УДК 621.64:539.4+62-192

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОЗИТНЫХ МУФТ МК-1 ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ УЧАСТКОВ ГАЗОПРОВОДОВ С ТРЕЩИНАМИ И СТРЕСС-КОРРОЗИОННЫМИ ДЕФЕКТАМИ

© 2013 В.И. Кочетов[1], А.Д. Никоненко[1], С.Н. Дмитроченко[1], Ю.Л. Тарасов[2], В.А. Мехеда[2], О.В. Хвесюк[2]

[1] ООО «Подводгазэнергосервис», Московская область
[2] Самарский государственный аэрокосмический университет

Поступила в редакцию 19.04.2013

В статье приводится описание композитной муфты МК-1 как ремонтного средства восстановления работоспособности участков газопроводов, имеющих различные дефекты – конструктивно-технологические или эксплуатационные. Приводятся результаты испытаний, показывающие эффективность муфт.

Ключевые слова: *композитная муфта, газопровод, циклические нагружения, разрушение, тензорезистор*

В настоящее время, при проведении ремонтно-восстановительных работ на линейной части магистральных трубопроводов основным методом ремонта недопустимых дефектов стенок труб является вырезка участка (или целой) трубы. Данный метод весьма трудоёмок и связан с большими трудовыми и материальными ресурсами. В условиях острого финансового дефицита, а также неизбежного старения парка действующих газопроводных систем, возникает необходимость поиска новых надёжных и относительно дешёвых способов ремонта магистральных трубопроводов. Для решения этой проблемы специалистами ООО «ВолгаУрал-Спецстрой» была предложена композитная муфта МК-1, предназначенная для ремонта участков газопровода с дефектами основного металла труб, и успешно применяемая в течение ряда лет на объектах нефтяной промышленности. С целью определения возможности использования композитных муфт МК-1 на объектах ОАО «Газпром» проводились испытания трубных образцов, имеющих повреждения, как отремонтированных с помощью муфт, так и без муфт. Восемь трубных образцов были выполнены из труб с наружным диаметром D=530 мм и толщиной стенки $\delta_{ст}$ =7,5 мм.

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

Все трубные образцы имели дефекты в виде смещения кромок или поверхностные несквозные дефекты вдоль образующих участка трубы или в кольцевом направлении. Характеристики трубных образцов приведены в табл. 1. Принципиальная схема испытательных стендов представлена на рис. 1. Имитаторы дефектов: в образцах 1, 2, 5, 6 имелись несквозные поверхностные дефекты в кольцевом сварном шве трубного образца, как изображено на рис. 2. Образцы 3, 4, 7, 8 имели поверхностные дефекты формы шва (смещение кромок). Смещение кромок для образцов 3 и 4 составляло 40% от

Кочетов Владимир Иванович, заместитель директора ИАЦ «Дюкер»
Никоненко Антон Дмитриевич, генеральный директор. E-mail: pges@gazvyaz.ru
Дмитроченко Сергей Николаевич, заместитель директора
Тарасов Юрий Леонидович, доктор технических наук, профессор кафедры космического машиностроения. E-mail: proch@ssau.ru
Мехеда Виллий Андреевич, кандидат технических наук, доцент кафедры космического машиностроения
Хвесюк Олег Вячеславович, заведующий учебной лабораторией кафедры космического машиностроения

толщины стенок, а в образцах 7 и 8 такой дефект сварного шва, как смещение кромок, составляло 100% от толщины стенок. На рис. 3 показана схема сборки и сварки трубных образцов 7 и 8 при таком смещении.

