

УДК 621.785

Электромеханическая обработка резьбы М93х2 корпусов установок электроцентробежных насосов

Федоров Сергей Константинович ^(*)	momd@yandex.ru
Федорова Лилия Владимировна	fedorova.lv@bmstu.ru
Иванова Юлия Сергеевна	ivanovays@bmstu.ru
Хуснетдинов Тимур Рустямович	timur_bmstu_rk@mail.ru
Романова Ксения Романовна	beekcy@yandex.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Определены основные дефекты и причины износа внутренней резьбы корпусов установок электроцентробежных насосов (УЭЦН). Обосновано применение электромеханической обработки (ЭМО) для упрочнения, предварительно нарезанной на трубной заготовке из стали 22ГЮ, внутренней резьбы М93х2. Разработана схема упрочнения, приспособления и инструменты для упрочнения резьбы корпусов УЭЦН на токарно-винторезных или трубонарезных станках. Выполнены металлографические исследования структуры, глубины упрочнения и микротвердости поверхностного слоя витков резьбы после ЭМО.

Ключевые слова: резьба, износ, упрочнение, корпус установки электроцентробежного насоса, электромеханическая обработка, сталь 22 ГЮ

Electromechanical processing of M93x2 threads of electric centrifugal pump housings

Fedorov Sergey Konstantinovich	momd@yandex.ru
Fedorova Lilia Vladimirovna	fedorova.lv@bmstu.ru
Ivanova Yulia Sergeevna	ivanovays@bmstu.ru
Khusnetdinov Timur Rustyamovich	timur_bmstu_rk@mail.ru
Romanova Ksenia Romanovna	beekcy@yandex.ru

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. The main defects and causes of wear of the internal thread of the housings of electric centrifugal pump units (ESP) have been identified. The use of electromechanical treatment (EMO) to strengthen the M93x2 internal thread pre-cut on a pipe blank made of steel 22GYu is justified. A hardening scheme, devices and tools have been developed for hardening the thread of ESP housings on screw-turning or pipe-cutting machines. Metallographic studies of the structure, hardening depth and microhardness of the surface layer of thread turns after EMO were performed.

Keywords: thread, wear, hardening, electric centrifugal pump unit housing, electromechanical treatment, steel 22 GY

Введение. Основными проблемами изделий с резьбой нефтегазопромыслового оборудования являются: низкое качество изготовления резьбы, отсутствие оборудования и технологий для упрочнения резьбы на трубных базах нефтегазодобывающих компаний при ремонте, невозможность производить конкурентоспособную продукцию по критериям износостойкости, прочности, усталостной долговечности, высокая трудоемкость, энергоемкость и себестоимость ремонта технологического оборудования.

Электроцентробежная насосная установка представляет собой комплекс оборудования, предназначенный для механизированной добычи жидкости нефтяных скважин, содержащих нефть, воду, газ и механические примеси с помощью центробежного насоса, который соединен с погружным электродвигателем. Область применения установки — высокодебитные обводненные, глубокие и наклонные скважины с дебитами $10 \div 1300 \text{ м}^3/\text{сут.}$ и высотой подъема $500 \div 3500 \text{ м.}$ Межремонтный период установок в среднем составляет 300 суток и более.

Применение высококачественных конструкционных и легированных сталей, использование всевозможных технологий термической и химико-термической обработки, не помогает изготовителям обеспечивать требуемых физико-механических параметров резьбы по прочности, износостойкости, задиростойкости, усталостной долговечности.

Модуль-секция установки электроцентробежного насоса в сборе и состав насосного модуля установки электроцентробежного насоса представлена на рис. 1.

