

УДК 621.7: 622.24.05

doi: 10.18698/0536-1044-2020-10-38-46

Повышение долговечности переводников бурильных колонн электромеханической обработкой

Л.В. Федорова, С.К. Федоров, Ю.С. Иванова, В.Н. Зарипов

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Improving the Durability of Drill Pipe Subs by Electromechanical Processing

L.V. Fedorova, S.K. Fedorov, Y.S. Ivanova, V.N. Zaripov

Bauman Moscow State Technical University

Увеличение долговечности переводников бурильных колонн — актуальная задача, решение которой позволит повысить эффективность работы нефтяных и газовых компаний при бурении скважин. К наиболее характерным дефектам переводников относятся износ наружного диаметра, задиры на упорном торце муфты и упорном уступе ниппеля, а также повреждение наружной и внутренней конических замковых резьб. Проведены исследования и сравнительные стендовые испытания переводников с резьбой 3-117 из стали 40X. Испытания переводников с упрочнением исполнительных поверхностей электромеханической обработкой выполнены в сравнении с базовой технологией (с закалкой и высоким отпуском) и карбонитрацией. Переводники изготовлены и упрочнены специалистами ООО «Александровский завод бурового оборудования» на модернизированном под электромеханическую обработку станке 1М63. Стендовые испытания переводников проведены в ООО «Ковровский завод бурового оборудования» на муфтонаверточном станке МС-4 при навинчивании–свинчивании резьбовых соединений по методике, учитывающей требования государственных стандартов РФ и рекомендаций Американского нефтяного института API 7. Электромеханическая обработка, являясь одним из методов упрочнения деталей концентрированным потоком электрической энергии промышленной частоты, формирует на поверхности переводников градиентные слои твердостью 52...56 HRC. Результаты испытаний на свинчивание–развинчивание резьбовых соединений с замковой резьбой подтвердили высокую эффективность способов упрочнения исполнительных поверхностей карбонитрацией и электромеханической обработкой (500 циклов и более) и низкую эффективность существующей технологии объемной термической обработки (до 47...66 циклов).

Ключевые слова: упрочнение исполнительных поверхностей, электромеханическая обработка, износостойкость резьбовых соединений, поверхностная твердость резьбы

Increasing the durability of drill pipe subs is a pressing problem, a solution to which will improve the efficiency of oil and gas companies when drilling wells. Outer diameter wear, tears on the end surfaces of couplings and the end surfaces of pins, as well as blemishes on external and internal conical rotary-shouldered connections are the most typical defects of the subs. A study and comparative bench tests of the 5135 steel subs with the Z-117 screw were conducted. Testing of the subs with hardening of the work surface by electromechanical processing was done in comparison with the base technology (hardening and high tempering) and carbonitriding. The drill pipe subs were manufactured and hardened by ООО

Alexandrovsky Drilling Equipment Plant on the 1M63 machine modernized for electromechanical processing. The comparative bench tests of the drill pipe subs were conducted by ООО Kovrovsky Drilling Equipment Plant on the coupling makeup machine MC-4 by screwing on / unscrewing threaded connections, taking into account the Russian Federation standards and recommendations of the American Petroleum Institute API 7. Electromechanical processing, being one of the method of hardening by a concentrated flow of electric energy of industrial frequency, builds up a gradient layer with the hardness of 52–56 HRC on the surface of the drill pipe subs. The results of the screwing on / unscrewing tests of threaded connections with a toot-joint thread demonstrated high efficiency of carbonitriding and electromechanical processing (500 and more cycles) as a method of increasing hardness of the work surfaces and low efficiency of the current bulk heat treatment (up to 47–66 cycles).

Keywords: hardening of work surfaces, electromechanical processing, thread durability, thread surface hardness

Увеличение долговечности переводников является актуальной задачей, решение которой позволит повысить эффективность работы нефтяных и газовых компаний при бурении скважин.

Согласно статистическим данным эксплуатации переводников, их средняя наработка на отказ в лучшем случае составляет не более 500 циклов навинчивания–свинчивания. Переводники бурильных колонн изготавливают из качественных среднеуглеродистых легированных сталей 38ХНЗМА, 40Х, 40ХГМА и 40Х2Н4А после улучшения на трубонарезных станках с ЧПУ.

