

ОЦЕНКА СИЛОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕМОНТА ЛОКАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫМИ МУФТАМИ С РЕЗЬБОВОЙ ЗАТЯЖКОЙ

EVALUATING THE EFFECTIVE STRENGTH OF THREADED-TIGHT FIBER-GLASS PLASTIC SLEEVES USED FOR LOCAL SURFACE DEFECTS' REPAIR

УДК 622.691.4.004.67.678.7.001.4

А.М. ШАРЫГИН

д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник,
филиал ООО «Газпром ВНИИГАЗ» в г. Ухта
специалист 2 категории, филиал ООО «Газпром ВНИИГАЗ»
канд. техн. наук, начальник отдела, ООО «Газпром трансгаз Ухта»

Ухта
kashuba.m@yandex.ru

**М.И. КАШУБА
С.В. РОМАНЦОВ**

A.M. SHARYGIN

Dr. Sc. (Eng.), Lead Researcher, Gazprom VNIIGAZ LLC
Ukhta Branch Office
2nd Category Specialist, Gazprom VNIIGAZ LLC Ukhta Branch Office
Cand. Sc. (Eng.) Head of Department, Gazprom Transgaz Ukhta LLC

Ukhta

M.I. KASHUBA
S.V. ROMANTSOV

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

Ремонтная стеклопластиковая муфта, силовая эффективность муфты, контактное давление, предельное давление, поверхностные дефекты труб

KEYWORDS:

Fiber-glass plastic repair sleeve, sleeve effective strength, contact pressure, pressure limit, pipe surface defects

Рассмотрен вопрос оценки силовой эффективности ремонта локальных поверхностных дефектов труб стеклопластиковыми муфтами с резьбовой затяжкой. Приведены результаты экспериментальных исследований, проведенных на трубном образце с нанесенным искусственным дефектом. Выполнен расчет предельного давления для трубы с продольным трещиноподобным дефектом.

The effective strength of threaded-tight fiber-glass plastic sleeves used for local surface defects' repair is evaluated. The results of experimental tests carried out on a pipe test sample having the artificial defect are shown. Pressure limit for a pipe with longitudinal crack-like defect is calculated.

Широкое применение ремонтных стеклопластиковых муфт (PCM) для восстановления эксплуатационной надежности линейных участков газопроводов с поверхностными дефектами обусловлено небольшой трудоемкостью, относительной простотой монтажа на трубе, отсутствием сварочных работ и, кроме того, при

их установке не требуется громоздкое и тяжелое оборудование. Все это сделало ремонт с применением PCM безопасным и экономически выгодным в сравнении с традиционными способами ремонта на основе сварки.

Нормативной основой для применения стеклопластиковых муфт явились

технические условия на РСМ с изменением № 1 и разработанный предприятием ООО «Газпром трансгаз Ухта» совместно с филиалом ООО «Газпром ВНИИГАЗ» в г. Ухта СТП 8828-168-04 «Методы ремонта дефектных участков газопроводов диаметром 1020 – 1420 мм стеклопластиковыми муфтами с резьбовой затяжкой».

Созданию стандарта предприятия предшествовали большой объем полигонных и натурных испытаний при эксплуатационных нагрузках, при циклическом воздействии давления количеством до 500 циклов, испытания при разрушающих нагрузках, стендовые испытания (количеством до 11,5 тысяч циклов).

Полученные результаты доказали надежность ремонта муфтами с резьбовой затяжкой разнообразных поверхностных дефектов, в том числе и самой опасной их разновидности – стресс-коррозионных поражений металла, а именно трещиноподобных дефектов и стресс-коррозионных трещин продольной ориентации. Параллельно с испытаниями муфт РСМ велась разработка разрешительных и сертификационных документов, а в 2009 г. разработан СТО Газпром 2-2.3-335-2009 «Инструкция по ремонту дефектных участков трубопроводов стеклопластиковыми муфтами с резьбовой затяжкой» [1].

Научно-технический уровень созданных металлостеклопластиковых муфт подтвержден семью патентами на изобретения и полезные модели, кроме того, муфты и ►



Рис. 1. Трубный образец с двумя вплотную установленными муфтами

компьютерные презентации по их применению демонстрировались на 12 московских Международных выставках, семинарах, форумах. Отмеченные достоинства и простота монтажа стеклопластиковых муфт инициировали их широкое применение. Так, к июню 2010 г. при ремонте дефектных участков на газопроводах ОАО «Газпром» установлено более 800 муфт РСМ.