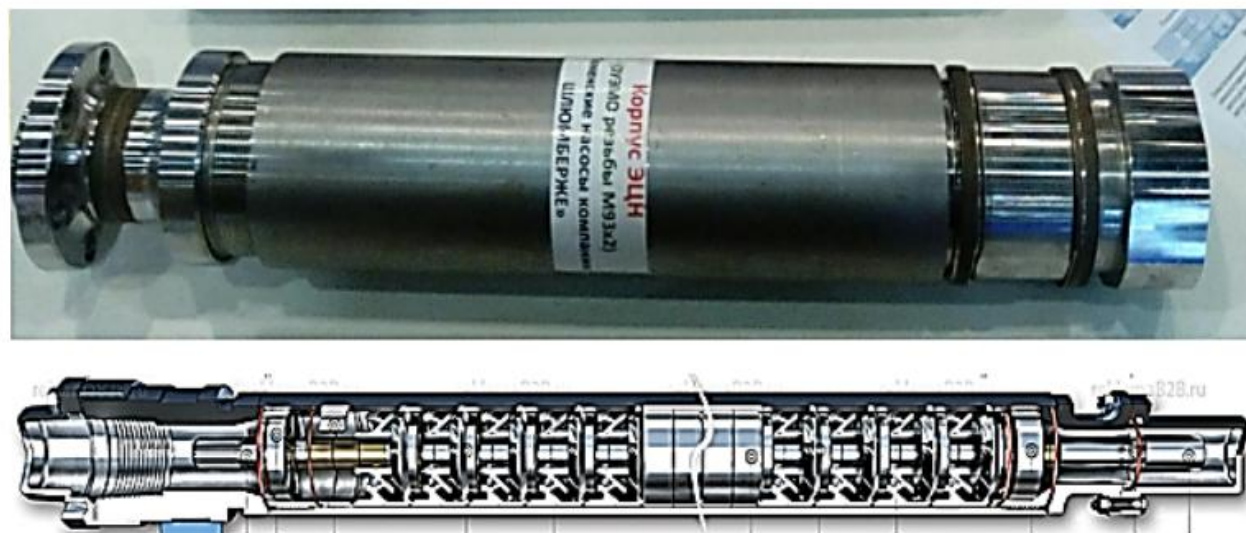


Рис. 1. Модуль-секция установки электроцентробежного насоса в сборе

Целью данной работы является повышение износостойкости и прочности внутренней резьбы М93х2 корпусов установок электроцентробежных насосов ЭМО.

Материалы и методы. Эксперименты по ЭМО образцов из стали 22ГЮ выполнены на модернизированном токарно-винторезном станке 16К20, осу-

ществляется при главных движениях — вращении образца из стали 22ГЮ с частотой вращения n и поступательном перемещении инструментального ролика с подачей равной шагу резьбы

Спектральным анализом установлено, что химический состав исследуемых образцов соответствует стали 22ГЮ ГОСТ 10705–80. Корпуса установок электроцентробежных насосов предназначаются для эксплуатации нефтяных и газовых скважин, изготавливаются по стандартам ГОСТ Р 53366, ГОСТ 31446 (переведенный в межгосударственный стандарт ГОСТ Р 53366), API 5 СТ, ГОСТ 633 и техническим условиям. Действующие нормативные материалы по изготовлению корпусов УЭЦН не предусматривают упрочнение резьбы, а ее выходной параметр по твердости находится на уровне HV 2100–2400 МПа с перлитно-ферритной структурой поверхностного слоя резьбы и основного тела трубы.

Выполнить объемную закалку резьбовых деталей крайне затруднительно, даже на специализированных предприятиях. В процессе нагрева, выдержки и охлаждения возникают дефекты окисления, обезуглероживания поверхностей, появляются микротрещины термического характера, происходит коробление деталей, а в опасных сечениях формируются растягивающие остаточные напряжения. Учитывая, что резьбовые детали являются ответственными и, зачастую, определяют безопасность и долговечность работы машины устанавливая их с вышеперечисленными дефектами запрещается.

При силовом свинчивании резьбы обеспечивается натяг в резьбовом соединении. Несоблюдение рекомендаций по эксплуатации труб могут приводить к повреждениям резьбовых соединений и авариям.