К наиболее характерным дефектам переводников относятся износ наружного диаметра, задиры на упорном торце (УТ) муфты и на упорном уступе (УУ) ниппеля, повреждение наружной и внутренней конических замковых резьб. Наличие таких дефектов приводит к нарушению непрерывности бурения скважин, возникновению неустраняемого брака, простоям буровых установок и большим экономическим потерям.

Решить указанную проблему можно без увеличения поверхностной твердости резьбы при сохранении высоких физико-механических свойств в середине витков, а также без закалки контактных поверхностей УТ муфты и УУ ниппеля переводников [1–3]. Обеспечить необходимые физико-механические свойства переводников можно применением комбинированных методов обработки, основанных на использовании концентрированных потоков энергии.

Таковыми направлениями являются процессы азотирования [4–6], карбонитрации [7], лазерной закалки [8, 9], способы поверхностного пластического деформирования [10, 11] и нане-

сения износостойких покрытий [12], электро-механическая обработка (ЭМО) [13].

Результаты исследований и опытно-экспериментальных работ, выполненных в области ЭМО, указывают на возможность увеличения долговечности исполнительных поверхностей переводников за счет целенаправленного повышения твердости и изменения структуры поверхностного слоя наиболее нагруженных участков деталей до оптимального значения [14–17].

Цель работы — проведение исследований по улучшению эксплуатационных показателей и увеличению долговечности переводников бурильных колонн из стали 40Х после финишной ЭМО наружной и внутренней замковых резьб, УТ муфты и УУ ниппеля.

Изготовление и электро-механическое упрочнение переводников (рис. 1) выполнено в ООО «Александровский завод бурового оборудования» (АЗБО, г. Александров Владимирской области) на модернизированном под ЭМО станке 1М63.

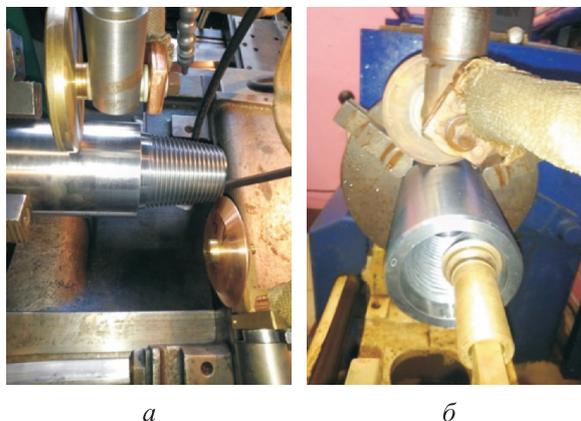


Рис. 1. Фрагмент ЭМО резьбы 3-117 ниппеля (а) и муфты (б) переводника из стали 40Х

Вследствие производственной направленности ООО «АЗБО», связанной с выпуском буровых труб для предприятий горнорудной промышленности, в качестве материала переводников выбрана сталь 40Х (ГОСТ 4543–2016), имеющая следующий химический состав, %: С — 0,380; Cr — 1,040; Mn — 0,650; Ni — 0,130; Si — 0,210; Cu — 0,120; P — 0,015; S — 0,021; Fe — остальное.

Для испытаний использованы следующие переводники:

- базовые образцы (БО) твердостью 32...36 HRC после улучшения и механической обработки (по существующей технологии изготовления переводников, ниппелей и муфт буровых и буровых труб);

- БО твердостью 55...56 HRC, дополнительно упрочненные карбонитрацией по всему объему изделий (по наружному и внутреннему диаметрам, резьбе, УУ ниппеля и УТ муфты) на глубину 0,3...0,5 мм;

