

УДК 621.64: 539.4+62-192

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ

© 2014 Ю.Л. Тарасов¹, В.И. Кочетов², М.А. Хоробрых¹

¹ Самарский государственный аэрокосмический университет

² ООО «Подводгазэнергосервис», Московская область

Поступила в редакцию 14.04.2014

В статье рассматриваются конструктивные средства в виде различных муфт, с помощью которых восстанавливается работоспособность участков трубопроводов, имеющих различные дефекты – конструктивно-технологические или эксплуатационные. Анализируется работа этих средств.

Ключевые слова: трубопровод, коррозионные и эрозионные повреждения, муфта, углеродное волокно

Протяжённость магистральных и промышленных газо-и нефтепроводов в России составляет несколько сотен тысяч километров. Большинство из них находится в эксплуатации свыше 30 лет и приближается к исчерпанию несущих свойств конструкций трубопроводов. Эксплуатация трубопроводных систем по техническому состоянию требует развития комплекса диагностического обслуживания с последующей оценкой работоспособности имеющих повреждения участков трубопроводов и принятием решения о проведении выборочного ремонта или по снижению эксплуатационных параметров трубопроводных систем. На основании данных внутритрубно́й диагностики с учётом требований, содержащихся в регламентирующих документах, реализуются мероприятия по поддержанию работоспособности участка трубопровода с поверхностными повреждениями в виде местных коррозионных пятен, эрозионного износа внутренней поверхности, а также с дефектами сварных швов [1, 3]. В качестве мероприятий, поддерживающих работоспособность участка трубопровода, содержащего повреждения, можно отметить

- а) усиление дефектного участка муфтой;
- б) замену дефектного участка;
- в) врезкой «катушки»;
- г) снижение рабочего давления до величины, определяемой расчётом, и продолжением эксплуатации с последующем периодическим контролем состояния трубопровода.

*Тарасов Юрий Леонидович, доктор технических наук, профессор кафедры космического машиностроения. E-mail: proch@ssau.ru,
Кочетов Владимир Иванович, заместитель директора
Хоробрых Михаил Александрович, студент*

Мероприятия б) и в) содержатся в отраслевых руководящих материалах. Следует отметить, что мероприятие б) является трудоёмким, связанным с большими трудовыми и материальными затратами. В условиях финансового дефицита, а также неизбежного старения парка действующих трубопроводных систем возникает необходимость поиска новых надёжных и относительно дешёвых способов ремонта магистральных трубопроводов. Для решения этой проблемы специалистами ООО «ВолгаУрал-Спецстрой» была предложена муфта МК-1, предназначенная для ремонта участков газопровода с дефектами основного металла труб, и успешно применяемая в течение ряда лет на объектах нефтяной промышленности.

Муфта представляет собой отрезок трубы, внутренний диаметр которой превышает наружный диаметр ремонтируемого участка трубопровода. Для возможности установки этого отрезка трубы на ремонтируемый участок отрезок режется по образующим на две одинаковые части. Эти части после установки на участок трубопровода свариваются, полученная цилиндрическая часть трубы центрируется относительно поверхности ремонтируемого трубопровода, затем производится герметизация полости между участком трубопровода и корпусом муфты со стороны его торцев. В образовавшееся закрытое пространство закачивается компаунд, для полимеризации которого проводится выдержка в течение 24 часов.

С целью определения возможности использования муфт МК-1 на объектах ОАО «Газпром» проводились испытания трубных образцов, имеющих повреждения, как отремонтированных с помощью муфт, так и без муфт. Все

трубные образцы имели дефекты в виде смещения кромок или поверхностные несквозные дефекты вдоль образующих участка трубы а также в кольцевом направлении. Характеристики трубных образцов, принципиальная схема испытательных стендов, а также результаты испытаний приведены в статье [2]. Результаты испытаний одного из трубных образцов представлены на рис. 1 в виде графиков распределения главных и эквивалентных напряжений σ_1 , σ_2 , σ_3 по длине образующей образца. Для вычисления напряжений использовались формулы

$$\sigma_1 = \frac{E}{1 - \mu^2} (\varepsilon_1 + \mu \varepsilon_2) \quad (1)$$

$$\sigma_2 = \frac{E}{1 - \mu^2} (\varepsilon_2 + \mu \varepsilon_1) \quad (2)$$

$$\sigma_3 = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \sigma_2} \quad (3)$$

где ε_1 и ε_2 – главные деформации, определяемые на основании показаний тензорезисторов.