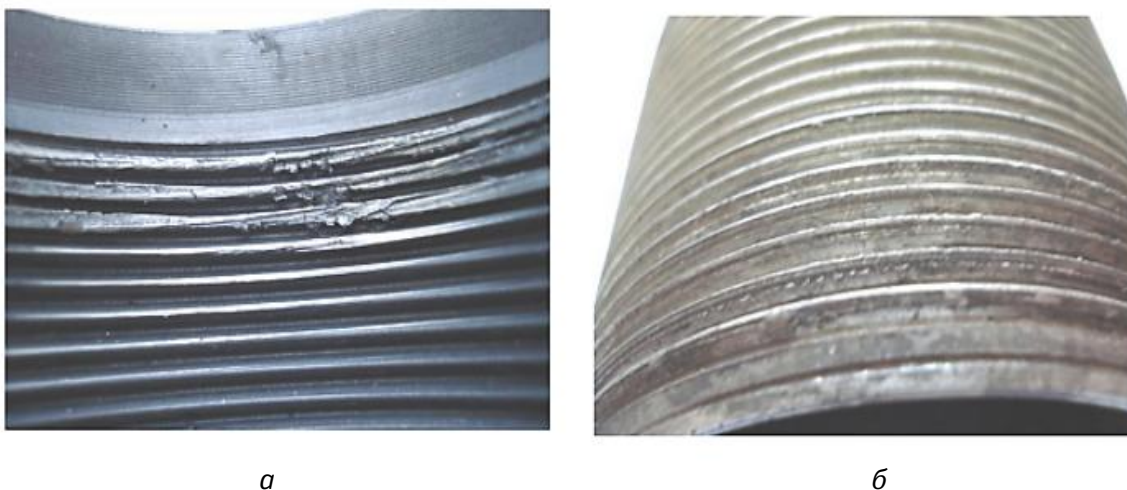


Рис. 2. Смятие на первых витках резьбы корпуса (а), основания или головке (б)

Маршрутная технология изготовления корпуса УЭЦН включает более шестидесяти технологических операций, таких как заготовительная, термическая, прессовая, редуцирование, калибровочная, резьбонарезная, гидравлические испытания, контрольная. Для изготовления корпуса используется слож-

ное и дорогостоящее оборудование, квалифицированный штат специалистов в области заготовительного и термического производства, инженерно-технические работники и станочники механической обработки резанием, специалисты отдела технического контроля.

Результаты исследований. Решить данную проблему возможно с помощью внедрения технологии электромеханической обработки резьбы нефтегазового оборудования. Электромеханическая обработка — способ повышения износостойкости, прочности и предела выносливости, который основывается на пропускании через место контакта «инструментальный ролик-резьба» электрического тока при одновременном поверхностном пластическом деформировании резьбы. Эффективность электромеханической обработки подтверждена результатами исследований [1–3], испытаний и внедрением [4–6].

Преимущества технологии электромеханической обработки:

- отсутствие обезуглероживания и окисления поверхности, связанное с тем, что термомеханический цикл «нагрев — выдержка — деформирование — охлаждение» происходит за сотые доли секунды, а сам процесс протекает только в зоне контакта, т. е. закрытой зоне;
- возможность обработки ограниченных участков без термомеханического воздействия на остальные поверхности резьбы;
- индивидуальный подход к каждой поверхности резьбы с учетом схемы нагружения и условий эксплуатации;
- возможность обработки резьбы на пустотелых и длинных нежестких деталях при минимальном уровне термического воздействия;
- высокое качество резьбовых поверхностей после обработки, однородность структуры и механических свойств по сечению и длине поверхности;
- технологическая простота, электробезопасность и экологическая чистота.

ЭМО резьбы производят после резьбонарезания (рис. 3). Профиль витков резьбы корпуса УЭЦН повторяет форму ролика в зонах, которые будут подвергнуты электромеханическому упрочнению. Форма инструментального ролика должна учитывать конструктивные и технологические особенности резьбы и процесса ЭМО.

От впадины резьбы корпусов УЭЦН до вершины инструментального ролика нужно оставить зазор 1,0–1,5 мм для подведения смазочно-охлаждающей жидкости в зону контакта ролика и витков резьбы при проведении упрочнения. Во впадинах резьбы корпусов УЭЦН располагается зона значительных остаточных напряжений, которые не подвергаются упрочнению, так как могут из-за этого возникнуть микротрещины на резьбе корпуса. Необходимо оставить зазор между вершиной ролика и впадинами зубьев.

Электрический ток вторичной цепи от установки ЭМО и силовые токоподводящие шины поступает к токоподводящему и инструментальному роликам. Ролики поджаты к поверхности заготовки и совершают вращение на оси приспособлений.