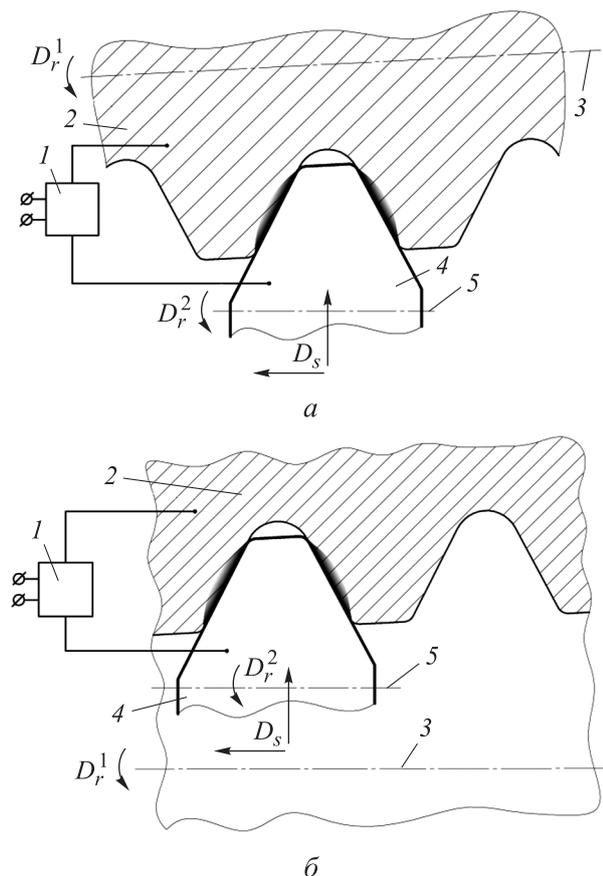


Рис. 2. Схемы финишной ЭМО конической замковой резьбы ниппеля (а) и муфты (б) переводника:

1 — установка ЭМО; 2 и 5 — переводник и ось его вращения; 3 и 4 — инструмент и ось его вращения; D_s — движение подачи; D_r^1 и D_r^2 — главное движение вращения переводника и инструмента

- БО твердостью 52...56 HRC после дополнительного упрочнения ЭМО по боковым сторонам витков наружной резьбы ниппеля (рис. 2, а) и внутренней резьбы муфты (рис. 2, б) на глубину 0,4...0,6 мм.

Для резьбовых соединений переводников буровых колонн, используемых в нефтяной и газовой промышленности, установлены обязательные требования, прописанные в государственных и международных стандартах. Исследование влияния режимов финишной электро-механической поверхностной закалки на точность и геометрические параметры наружной и внутренней резьб переводников, а также на натяг в резьбовом соединении выполняют с помощью резьбовых калибров. Контроль натяга замковой резьбы переводников буровых колонн осуществляют по ГОСТ 28487–2018 («Соединения резьбовые упорные с замковой резьбой элементов буровых колонн. Общие технические требования»).

Проверку замковой резьбы переводников проводят рабочими резьбовыми калибрами по ГОСТ 8867–89. Натяг резьбы определяют как расстояние от УУ 1 ниппеля (рис. 3, а) или от УТ 3 муфты (рис. 3, б) до измерительной плоскости 2 соответственно калибра-пробки или калибра-кольца. Натяг резьбы ниппельного конца определяет мастер отдела технического контроля калибром-кольцом, а натяг резьбы муфтового конца — калибром-пробкой. Навинчивание резьбового калибра на резьбу проводят до отказа усилием одного человека с помощью рычага длиной 150 мм. У ниппельного конца натяг резьбы должен составлять $15,88^{+0,25}_{-0,15}$ мм, у муфтового — $0^{+0,25}$ мм.

Стендовые испытания переводников проводили в ООО «Ковровский завод бурового оборудования» (г. Ковров Владимирской области) на муфтонаверточном станке МС-4 по методике, учитывающей требования государственных стандартов РФ и рекомендации Американского нефтяного института API 7. Перед испытанием на все резьбовые соединения наносили резьбоуплотнительную смазку РУСМА Р-14 (ТУ 0254-068-46977243–2009).

Все образцы свинчивали–развинчивали вручную с использованием воротка длиной 0,4 м. На испытательном стенде МС-4 поэтапно выполняли свинчивание–развинчивание (С–Р) со следующими моментами: первое С–Р — 5...6 кН·м (500...600 кгс); второе С–Р — 10...12 кН·м (1000...1200 кгс); остальные цик-