Таблица 1. Характеристики трубных образцов

Характеристики	Трубные образцы							
	1	2	3	4	5	6	7	8
имитатор дефекта – смещение кромок	–	–	+	+	–	–	+	+
имитатор дефекта – поверхностный несквозной разрез	+	+	–	–	+	+	–	–
наличие муфты	–	+	–	+	–	+	–	+
максимальное отнулевое давление при циклических испытаниях, МПа	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4

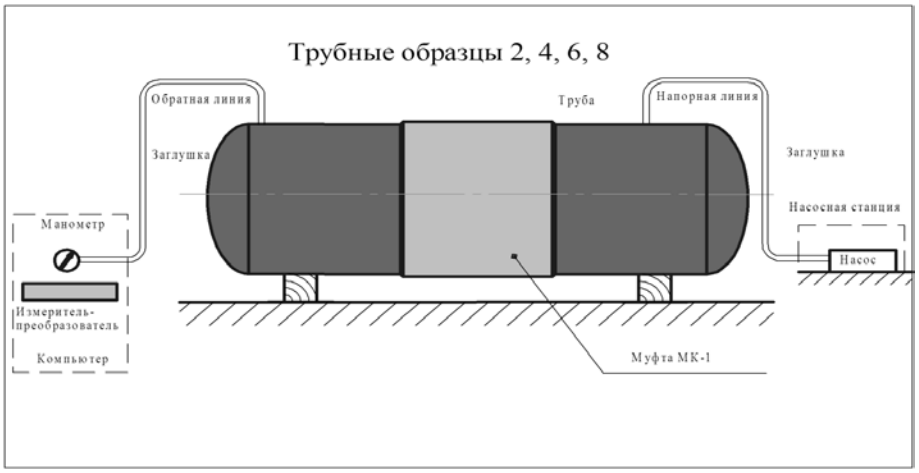

Рис.1. Принципиальная схема гидравлических стендов

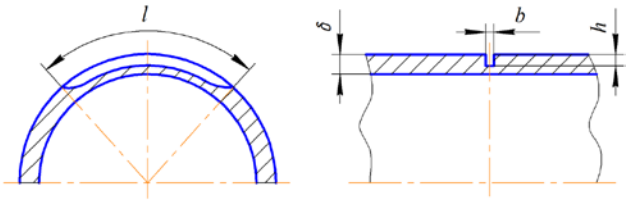

Рис. 2. Дефект на трубных образцах 1, 2, 5, 6 – несквозной пропил в кольцевом сварном шве

В процессе испытаний все трубные образцы полностью заливались водой. С помощью насоса производилось циклическое нагружение. Общее количество отнулевых циклов для каждого образца составляло 450 циклов. Внутреннее давление при этом изменялось от нулевого значения до рабочей величины $P_{раб}$ =5,4 МПа. По окончании гидравлических испытаний трубных образцов поочерёдно были проведены их статические испытания до разрушения.

Деформации трубных образцов в заданных точках измерялись тензорезисторами. Использовались прямоугольные трёхэлементные розетки, поскольку направление главных напряжений в трубе известно. Схема прямоугольной розетки приведена на рис. 4. Принята следующая нумерация тензорезисторов в розетке в зависимости от направления установки:

– первый тензорезистор – в продольном направлении трубного образца;

– второй тензорезистор – под углом 45° к продольному направлению;

– третий тензорезистор – в окружном направлении.

Использовались фольговые тензорозетки фирмы ZEMIC типа BE120-4CA(11) с базой тензорезисторов 4 мм, номинальным сопротивлением 120 Ом, коэффициентом тензочувствительности 2,1. Тензорезисторы термокомпенсированы по стали. Показания тензорезисторов фиксировались измерительной тензометрической станцией СИИТ-3, имеющей 100 измерительных каналов. С целью получения надёжных результатов и исключения случайных отклонений на каждом уровне нагрузки измерения проводились трижды и результаты измерений осреднялись.Для прямоугольной трехэлементной розетки угловые направления датчиков относительно продольной оси трубы имеют следующие значения $\alpha=0°$, $\beta=45°$, $\gamma=90°$. Для вычисления деформации сдвига использовалось следующее выражение

$$\gamma_{xy} = 2\varepsilon_{\beta} - \varepsilon_{\alpha} - \varepsilon_{\gamma}.$$