Исследование резьбы после ЭМО (рис. 4, а) свидетельствует об увеличении микротвердость поверхностного слоя с 210–230 HV до 420–460 HV. Ис-

ходная структура имеет полосчатый характер (рис. 4, б). Микроструктурная полосчатость или ориентация влияют на однородность механических свойств, определяемых при различной ориентации образцов по отношению к направлению деформации. При ЭМО резьбы в поверхностном слое образуется светлая нетравящаяся полоса «белый слой», который представляет собой бесструктурный мартенсит и аустенит остаточный.

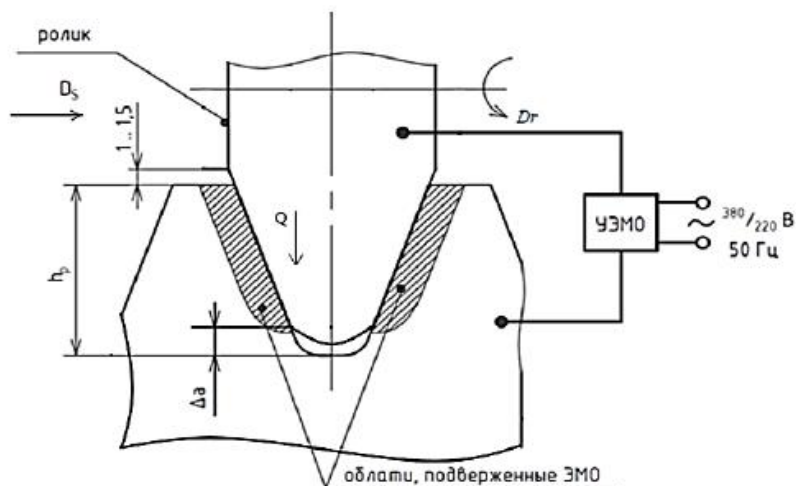


Рис. 3. Схема ЭМО резьбы корпуса УЭЦН

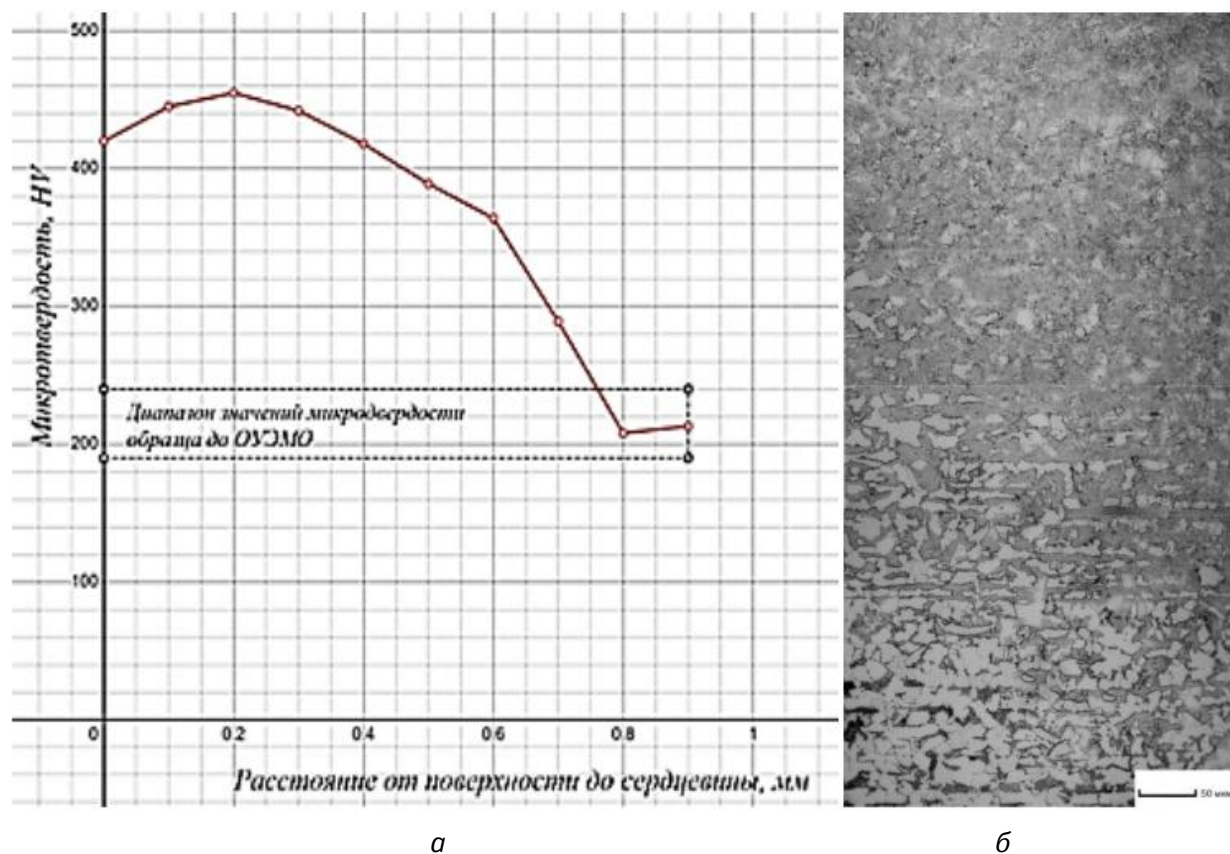


Рис. 4. Зависимость микротвердости от глубины (а) и микроструктура поверхности после ЭМО (б)

Заключение. Анализ условий эксплуатации УЭЦН и характерных дефектов резьбовых соединений «корпус — головка — основание», свидетельствует о низком качестве изготовления резьбы деталей по физико-механическим свойствам. Внутренняя резьба М93х2 корпусов УЭЦН, изготовленная на трубонарезных станках из стали 22ГЮ не подвергается упрочнению и имеет исходную твердость на уровне заготовки 210–230 HV. Основные дефекты резьбы корпусов УЭЦН — это смятие, деформирование и схватывание резьбовых соединений. Следовательно, повышение износостойкости резьбы корпусов установок электроцентробежных насосов — одна из важнейших задач основного и ремонтного производства. Разработана принципиальная схема ЭМО и технологические рекомендации упрочнения резьбы корпусов УЭЦН. Одновременное термическое и силовое воздействие инструмента на боковые поверхности витков резьбы корпусов УЭЦН