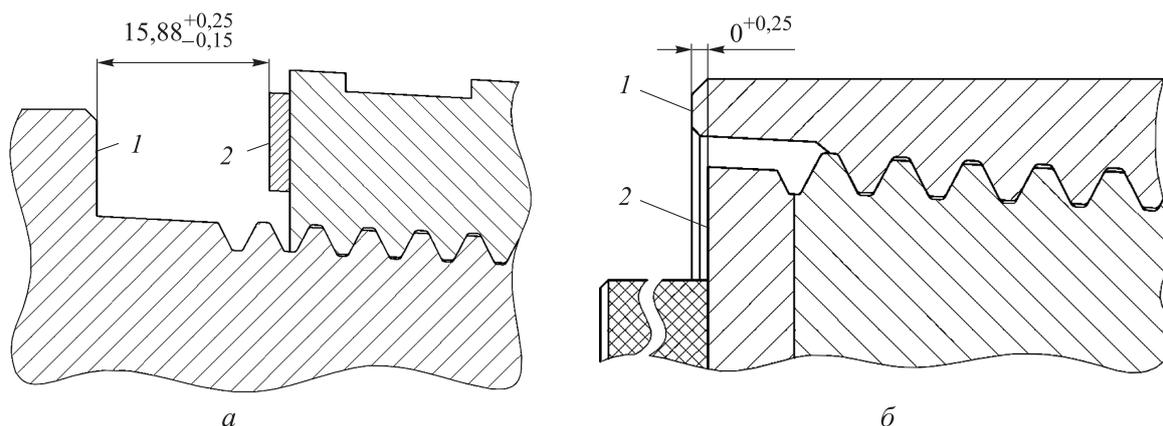


Рис. 3. Схемы контроля замковой резьбы ниппеля (а) и муфты (б) переводника

лы С–Р — 17...18 кН·м (1700...1800 кгс). Частота вращения при С–Р — 6 мин⁻¹. Максимальное количество циклов С–Р — 500 или до предельного износа резьбы, схватывания резьбового соединения. Через каждые пять циклов С–Р испытания прекращали и выдерживали паузу 10 мин.

При стендовых испытаниях переводников, изготовленных по базовой технологии, уже на ранней стадии (10...20 циклов С–Р) отмечено деформирование двух–трех витков резьбы ниппельной части. На этой стадии развития износа клиновидные захваты сухарей станда продавливали поверхностный слой переводников по наружному диаметру, но их проворачивания в захватах не наблюдалось.

При последующих испытаниях происходило образование задигов на контактных поверхностях УУ ниппельного конца и УТ муфтового конца. Это свидетельствует о дальнейшем развитии износа резьбы в виде пластического деформирования уже для большего количества витков ниппельной части переводника.

Значение деформирования (износа) от витка к витку резьбы непостоянное, вследствие чего при свинчивании резьбовых соединений переводники проворачивались в клиновых захватах станда, и появлялись задиры на наружной поверхности образцов. Для первого образца базовых переводников испытания прекратили после 47 циклов С–Р, для второго — после 66 (см. таблицу).

Критерии выбраковки переводников: предельный износ резьбы ниппеля, задиры по наружному диаметру образцов (рис. 4, а), износ УТ муфтового конца (рис. 4, б), износ (вырыв металла) УУ ниппельного конца (рис. 4, в).

Ниппеля и муфты переводников упрочнены ЭМО только по резьбе. При финишной ЭМО переводник устанавливают и закрепляют в патроне трубонарезного станка, и ему сообщается главное движение вращения. Инструментальный ролик размещают между боковыми поверхностями витков резьбы и прижимают к поверхности заготовки с фиксированной силой.

Результаты стендовых испытаний образцов с конической замковой резьбой 3-117

Показатель	Улучшение	Улучшение и финишная ЭМО	Улучшение и карбонитрация
Твердость, HRC	32...36	52...56/32...36	52...56/32...36
Количество циклов испытаний, шт.	47...66	500	500
Состояние резьбы	Задиры	Без повреждений	Без повреждений
Прочие дефекты	Задиры на УТ муфты и УУ ниппеля	Средний износ УТ муфты и УУ ниппеля	Незначительный износ УТ муфты и УУ ниппеля
Рыночная цена образца, руб.	350	600	1200

Примечание. В числителе дроби указаны значения на поверхности, в знаменателе — в середине витков.