Отремонтированный участок газопровода должен обеспечить определенный срок безаварийной эксплуатации, длительность которого обусловлена силовой эффективностью установленной муфтовой конструкции и степенью деструктивного влияния дефекта на прочность трубы. Как правило, влияние дефектов определяется значениями коэффициента концентрации напряжений, которые определены для типовых видов поражений металла газопроводов. Так, например, каверна в виде полусферы на поверхности трубы создает коэффициент концентрации напряжений, определяемый по формуле [2]

$$\alpha = 1 + 2 \cdot t / \delta$$

где t – глубина каверны, м; δ – толщина стенки трубы, м.

Для вытянутых трещин и трещиноподобных дефектов продольной ориентации на поверхности цилиндрической оболочки коэффициент возрастания уровня напряжений в стенке трубы за счет таких дефектов определяется значением геометрической функции [3]

$$\Phi(A, L) = \frac{(1 - t/\delta)}{[1 - t/(\delta \cdot M)]}$$

где A – площадь продольного сечения дефекта, м²; L – длина дефекта в продольном направлении, м; $t = A/L$ – средняя глубина дефекта, м; δ – толщина стенки трубы, м; $M = \sqrt{1 + 0,31 \cdot L^2 / (R\delta)}$ – коэффициент Фолиаса; R – радиус внешней поверхности трубы, м.

Следует отметить, что в работах часто используется полудлина дефекта – $\ell = L/2$, и числовой коэффициент при этом станет равным 1,24, однако в ряде статей используют число 1,6 или 1,61, т. е. вводится дополнительная перестраховка за счет завышения коэффициента уровня напряжений.

При известном коэффициенте возрастания уровня напряжений значение предельного давления для трубы с продольным трещиноподобным дефектом определяют по формуле

$$P_{np} = \Phi(A, L) \frac{\sigma_B \cdot \delta}{(R - \delta)} \quad (1)$$

где σ_B – предел прочности трубной стали, МПа.

Оценку силовой эффективности стеклопластиковой муфты с резьбовой затяжкой выполним на основе решения задачи Ляме для стальной трубы с полимерной обечайкой.

Для радиальных перемещений точек контакта муфты с трубой можно записать [4]

$$\frac{b}{E} \left[\frac{2p_a}{R_1^2 - 1} - \frac{p_k(R_1^2 + 1)}{R_1^2 - 1} + \mu p_k \right] = \quad (2)$$

$$\left[= \frac{b}{E_{II}} \left[p_k \frac{R_2^2 + 1}{R_2^2 - 1} + \mu_{II} p_k \right] - \Delta U \right]$$

где $R_1 = b/a$; $R_2 = c/b$; a – радиус внутренней поверхности стальной трубы, м; b – наружный радиус стальной трубы и внутренний радиус полимерной обечайки, м; c – наружный радиус полимерной обечайки, м; E, μ – модуль упругости и коэффициент Пуассона стальной трубы, МПа; E_{II}, μ_{II} – окружной модуль упругости и коэффициент Пуассона полимерной обечайки, МПа; p_a – внутреннее давление в трубе, МПа; p_k – контактное давление полимерной обечайки на трубу, МПа; ΔU – радиальные перемещения точек внутренней поверхности полимерной обечайки за счет деформаций

полотна муфты, создаваемых болтовой затяжкой.

Радиальные перемещения точек контактной поверхности полимерной обечайки, соответствующие сокращению периметра обечайки при затяжке болтов, в случае отсутствия внутреннего давления определяются из соотношения

$$\Delta U = \frac{p_{km} b}{E_n} \left[\frac{(R_2^2 + 1)}{(R_2^2 - 1)} + \mu_{II} \right] \eta = \quad (3)$$

$$\left[= \frac{Q_{sum}}{\xi_{d_b} b} \frac{b}{E_n} \left[\frac{(R_2^2 + 1)}{(R_2^2 - 1)} + \mu_{II} \right] (1 - f) \right]$$

где $p_{km} = \frac{Q_{sum} \eta}{l_{ob} b}$ – контактное давление на трубу полимерной обечайки при затяжке болтов, МПа; $\eta = (1 - f)$ – коэффициент учета сил трения полотна по трубе; f – коэффициент трения полотна муфты по трубе; l_{ob} – размер обечайки муфты вдоль оси трубопровода, м; $Q_{sum} = \frac{nM_{зат}}{\xi_{d_b}}$ – усилие затяжки за счет всех болтов в разьеме, МН; n – количество болтов в разьеме; $M_{зат}$ – момент затяжки болта, МН·м; ξ – коэффициент трения в резьбе; d_b – диаметр болта, м.