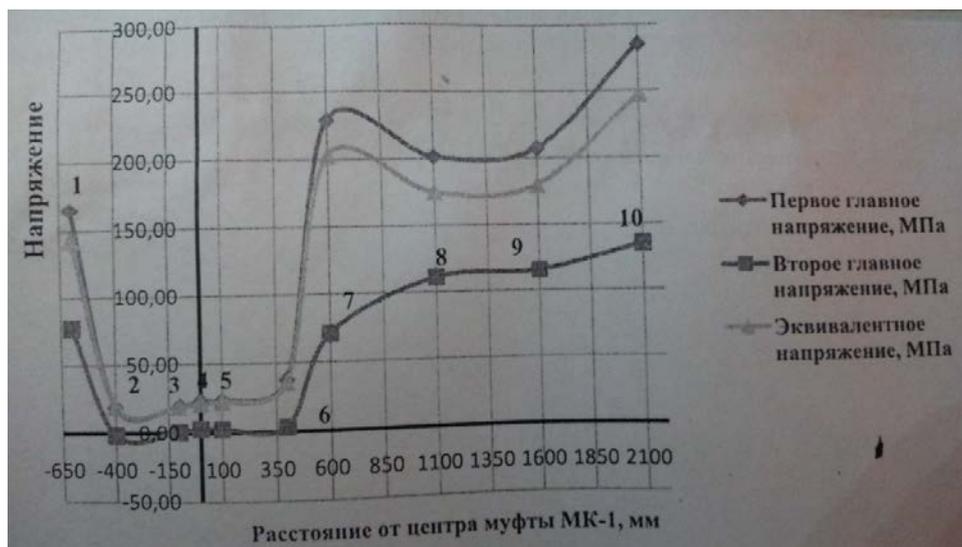


Рис. 1. Распределение напряжений по длине образующей трубного образца

После испытаний при действии избыточного давления, равного эксплуатационному, проводились испытания трубных образцов до разрушения. Для рассматриваемого образца максимальное значение внутреннего избыточного давления при разрушении в 1,81 раза превосходило величину рабочего давления. Место разрушения показано на рис. 2. Это место, как и при испытании других образцов, находится на целой части трубопровода, то есть вдали от муфты, предназначенной для восстановления работоспособности части трубопровода с дефектами.



Рис. 2. Место разрушения трубного образца

Результаты испытаний, представленные на рис. 1 и 2, подтверждают высокую эффективность использования жестких муфт при восстановлении работоспособности поврежденных участков трубопроводов. Следует отметить, что при установке этих муфт применяются сварочные работы. Это является определенным недостатком данного способа восстановления работоспособности участка трубопровода, имеющего повреждение, ибо обусловлено необходимостью остановки эксплуатации трубопровода и подготовки его к проведению сварочных работ. Недостатка можно избежать, если при проведении ремонтно-восстановительных работ использовать композиционные материалы.

Рассмотрим устройство для восстановления работоспособности участка трубопровода в виде эластичной муфты. Устройство выполняется из композиционного материала, состоящего из полиэтилена высокого давления и ткани из углеродного и арамидного волокна. Монтаж такой эластичной муфты производится после нанесения на тканево-полиэтиленовую часть жидкой компоненты. При монтаже к концевым торцам муфты прикладываются силы натяжения, которые создают нормальное давление по всей

внешней поверхности участка трубопровода. Интенсивность этого внешнего давления должна равняться величине внутреннему давлению в трубопроводе или его части. Величина равно-

$$N = 2 \int_0^{\pi/2} \Delta p L ds \sin \alpha = 2 \Delta p L R \int_0^{\pi/2} \sin \alpha d\alpha = 2 \Delta p L R \quad (4)$$

Как видно из рис. 3, для обеспечения этой силы к свободным продольным торцам муфты необходимо приложить растягивающие усилия T , величина которых равна

$$T = \frac{1}{2} N = \Delta p L R \quad (5)$$

где L – ширина элемента муфты, измеряемая вдоль образующей трубопровода; R – внешний радиус трубопровода.

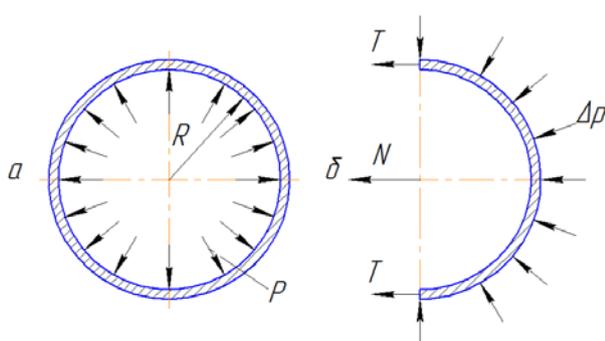


Рис. 3. Схема образования противодействия: а – сечение трубопровода, нагруженного внутренним давлением p ; б – схема сил, действующих на композитную муфту

Эксплуатационные возможности эластичной муфты характеризует величина противодействия Δp , которое может быть реализовано при приложении растягивающих усилий T к свободным продольным торцам муфты. Величина растягивающих усилий T определяется физико-механическими свойствами углеродной ткани, а также числом слоёв этой ткани, образующих муфту.