позволяет увеличить микротвердость поверхностного слоя до 420–460 HV с получением мелкодисперсной мартенситной структуры. Результаты испытаний резьбовых соединений свидетельствуют о 3–5 кратном увеличении износостойкости при свинчивании-развинчивании по сравнению с продукцией производителей корпусов УЭЦН.

Список источников

- [1] Федоров С.К., Федорова Л.В., Жаренников В.С., Песин М.В., Смольский Ю.П. *Способ изготовления резьбы на детали*. Патент № 2482942 В 23G1/00 РФ, бюл. № 15, 2013.
- [2] Федоров С.К., Федорова Л.В., Иванова Ю.С., Хуснетдинов Т.Р., Гамидов А.Г., Гаврилов Д.В. *Способ изготовления резьбы на детали*. Патент № 2772341 В 23G1/00 РФ, бюл. № 14, 2022.
- [3] Федоров С.К., Федорова Л.В., Иванова Ю.С., Яковлева А.П., Зарипов В.Н., Власов М.В., Лашуков М.А. *Инструментальный узел для электромеханической обработки резьбы*. Патент № 186927 U1, бюл. № 5, 2019.
- [4] Федорова Л.В., Федоров С.К., Курамшин Ю.Н., Артемьев М.А. Отделочно-упрочняющая электромеханическая обработка резьбы насосно-компрессорных труб. *Бурение и нефть*, 2006, № 1, с. 10–12.
- [5] Федорова Л.В., Федоров С.К., Славин А.В., Иванова Ю.С., Ткаченко Ю.В., Борисенко О.В. Структура и микротвердость резьбы насосно-компрессорных труб после финишной электромеханической поверхностной закалки. *Металловедение и термическая обработка металлов*, 2020, № 2 (776), с. 58–64.
- [6] Fedorov S.K., Fedorova L.V., Ivanova Y.S., Voronina M.V. Increase of Wear Resistance of the Drill Pipe Thread Connection by Electromechanical Surface Hardening. *International Journal of Applied Engineering Research*, 2017, vol. 12, no. 18, pp. 7485–7489.