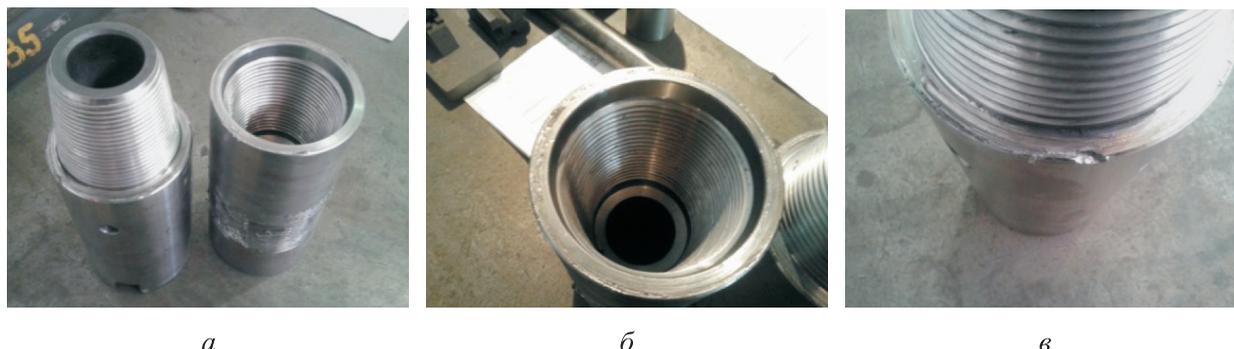


Рис. 4. Результаты стендовых испытаний образцов с конической замковой резьбой 3-117: а — наличие задигов по наружному диаметру; б — износ УТ муфтового конца; в — износ УУ ниппельного конца

При ЭМО инструментальный ролик вращается вокруг своей оси, и ему передается движение подачи с шагом, равным шагу упрочняемой резьбы. Токотводящий ролик поджимают к наружному диаметру заготовки, он вращается вокруг своей оси. Движение подачи ему не задается. От установки ЭМО через силовые токоподводящие шины один конец вторичной обмотки силового трансформатора соединяют с токоподводящим роликом, другой — с инструментальным роликом.

Выполнив данные переходы, последовательно проводят включение вращения переводника и подачу электрического тока. В зоне контакта инструментального ролика с обрабатываемыми боковыми поверхностями резьбы происходит нагрев поверхностного слоя переводника до температуры 1000...1100 °С. Быстрое охлаждение поверхностного слоя обеспечивают нижележащие слои переводника. Скорость охлаждения нагретого поверхностного слоя переводника достигает 2600 °С/с, что значительно превышает скорость охлаждения в масло или воду.

Размеры зоны нагрева поверхности зависят от технологических факторов обработки: усилия прижатия инструмента к заготовке, формы и размера инструментального ролика, подачи, твердости обрабатываемого материала, режимов обработки, теплопроводности материала переводника и теплоотдачи инструментального материала.

Эффективность упрочнения резьбы 3-117 переводников из стали 40Х по технологии ЭМО связана с термомеханическим воздействием концентрированных потоков электрической энергии промышленной частоты и с формированием уникальных свойств поверхностного слоя витков по прочности и износостойкости твердостью 52...56 HRC, а также с мелкодисперсной структурой мартенсита и градиентными слоями металла глубиной 0,4...0,6 мм.

Анализ результатов испытаний образцов с замковой резьбой 3-117 после ЭМО показал отсутствие задигов по наружному диаметру (рис. 5, а). Износостойкость деталей по УТ



Рис. 5. Результаты испытаний образцов с замковой резьбой 3-117 после ЭМО: а — отсутствие задигов по наружному диаметру; б — износ УТ муфты; в — износ УУ ниппеля

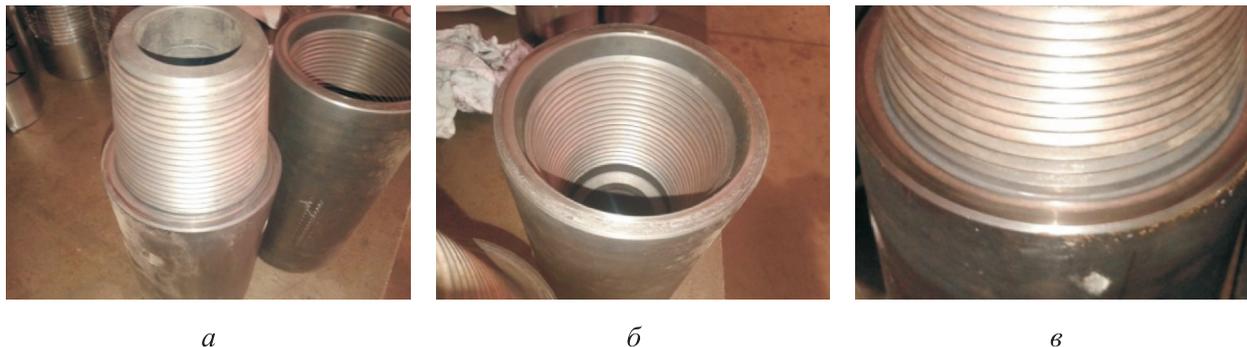


Рис. 6. Результаты износных испытаний образцов с замковой резьбой 3-117, после дополнительного объемного упрочнения переводников карбонитрацией:

a — отсутствие задиrow по наружному диаметру; *б* — износ УТ муфты; *в* — износ УУ ниппеля