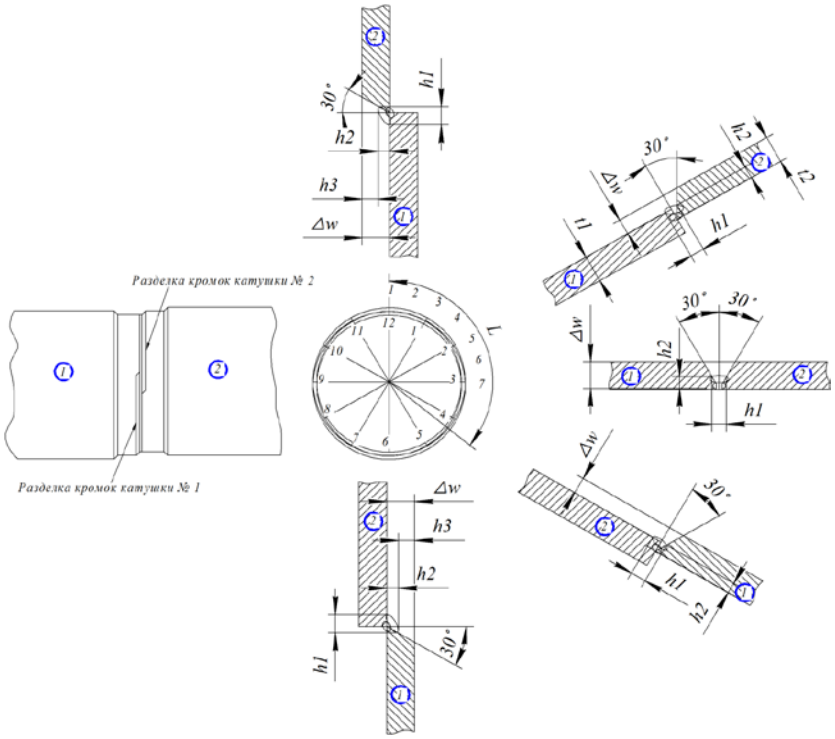

Рис. 3. Схема сборки и сварки трубных образцов 7 и 8

Угол, определяющий направление главных деформаций относительно продольной оси x тензорозетки (α=0º) определялся из уравнения

$$tg2\alpha = \frac{\varepsilon_{xy}}{\varepsilon_x - \varepsilon_y} = \frac{2\varepsilon_\beta - \varepsilon_\alpha - \varepsilon_\gamma}{\varepsilon_\alpha - \varepsilon_\gamma}.$$

После расчёта значений главных деформаций ε_1 и ε_2 определялись главные нормальные и эквивалентное напряжения в точке по формулам:

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

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

$$\sigma_{\text{экв}} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1\sigma_2}.$$

