін.. Опубл. 15.01.2007, Бюл. № 1, 2007 р.
7. Патент № 81895 України на винахід. МПК F16L 55/18. Спосіб ремонту трубопроводу в умовах експлуатації / Бут В.С., Лохман І.В., Подолян О.О. та ін.. Опубл. 11.02.2008, Бюл. № 2, 2008 р.
8. Андрієшин М.П., Баранецький І.Б., Матяш В.І. та ін. Аналіз муфтових підсилювальних елементів, які використовують для ремонту магістральних газопроводів // Нафтова і газова промисловість. – 2009. - № 4. – С.35-40.
9. Патент № 82038 України на винахід. МПК F16L 55/00, G01M 3/00. Спосіб муфтового ремонту дефектної ділянки діючого трубопроводу з контролем якості монтажу/ Бут В.С., Лохман І.В., Подолян О.О. та ін.. Опубл. 25.02.2008, Бюл. № 3, 2008 р.

<p>Тымчик Г.С., Подолян А.А. <b>Контроль якості робіт при муфтовому ремонті магістральних газопроводів</b></p> <p>У статті розглянуто домінуючі фактори, що впливають на надійність відремонтованого трубопроводу, запропоновані додаткові методи контролю, які в поєднанні з традиційними методами, забезпечують необхідну якість муфтового ремонту магістральних газопроводів.</p> <p><b>Ключові слова:</b> муфта, неруйнівний, контроль, діагностика, магістральний газопровід</p>	<p>Tymchik G.S., Podolian O.O. <b>Quality control of socket repair works of gas main pipelines</b></p> <p>The article describes the dominant factors affecting the reliability of a repaired pipeline, the additional methods of control are presented, which provide the required quality of socket repair gas main pipeline in combination with traditional methods.</p> <p><b>Keywords:</b> Clutch, nondestructive, control, diagnosis, gas pipeline</p>
---	---

*Надійшло до редакції  
18 лютого 2010 року*