муфты (рис. 5, *б*) и УУ ниппеля (рис. 5, *в*) значительно выше, чем у базового варианта и сопоставима с износом деталей после карбонитрации.

При этом технологически нетрудно выполнить упрочнение ЭМО по контактным поверхностям ниппеля и муфты с обеспечением указанных оптимальных физико-механических свойств поверхностного слоя.

Результаты износных испытаний образцов с замковой резьбой 3-117, изготовленных из стали 40Х, после дополнительного объемного упрочнения переводников карбонитрацией (рис. 6), показали высокую эффективность. Переводники после карбонитрации обеспечили установленные 500 циклов С-Р без нарушения геометрии витков резьбы и схватывания резьбовых соединений, без задиrow по наружному диаметру (рис. 6, *а*) при незначительном износе УТ муфты (рис. 6, *б*) и УУ ниппеля (рис. 6, *в*), при моменте свинчивания 17...18 кН·м (1700...1800 кгс).

Технико-экономическая оценка способов повышения долговечности переводников с конической замковой резьбой (см. таблицу) свидетельствует об эффективности технологии ЭМО перед карбонитрацией.

Важнейшими преимуществами технологии ЭМО перед карбонитрацией являются: отсутствие необходимости применения сложного дорогостоящего оборудования и дополнительных расходных материалов, возможность локального воздействия на наиболее нагруженные поверхности переводников и упрочнения ниппеля и муфты длинномерных буровых труб (в том числе при ремонте), низкое энергопотребление, экологическая чистота и электробезопасность ЭМО.

Выводы

1. Существующая технология изготовления переводников буровых колонн из стали 40Х с улучшением (с закалкой и высоким отпуском) на стадии заготовки твердостью 32...36 HRC и с последующей механической обработкой резанием не обеспечивает высокую износостойкость резьбовых соединений, а также контактных поверхностей УТ муфты и УУ ниппеля (47...66 циклов С-Р).

2. Результаты износных испытаний ниппеля и муфты с замковой резьбой 3-117, изготовленных из стали 40Х, после дополнительного объемного упрочнения переводников карбонитрацией показали высокую эффективность. После карбонитрации переводники обеспечили установленные 500 циклов С-Р без нарушения геометрии витков резьбы и схватывания резьбовых соединений при незначительном износе УТ муфты, УУ ниппеля и моменте свинчивания 17...18 кН·м (1700...1800 кгс).

3. Эффективность упрочнения резьбы переводников из стали 40Х по технологии ЭМО (500 циклов С-Р) связана с термомеханическим воздействием концентрированных потоков электрической энергии промышленной частоты, с формированием уникальных свойств поверхностного слоя витков по прочности и износостойкости твердостью 52...56 HRC, с мелкодисперсной структурой мартенсита и градиентными слоями металла глубиной 0,4...0,6 мм.

4. Несмотря на то, что ниппеля и муфты переводников упрочнены ЭМО только по резьбе, износостойкость деталей по УТ муфты и УУ ниппеля значительно выше, чем у базового варианта и сопоставима с износостойко-

стью деталей после карбонитрации. При этом технологически нетрудно выполнить упрочнение ЭМО по контактным поверхностям ниппеля и муфты с обеспечением указанных физико-механических свойств поверхностного слоя.