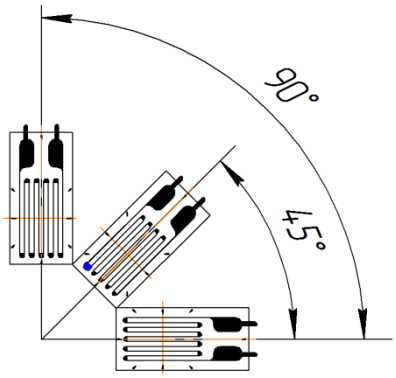

Рис. 4. Прямоугольная трехэлементная розетка

В итоге для каждой точки измерений получаем величины деформаций и параметры НДС. В результате измерений при испытаниях трубных образцов на малоцикловую усталость было установлено, что амплитуды деформаций не меняются от первых циклов к следующим вплоть до 450-го цикла. Таким образом, процессы, происходящие в металле трубных образцов при малоцикловой усталости, не повлияли на НДС в точках измерения. Ниже приводятся результаты распределения напряжений для тензорозеток 1-10, расположенных по образующей, т.е. вдоль оси трубного образца 4. Схема установки тензорозеток на трубный образец 4 приведена на рис. 5. Графики распределения напряжений по длине образующей трубного образца 4 представлены на рис. 6. Начало координат совпадает с местом расположения кольцевого сварного шва, соединяющего два участка трубного образца. На рис. 7 приведена фотография места разрушения трубного образца 4. Как видно, разрушение произошло на удалении от муфты, которая закрывала дефект кольцевого сварного шва. При выполнении сварного шва допущено смещение кромок, составляющее 40% от толщины стенки трубопровода. Максимальное значение внутреннего избыточного давления при разрушении составило p_{max} =9,8 МПа. При этом отношение максимального давления к рабочему составило

$$\frac{p_{max}}{p_{\text{раб}}} = \frac{9{,}8}{5{,}4} = 1.81$$

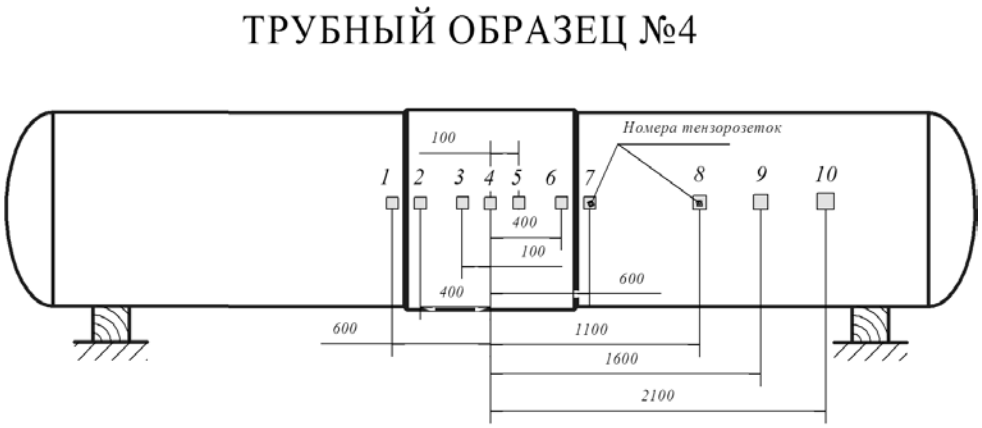

Рис. 5. Координаты точек на поверхности трубного образца 4, отсчитываемые от середины муфты