Введем обозначение

$$RE = \left[\frac{R_1^2 - 1}{R_1^2 - 1} (R_2^2 + 1) + \mu_{II} (R_2^2 - 1) \right] \frac{E}{2E_{II}}$$

тогда соотношение (2) после подстановки формулы (3) и преобразований примет вид:

$$p_a - \frac{1}{2} \left[R_1^2 + 1 - \mu (R_1^2 - 1) \right] p_k = RE \cdot p_k - RE \frac{nM_{sum}(1 - f)}{\xi_{d_b} l_{ob} b}$$

Решая полученное уравнение относительно значения контактного давления, получаем:

$$p_k = \frac{p_a + [RE \cdot nM_{sum}(1 - f)] / \xi_{d_b} l_{ob} b}{0,5 \left[R_1^2 + 1 - \mu (R_1^2 - 1) \right] + RE} \quad (4)$$

Учитывая, что трубы, применяемые для транспорта нефти и газа, геометрически задаются размером внешнего диаметра D_H и толщиной стенки трубы δ , для значений радиусов и введенных параметров получаем:

$$a = 0,5(D_H - 2\delta); \quad b = 0,5D_H;$$

$$c = 0,5(D_H + 2\delta_M)$$

$$RE \approx \frac{\delta}{\delta_M} \frac{D_H + 2\delta_M}{D_H - 4\delta_M};$$

$$RF = 0,5 \left[R_1^2 + 1 - \mu (R_1^2 - 1) \right] \approx 1 + \frac{2\delta(1 + \mu)}{D_H - 4\delta}$$

Отметим, что последние два соотношения выполняются приближенно, для труб с параметром $\gamma = 2\delta / D_H \leq 0,03$ значение погрешности не превышает 2 – 3 %. Подстановка полученных соотношений в формулу (4) преобразовывает ее в приближенную, но с достаточной для практики точностью, относительно несложную зависимость для определения значения контактного давления полотна на трубу при затянутых болтах: ►



Рис. 2. Сквозная трещина и выпавший из дефекта фрагмент заполимеризовавшегося заполнителя после демонтажа муфт

$$P_k = \frac{P_a + [RE \cdot nM_{зам}(1-f)] / \xi d_b \ell_m b}{RF + RE} \quad (5)$$

Возникающий в процессе эксплуатации дефект приводит к росту уровня напряжений в стенке трубы. Снижение напряжений обеспечивается установкой муфты РСМ. Значение предельного давления для трубы с дефектом после усиления муфтой может быть найдено из соотношения

$$P_{np}^m = (p_{np} + p_k) \cdot (1 + \gamma \frac{E_{II} \cdot \delta_m}{E\delta}) - p_d \gamma \frac{E_{II} \delta_m}{E\delta},$$

где p_{np} – предельное давление для трубы с протяженным поверхностным дефектом, МПа; p_k – контактное давление муфты на трубу при затянутых болтах, МПа; $\gamma = \gamma_1 \cdot K_p$ – коэффициент, учитывающий условия закрепления трубы и характер распределения контактного давления; $\gamma_1 = 1 - 0,5\mu$ – для трубы с днищами на торцах, $\gamma_1 = 1 - \mu^2$ – для трубопровода с полным заземлением; $K_p = 1 - [1 + e^{-\beta(\sin\beta - \cos\beta)}] / (2\beta)$ – коэффициент учета неравномерности контактного давления; $\beta = 0,4653 \ell_m \sqrt{(1 - \mu^2) / (D_o^2 \delta^2)}$ – амерт трубной оболочки; p_d – давление в трубопроводе при установке муфты, МПа.

Апробацию предложенной методики выполнили по результатам предельного нагружения трубного образца сечением 1020×14 мм, прошедшего стадию стендовых испытаний циклической нагрузкой с количеством циклов $N_{ц} = 11500$ в режиме 0 – 7,4 – 0 МПа [5]. Предельное нагружение для трубного образца было выполнено впервые для двух вполтную установленных стеклопластиковых