Рассмотрим ещё один возможный способ применения композиционных материалов при восстановлении работоспособности участка трубопровода с повреждениями, названный «внешним армированием». Усиление конструкций путём внешнего армирования углеволокном является одним из оптимальных современных средств восстановления и повышения эксплуатационных характеристик конструкций. Материалы из углеволокна обладают высокой

действующей тех сил, которые обеспечивают равномерное обжатие участка трубопровода со стороны муфты, равна

прочностью на растяжение (до 4800 МПа), коррозионной стойкостью. При проведении ремонтно-восстановительных работ не требуется сложное оборудование и оснастка. Высокие адгезионные свойства эпоксидного компаунда обеспечивают надёжное соединение углеродного волокна с поверхностью, на которую оно нанесено. После полимеризации компаунда материал участка трубопровода и слой углеродных волокон работают совместно, образовав многослойную конструкцию.

Определим доли нормальной силы, в меридиональном сечении двухслойной конструкции, состоящей из стальной трубы и муфты из углеродных волокон. Пусть T – суммарное погонное усилие, возникающее в меридиональных сечениях двухслойной конструкции, а T_1 и T_2 – доли усилия T , возникающие соответственно в слоях углеродного волокна и в стенке трубопровода в меридиональных сечениях. Обозначим модули упругости углеродной ткани и металла E_1 и E_2 , а площади сечений слоёв ткани и металлической части участка трубопровода под муфтой через F_1 и F_2 . При этом $F_1 = hnL$, а $F_2 = \delta L$. Здесь L – длина муфты, n – число слоёв углеродной ткани, h – суммарная толщина этих слоёв, δ – толщина стенки трубопровода. На основании условия совместности деформаций слоёв муфты и стенки трубопровода и уравнения равновесия получим выражение для определения T_1 и T_2 :

$$T_1 = \frac{1}{1 + \frac{E_2 F_2}{E_1 F_1}} T \quad (6)$$

$$T_2 = \frac{1}{1 + \frac{E_1 F_1}{E_2 F_2}} T \quad (7)$$

Результаты расчёта по формулам (6) и (7) представлены на графиках (рис. 4). Эти графики показывают, что усилия T_1 возрастают по мере увеличения отношения F_1/F_2 .

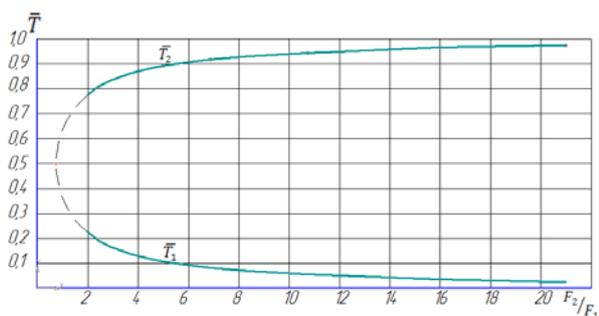


Рис. 4. Распределение усилий между стенкой трубопровода $\bar{T}_2 = \frac{T_2}{T}$ слоями углеродной ткани $\bar{T}_1 = \frac{T_1}{T}$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Перов, С.Н.* Обеспечение надёжности трубопроводных систем / *С.Н. Перов, С.И. Аграфенин, Ю.В. Скворцов, Ю.Л. Тарасов.* – Самара: ООО «Изд-во СНЦ РАН», 2008. 246 с.
2. *Кочетов, В.И.* Эффективность применения композитных муфт МК-1 при восстановлении работоспособности участков газопроводов с трещинами и стресс-коррозионными дефектами / *В.И. Кочетов, А.Д. Никоненко, С.Н. Дмитроченко* и др. // Известия Самарского научного центра РАН. 2013. Т. 15, №4(2). С. 460-464.
3. *Тарасов, Ю.Л.* Распределения напряжений в стенках трубопроводах при коррозионных повреждениях / *Ю.Л. Тарасов, О.В. Хвостюк* // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. №4(3). С. 702-706.

APPLICATION THE COMPOSITE MATERIALS FOR REPARATION THE PIPELINE SYSTEMS OPERATIONAL CAPABILITY

© 2014 Yu.L. Tarasov¹, V.I. Kochetov², M.A. Khorobrykh¹

¹ Samara State Aerospace University

² JSC “PodvodGazenergoservis”, Moscow oblast

Constructional facilities such as different clutches for operational capability reparation of pipeline systems sections with constructional, technological or operational defects are examined. The operation of these facilities is analyzed in the paper.

Key words: *gas pipeline, corrosion and erosion destruction, clutch, carbon filament*

Yuriy Tarasov, Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Aerospace Mechanical Engineering. E-mail: proch@ssau.ru, Vladimir Kochetov, Deputy Director Mikhail Khorobrykh, Student