

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

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;  $\beta = 0,4653 \ell_m \sqrt{(1 - \mu^2) / (D_o^2 \delta^2)}$  – диаметр 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 в плотную 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.



ЗАО «Пермская компания нефтяного машиностроения» широко освоило применение различных методов упрочнения деталей машин: газопламенное напыление с оплавлением, плазменное напыление, сверхзвуковое напыление, оплавление ТВЧ напылённого слоя, хромирование, кадмий-хромирование, химическое никель-фосфорное покрытие, фосфатирование, ионно-вакуумное азотирование.

Использование данных методов позволяет промышленному предприятию производить качественную и конкурентоспособную продукцию с повышенным ресурсом, например, увеличены эксплуатационные свойства упрочнённых азотированием сталей 38Х2МЮА, 07ХЗГНМ, 15Х2ГМФ, а именно: коррозионная и абразивная стойкость поверхности канала цилиндра плунжерной пары скважинного штангового насоса (СШН) для добычи нефти. Так в условиях отдалённых месторождений увеличен ресурс работы с 2-4 месяцев до 1 года и более.

Параметры модернизированной установки ионного азотирования значительно превышают предыдущие значения.

Следует отметить, что установка ионного азотирования позволяет производить бездеформационное упрочнение рабочих поверхностей деталей, например, при традиционном азотировании прямолинейность оси длинномерных цилиндров выше допустимых величин, и последующее исправление непрямолинейности правкой изгибом и хонингованием приводит к разрушению (образованию трещин) или удалению упрочнённого слоя.

Увеличен ресурс работы высоконагруженных резьбовых соединений буровых труб и соединительных переводников. Применяемые средства защиты резьбы фосфатированием, меднением не обеспечивают требуемой защиты от износа, в том числе адгезионного.

Разработанный ЗАО «Пермская компания нефтяного машиностроения» (ЗАО «ПКНМ») технологический процесс ионно-вакуумного азотирования в импульсной плазме сталей 38Х2МЮА (38ХМЮА), 07ХЗГНМ, 15Х2ГМФ увеличивает, в сравнении с традиционными методами, толщину нитридного слоя на внутренней поверхности цилиндров до 10...15 мкм, твердость упрочнённого слоя на поверхности 1000...1200 НВ и на глубине от поверхности 0,127 мм не менее 446 НВ, при минимальном короблении длинномерных деталей в результате изменения их напряжённого состояния.

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 1м длины после завершающей операции ионно-вакуумного азотирования в импульсной плазме без дополнительной обработки.

Изготовлены опытно-промышленные партии переводников УБТ, ВБТ, ТБТ и НКТ, проводятся их испытания.

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.

Проведены научно-исследовательские работы по ионно-вакуумному азотированию замковых резьб УБТ, ВБТ, ТБТ.

Изготовлены опытно-промышленные партии и проводятся испытания азотированных роторов винтовых забойных двигателей.

Для изготовления плунжеров СШН используется газопламенное напыление с оплавлением.

С целью удовлетворения возросшей потребности в изготовлении нестандартного оборудования, ПКНМ организовало совместное предприятие с немецкой фирмой DELORO STELLITE по сверхзвуковому напылению деталей длиной до 11 м. На сегодня освоена технология изготовления деталей СШН для одновременной раздельной эксплуатации (ОРЭ) нескольких объектов – это плунжеры, полые штоки и др. Так в 2008 г. для башкирской нефтяной компании были изготовлены полые штоки диаметром 27 и 38 мм длиной 5000мм с повышенной износостойкостью. В 2009 изготовлены штоки диаметром 20 мм и длиной 2800 мм.

Повышение качества поверхности является важнейшей составляющей качества всей детали. Такие эксплуатационные качества как износостойкость, коррозионная стойкость, термостойкость практически полностью зависят от состояния и свойств поверхностного слоя. Процесс ионно-вакуумного азотирования в импульсной плазме в совокупности со специальной технологии подготовки поверхности как раз позволяет модифицировать поверхностный слой для получения заданных высоких параметров.

Широкий спектр материалов, которые можно эффективно обрабатывать с помощью этого метода, невысокая себестоимость, экологичность процесса позволяют говорить о его несомненной актуальности.

Одной из наиболее частых причин непланового прекращения добычи нефти и подъёма СШН является выход из строя пары цилиндр-плунжер по причине повышенного износа или задиоров. С учётом масштабов нефтедобычи, а только наша компания производит и поставляет 7-8 тыс. насосов в год, и стоимости спуска-подъёма примерно в 300 тыс. рублей,

увеличение наработки на отказ в 1,5-2 раза, которой нам удалось достичь на наших насосах, даёт значительный экономический эффект. Таких результатов удалось достигнуть с помощью ионно-вакуумного импульсного азотирования цилиндров и напыления плунжеров, в результате повышения твёрдости азотированного слоя до 1100НВ, увеличения коррозионной стойкости по сравнению с традиционной технологией обработки в 3 раза, увеличения нитридного слоя до 10...15 мкм при общей толщине азотированного слоя 0,3...0,5 мм.

Повышение качества труб УБТ в их замковой части также обеспечивает большой экономический эффект. Обрыв трубы (в большинстве случаев это связано с поломкой в замковой части трубы) приводит к возможной потере колонны буровых труб и телеметрической аппаратуры – это убытки в размере 30-40 млн. рублей. Износ резьбовых концов из-за многократных процессов свинчивания и развинчивания тоже является критичным показателем «жизнеспособности» буровой трубы. Работы по ионно-вакуумному импульсному азотированию переводников буровых труб, переводников труб НКТ позволили значительно повысить качество резьбовых концов и увеличить число циклов завинчивания – развинчивания в 3 раза.

Внедрение технологии азотирования роторов винтовых забойных двигателей и насосов может привести к увеличению износостойкости в 2 раза по сравнению с традиционным хромированием, кроме того, азотирование – экологически безопасный процесс

Таким образом, суммируя вышеизложенное, можно говорить о высокой актуальности применяемых технологий упрочнения, применяемых ПКНМ. ■

#### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Песин М.В., Мокроносов Е.Д. Скважинное оборудование для ОРЭ: разработка, внедрение, сервис, особенности изготовления СШН / Инженерная практика. №1(2).2010г
2. Песин М.В., Мокроносов Е.Д. Триботехническое упрочнение высоконагруженных поверхностей деталей и создание на этой основе производства изделий нефтегазового назначения / «Экспозиция. Нефть. Газ» №9/2010 С.8-9.
3. «Повышение эксплуатационной надёжности скважинного штангового насоса». Е.Д. Мокроносов, В.В. Богданов, М.Н. Елтышев / Химическое и нефтегазовое машиностроение», №12, 2007. С.43-44.
4. «Ионное азотирование – прогрессивная технология поверхностного упрочнения». В.В. Богданов // Передовой опыт №7, 1984;
5. «Скважинные штанговые насосы». Е.Д. Мокроносов / Удмуртия. Регион 18» №06 (0010) 2007 стр.38-39.