муфт. Для этого на поверхность трубного образца нанесли длинный несквозной надрез размерами $\ell \cdot b \cdot t_{cp}$, где длина $\ell = 540$ мм, ширина $b = 3,5$ мм, средне-взвешенная глубина $t_{cp} = 9,044$ мм при диапазоне изменения глубины от 3,8 до 10,8 мм. Затем после зачистки и обезжиривания кольцевой зоны шириной 650 мм и нанесения тонкого слоя ремонтной пасты «Монолит +» установили вплотную друг к другу две РСМ-1020 (рис. 1). После завершения процесса полимеризации ремонтной пасты приступили к подъему давления, который завершился при $p_{np} = 11,77$ МПа разрушением дефекта по дну надреза с образованием сквозной трещины, что сопровождалось выбросом воды из-под полотна муфт (рис. 2). Отметим, что муфты сохранили свою целостность. Среднее значение момента затяжки болтовых соединений муфты (M24) составило $M_{зат} = 600$ Нм, толщина полотна муфты $\delta_m = 12$ мм, коэффициент трения в резьбе $\xi = 0,2$, а полотна муфты по трубе $f = 0,28$, коэффициент условий закрепления трубы $\gamma_1 = 0,85$, давление в трубном образце при установке муфт $p_d = 1 \text{ атм} \approx 0,1$ МПа. После подстановки числовых значений параметров в соотношение (4) для контактного давления получаем $p_k = 1,82$ МПа. Тогда расчетное значение предельного давления находится по формуле (5) и составит $p_{np} = 11,2$ МПа, что удовлетворительно согласуется с фактическим значением разрушающего давления.

Таким образом, предлагаемая методика расчета силовой эффективности

муфтового ремонта трубной конструкции с поверхностным дефектом обеспечивает вполне адекватную оценку степени восстановления его несущей способности. ■

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

- СТО Газпром 2-2.3-335-2009. Инструкция по ремонту дефектных участков трубопроводов стеклопластиковыми муфтами с резьбовой затяжкой. – Введ. 27.04.2009. – М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2009. – 39 с.
- Никитин А.А., Прокофьева Г.В., Рождественский В.В., Черный В.П. Оценка степени влияния дефектов стенок труб на снижение прочности магистральных трубопроводов. – М.: ВНИИСТ, 1982. – 256 с.
- СТО Газпром 2-2.3-112-2007. Методические указания по оценке работоспособности участков магистральных газопроводов с коррозионными дефектами. – Введ. 28.08.2007. – М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2007. – 60 с.
- Никольс Р. Конструирование и технология изготовления сосудов давления: Пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1975. – 464 с.
- Шарыгин А.М., Тильков А.Н., Зорин В.В. Стендовые испытания муфтовых конструкций для ремонта магистральных газопроводов, подверженных КРН // Севергазпром. Стратегия инноваций и научного поиска: науч.-техн. сб. В 2 ч. Ч. 2 – Ухта: Филиал ООО «ВНИИГАЗ» – «Севернипипгаз», 2007. – С. 149-160.

МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ НЕФТЕГАЗОВОГО НАЗНАЧЕНИЯ

DESIGN AND OPTIMIZATION METHODS OF TECHNOLOGICAL PROCESSES HARDENING OF THE PRODUCTS OF OIL-AND-GAS PURPOSE

УДК 621.833

М.В. ПЕСИН
В.Ф. МАКАРОВ
Е.Д. МОКРОНОСОВ

к.т.н., доцент кафедры «Технология машиностроения» ПНИПУ
д.т.н. профессор
д.т.н. профессор

Пермь
M.Pesin@mail.ru

M.V. PESIN

Dr. Sci. Tech., Senior lecturer, State National Research Polytechnical University of Perm, Deputy Director CJSC Trading house PKNM (Perm Oil Engineering Company)

Perm

V.F. MAKAROV
E.D. MOKRONOSOV

Dr. Sci. Tech., Professor
Dr. Sci. Tech., Professor

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

Азотирование, упрочнение, азотирование, скважинный штанговый насос, переводники, высокомоментные резьбовые соединения

KEYWORDS:

Nitriding, hardening, subsurface sucker rod pump, subs, high-torque threaded connections

Разработаны процессы управления напряженно-деформированным состоянием длинномерных цилиндров в ходе их обработки, включающей термообработку, правку поперечным изгибом, растачивание, хонингование отверстий, позволяющие достигать непрямолинейности в пределах 0,1 мм на 1 м длины после завершающей операции ионно-вакуумного азотирования в импульсной плазме без дополнительной обработки. Разработаны технологические процессы упрочнения высоконагруженных резьбовых поверхностей соединительных переводников буровых и насосно-компрессорных труб ионно-вакуумным азотированием в импульсной плазме, увеличивающие, в том числе за счет создания новых высокомоментных резьбовых соединений, ресурс их работы в 3...5 раз.

There are developed

transverse (3 7/25 ft) length after the complete operation of ionic-vacuum nitriding in pulse plasma without further processing. There are elaborated technological processes

increasing their operational life (also due to creating new high-torque threaded connections) by 3 ... 5 times.