Литература

- [1] Елагина О.Ю. *Технологические методы повышения износостойкости деталей машин*. Москва, Университетская книга, 2009. 488 с.
- [2] Якушев А.И., Мустаев Р.Х., Мавлютов Р.Р. *Повышение прочности и надежности резьбовых соединений*. Москва, Машиностроение, 1979. 215 с.
- [3] Быков Ю.А., Унчикова М.В., Пахомова С.А., Помельникова А.С., Силаева В.И. Методика выбора материала и технологии термической обработки деталей машиностроения. *Заготовительные производства в машиностроении*, 2015, № 8, с. 43–47.
- [4] Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. *Технологические процессы лазерной обработки*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. 664 с.
- [5] Крапошин В.С. *Выбор режима нагрева поверхностным тепловым источником для получения заданной глубины закалки и заданного структурного состояния*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 40 с.
- [6] Попов В.О., Смирнов С.Н. Лазерное упрочнение резьбы. *Ритм*, 2015, № 1(99), с. 32–35.
- [7] Прокошкин Д.А. *Химико-термическая обработка металлов — карбонитрация*. Москва, Машиностроение, Металлургия, 1984. 40 с.
- [8] Куксенова Л.И., Герасимов С.А., Лаптева В.Г., Алексеева М.С. Физические основы критериальной оценки технологии азотирования деталей узлов трения. *Металловедение и термическая обработка металлов*, 2012, № 12, с. 39–47.
- [9] Помельникова А.С., Фетисов Г.П., Пахомова С.А. К вопросу упрочнения различно легированных сталей обработкой в коронном разряде. *Технология металлов*, 2017, № 2, с. 20–24.
- [10] Pesin M.V. Improving the Reliability of Threaded Pipe Joints. *Russian Engineering Research*, 2012, vol. 32, pp. 210–212, doi: 10.3103/S1068798X12020232
- [11] Pesin M.V. Simulation of the Technological Process of the Strengthened Treatment of the Drill Pipes Thread. *Applied Mechanics and Materials*, 2015, vol. 770, pp. 476–482, doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.770.476>
- [12] Проскуркин Е.В. Защитные покрытия — качество и долговечность труб. *Национальная металлургия*, 2003, № 5, с. 68–78.
- [13] Аскинази Б.М. *Упрочнение и восстановление деталей машин электромеханической обработкой*. Москва, Машиностроение, 1989. 200 с.
- [14] 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.
- [15] Федорова Л.В., Федоров С.К., Сержант А.А., Головин В.В., Сыстеров С.В. Электромеханическая поверхностная закалка сталей для насосно-компрессорных труб. *Металловедение и термическая обработка металлов*, 2017, № 3, с. 41–44.
- [16] Морозов А.В., Федорова Л.В., Горев Н.Н., Шамуков Н.И. Исследование влияния режимов сегментной электромеханической закалки на формирование участков регулярной микротвердости. *Сборка в машиностроении, приборостроении*, 2016, № 2, с. 24–27.
- [17] 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.

References

- [1] Elagina O.Yu. *Tekhnologicheskiye metody povysheniya iznosostoykosti detaley mashin* [Technological methods for increasing the wear resistance of machine parts]. Moscow, Universitetskaya kniga publ., 2009. 488 p.