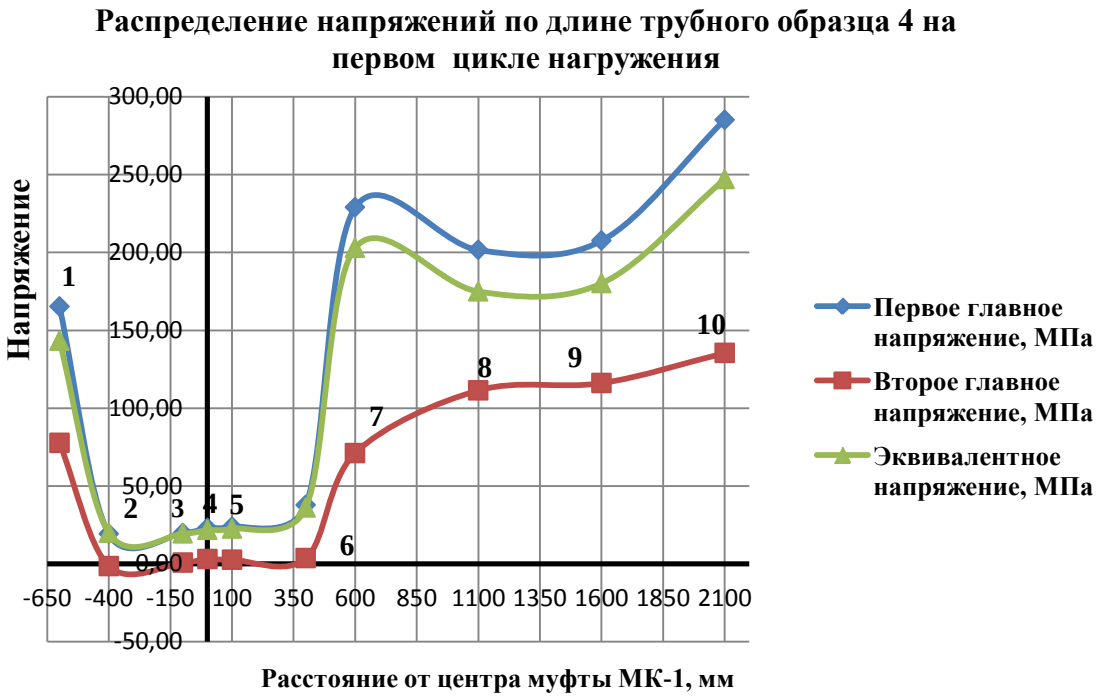

Рис. 6. Распределение напряжений по длине трубного образца 4

Рис. 7. Место разрушения

Зона разрушения в нашем случае находится в непосредственной близости от врезки патрубка, к которому присоединялся трубопровод, подводящий воду перед испытаниями, кроме того, приварены ещё два технологических патрубка. Эти подключения, необходимые для проведения испытаний, в значительной мере способствовали началу разрушения. Испытания остальных трёх трубных образцов с муфтами до разрушения подтвердили, как и в рассмотренном случае, что возможно восстановление работоспособности трубопровода с помощью установки муфт. Зона разрушения при испытании трубных образцов 2, 6 и 8 располагалась, как и в случае с образцом 4, на достаточном удалении от муфт, закрывающих при ремонте дефектную зону.

Выводы: в процессе проведения циклических испытаний трубных образцов с дефектами, отремонтированных муфтой МК-1, было произведено 450 отнулевых циклов нагружения до рабочего давления 5,4 МПа. Трубные образцы испытания выдержали. Течей, трещин и разрывов основного металла обнаружено не было. Нанесённые дефекты, согласно эксперименту, не оказывают существенного состояния на распределение параметров НДС. Испытания трубных образцов с дефектами, отремонтированных муфтой, до их разрушения после циклических испытаний показали существенный запас прочности по давлению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. СТО Газпром 2-3.5-354-2009. Порядок проведения испытаний магистральных трубопроводов в различных природно-климатических условиях.
2. *Перов, С.Н.* Обеспечение надёжности трубопроводных систем / *С.Н. Перов, С.И. Аграфенин, Ю.В. Скворцов, Ю.Л.Тарасов.* – Самара: ООО «Издательство СНЦ», 2008. 246 с.

EFFECTIVENESS OF USING THE MK-1 COMPOSITE BOXES AT RESTORATION THE WORKING CAPACITY OF GAS PIPELINE PARTS WITH CRACKS AND STRESS-CORROSION DEFECTS

© 2013 V.I. Kochetov[1], A.D. Nikonenko[1], S.N. Dmitrochenko[1], Yu.L. Tarasov[2], V.A. Mekheda[2], O.V. Hvesyuk[2]

[1] JSC “Podvodgazenergoservis”, Moscow region
[2] Samara State Aerospace University

The description of MK-1 composite box as repair tool of gas pipeline parts having various defects – design and technological or operational is provided in article. The test data showing the effectiveness of boxes are provided.

Key words: *composite box, gas pipeline, cyclic loadings, destruction, resistance strain gage*

Vladimir Kochetov, Deputy Director of IAC “Dyuker”
Anton Nikonenko, General Director. E-mail: pges@gazvyaz.ru
Sergey Dmitrochenko, Deputy Director
Yuriy Tarasov, Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Space Mechanical Engineering. E-mail: proch@ssau.ru
Villiy Mekheda, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Space Mechanical Engineering
Oleg Hvesyuk, Manager of the Educational Laboratory at the Department of Space Mechanical Engineering