- [2] Yakushev A.I., Mustayev R.Kh., Mavlyutov R.R. *Povysheniye prochnosti i nadezhnosti rez'bovykh soyedineniy* [Increasing the strength and reliability of threaded connections]. Moscow, Mashinostroyeniye publ., 1979. 215 p.
- [3] Bykov Yu.A., Unchikova M.V., Pakhomova S.A., Pomel'nikova A.S., Silayeva V.I. Selection method of material and heat treatment technology for mechanical engineering parts. *Zagotovitel'nyye proizvodstva v mashinostroyenii*, 2015, no. 8, pp. 43–47 (in Russ.).
- [4] Grigor'yants A.G., Shiganov I.N., Misyurov A.I. *Tekhnologicheskiye protsessy lazernoy obrabotki* [Technological processes of laser processing]. Moscow, Bauman Press, 2006. 664 p.
- [5] Kraposhin V.S. *Vybor rezhima nagreva poverkhnostnym teplovym istochnikom dlya polucheniya zadannoy glubiny zakalki i zadannogo strukturnogo sostoyaniya* [Selecting the surface heat source heating mode to obtain a specified quenching depth and a specified structural state]. Moscow, Bauman Press, 2002. 40 p.
- [6] Popov V.O., Smirnov S.N. Laser thread hardening. *Ritm*, 2015, no. 1(99), pp. 32–35 (in Russ.).
- [7] Prokoshkin D.A. *Khimiko-termicheskaya obrabotka metallov — karbonitratsiya* [Chemical and thermal treatment of metals-carbonitration]. Moscow, Mashinostroyeniye publ., Metallurgiya publ., 1984. 40 p.
- [8] Kuksenova L.I., Gerasimov S.A., Lapteva V.G., Alekseyeva M.S. The physical basis for estimations of the technology of nitriding of parts of friction units. *Metallovedeniye i termicheskaya obrabotka metallov*, 2012, no. 12, pp. 39–47 (in Russ.).
- [9] Pomel'nikova A.S., Fetisov G.P., Pakhomova S.A. On problem of hardening of differently alloyed steels by treatment in corona discharge. *Tekhnologiya metallov*, 2017, no. 2, pp. 20–24 (in Russ.).
- [10] Pesin M.V. Improving the Reliability of Threaded Pipe Joints. *Russian Engineering Research*, 2012, vol. 32, pp. 210–212, doi: 10.3103/S1068798X12020232
- [11] Pesin M.V. Simulation of the Technological Process of the Strengthened Treatment of the Drill Pipes Thread. *Applied Mechanics and Materials*, 2015, vol. 770, pp. 476–482, doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.770.476>
- [12] Proskurkin E.V. Protective coatings — quality and durability of pipes. *Natsional'naya metallurgiya*, 2003, no. 5, pp. 68–78 (in Russ.).
- [13] Askinazi B.M. *Uprochneniye i vosstanovleniye detaley mashin elektromekhanicheskoy obrabotkoy* [Hardening and restoration of machine parts by electromechanical processing]. Moscow, Mashinostroyeniye publ., 1989. 200 p.
- [14] 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.
- [15] Fedorova L.V., Fedorov S.K., Serzhant A.A., Golovin V.V., Systerov S.V. Electromechanical surface hardening of tubing steels. *Metal Science and Heat Treatment*, 2017, vol. 59, no. 3–4, pp. 41–44, doi: 10.1007/s11041-017-0123-z
- [16] Morozov A.V., Fedorova L.V., Gorev N.N., Shamukov N.I. A study on the effect of the segment of electromechanical hardening to form a regular plot microhardness. *Sbornik v mashinostroyenii, priborostroyenii*, 2016, no. 2, pp. 24–27 (in Russ.).
- [17] Fedorova L.V., Fedorov S.K., Slavin A.V., Ivanova Yu.S., Tkachenko Yu.V., Borisenko O.V. Structure and microhardness of tubing thread after finishing electromechanical surface quenching. *Metallovedeniye i termicheskaya obrabotka metallov*, 2020, no. 2(776), pp. 58–64 (in Russ.).

Статья поступила в редакцию 15.06.2020

Информация об авторах

ФЕДОРОВА Лилия Владимировна — доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: fedorova.lv@bmstu.ru).

ФЕДОРОВ Сергей Константинович — доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки материалов». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: fedorovsk@bmstu.ru).

ИВАНОВА Юлия Сергеевна — кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: ivanovays@bmstu.ru).

ЗАРИПОВ Вадим Назиуллинович — аспирант кафедры «Технологии обработки материалов». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: zaripovrt@bk.ru).

Information about the authors

FEDOROVA Liliya Vladimirovna — Doctor of Science (Eng.), Professor, Materials Science Department. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: fedorova.lv@bmstu.ru).

FEDOROV Sergei Konstantinovich — Doctor of Science (Eng.), Professor, Department of Technologies of Materials Processing. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: fedorovsk@bmstu.ru).

IVANOVA Yuliya Sergeevna — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Department of Mechanical Engineering Technology. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: ivanovays@bmstu.ru).

ZARIPOV Vadim Naziullinovich — Postgraduate, Department of Technologies of Materials Processing. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: zaripovrt@bk.ru).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Федорова Л.В., Федоров С.К., Иванова Ю.С., Зарипов В.Н. Повышение долговечности переводников бурильных колонн электромеханической обработкой. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2020, № 10, с. 38–46, doi: 10.18698/0536-1044-2020-10-38-46

Please cite this article in English as:

Fedorova L.V., Fedorov S.K., Ivanova Y.S., Zaripov V.N. Improving the Durability of Drill Pipe Subs by Electromechanical Processing. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2020, no. 10, pp. 38–46, doi: 10.18698/0536-1044-2020-10-38-46