ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС В АПК

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ
УДК 621.785.545
DOI: 10.26897/2687-1149-2022-1-55-59

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ВТУЛОК ЗАЩИТНЫХ КОНСОЛЬНЫХ НАСОСОВ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЗАКАЛКОЙ

ФЕДОРОВА ЛИЛИЯ ВЛАДИМИРОВНА✉***,*** *д-р техн. наук, профессор* [1]
momd@yandex.ru✉; http://orcid.org/0000-0001-7523-8441; Scopus Autor ID: 56682637700
НГО ВАН ТУЕН, *аспирант* [1]
ngotuyenvvk@gmail.com
ИВАНОВА ЮЛИЯ СЕРГЕЕВНА, *канд. техн. наук, доцент* [1]
yyulianius@gmail.ru; http://orcid.org/0000-0002-9964-5284; Scopus Autor ID ID: 57199149904
НГУЕН ТАТ КИЕН, *исследователь* [2]
kienmai6885@gmail.com
[1] Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (Национальный исследовательский университет); 105005, Российская Федерация, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, 5
[2] Вьетнамский государственный технический университет имени Ле Куй Дона; 236, Вьетнам, Ханой, ул. Хоанг Куок

Аннотация. На основе анализа условий работы консольных насосов и характерных дефектов защитных втулок предложена технология повышения износостойкости наружной поверхности деталей методом электромеханической поверхностной закалки (ЭМПЗ). Приведены результаты изменения структуры и микротвердости поверхностного слоя втулок из сталей 45 и У8. Установлено, что после ЭМПЗ микротвердость образцов из стали 45 увеличилась с 240 HV до 765 HV, а образцов из стали У8 – с 340 HV до 876 HV. Разработана конструкция стенда и выполнены износные испытания образцов с воспроизведением условий эксплуатации соединения «Защитная втулка-сальниковая набивка» консольных насосов. В результате испытаний установлено, что по сравнению с серийными технологиями упрочнения втулок ЭМПЗ повысила износостойкость образцов из стали 45 в 3,1 раза, стали У8 – в 1,9 раза. При этом использование образцов из стали У8 после ЭМПЗ вместо серийных втулок из стали 45 позволяет повысить износостойкость изделий в 6,1 раза. Результаты исследований позволяют рекомендовать технологию ЭМПЗ для повышения износостойкости втулок защитных при их изготовлении на производстве и при ремонте консольных насосов.

Ключевые слова: упрочнение, твердость, износостойкость, защитная втулка, консольный насос, электромеханическая поверхностная закалка.

Формат цитирования: Федорова Л.В., Нго В.Т., Иванова Ю.С., Нгуен Т.К. Повышение износостойкости втулок защитных консольных насосов электромеханической поверхностной закалкой // Агроинженерия. 2022. Т. 24. № 1. С. 55-59. https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-1-55-59.

© Федорова Л.В., Нго В.Т., Иванова Ю.С., Нгуен Т.К., 2022

ORIGINAL PAPER

IMPROVING THE WEAR RESISTANCE OF THE PROTECTIVE SLEEVES OF THE CRADLE-MOUNTED PUMP WITH ELECTROMECHANICAL SURFACE HARDENING

LILIYA V. FEDOROVA✉***,*** *PhD (Eng), Professor* [1]
momd@yandex.ru✉; http://orcid.org/0000-0001-7523-8441; Scopus Autor ID: 56682637700
NGO VAN TUYEN, *postgraduate student* [1]
ngotuyenvvk@gmail.com
YULIYA S. IVANOVA, *PhD (Eng), Associate Professor* [1]
yyulianius@gmail.ru; http://orcid.org/0000-0002-9964-5284; Scopus Autor ID ID: 57199149904
NGUYEN TAT KIEN, *Research Associate* [2]
kienmai6885@gmail.com
[1] Bauman Moscow State Technical University (National Research University); 2nd Baumanskaya Str., 5, Moscow, 105005, Russian Federation
[2] Vietnam State Technical University named after Le Qui Don; 236, Hoang Quoc Viet str., Ha Noi, Viet Nam

Abstract. Based on the analysis of the working condition of the cradle-mounted pumps and the specific defects of protective bushings, the authors offer a technological solution for increasing the wear resistance of the outer surface of parts by the method of electromechanical

surface hardening (ESH). The article describes the effects of progressions in the structure and microhardness of the surface layer of bushings made of steel 45 and U8. The authors experimentally found that the microhardness of the samples after ESH increased from 240 HV to 765 HV for steel 45 and from 340 HV to 876 HV for steel U8. The authors designed a stand, conducted wear tests of the samples, and reproduced the application environment of the "protective sleeve – stuffing box" connection of the cradle-mounted pump. The test results have shown that, compared with standard technologies for strengthening bushes, ESH increased the wear resistance of specimens from steel 45 in 3.1 times, while those of steel U8-1.9 times. In particular, using samples made of U8 steel after ESH, instead of serial bushes made of steel 45, may increase the wear resistance of products in 6.1 times. The research results give reasons to recommend the ESH technology to improve the wear resistance of protective bushings during their manufacture and the repair of the cradle-mounted pump.

Key words: hardening, hardness, wear resistance, protective bushing, cradle-mounted pump, electromechanical surface hardening.

For citation: Fedorova L.V., Ngo V.T., Ivanova Yu.S., Nguyen T.K. Improving the wear resistance of the protective sleeves of the cradle-mounted pump with electromechanical surface hardening. Agricultural Engineering (Moscow), 2022; 24(1): 55-59. (In Rus.). https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-1-55-59.

Введение. Консольный насос является популярным видом центробежных насосов, используемых в системах полива и ирригации, в водоснабжении, коммунальных хозяйствах (рис. 1).

Рис. 1. Система консольных насосов для полива полей

Fig. 1. System of cantilever pumps for irrigation of fields

Принципиальная схема работы защитной втулки представлена на рисунке 2.

Рис. 2. Принципиальная схема работы защитной втулки:
1 – вал; 2 – защитная втулка; 3 – сальник; 4 – корпус насоса

Fig. 2. Schematic diagram of the protective bushing:
1 – shaft; 2 – protective bushing; 3 – stuffing box;
4 – pump casing

Для повышения ресурса работы насоса и предотвращения износа вала в зоне узла уплотнения на вал используют защитную втулку *2*, а для уплотнения вала насоса – мягкий сальник *3*. Соединение втулки и вала – это соединение с натягом. Во время работы защитная втулка *2* изнашивается по причине трения в зоне контакта с сальником, особенно при наличии абразивных частиц. Абразивные частицы, образующиеся при трении, кислотность, щелочность и другие свойства жидкостей ускоряют ее износ [1]. Это приводит к уменьшению надежности работы насосов в целом.

Одним из направлений повышения износостойкости деталей из стали является увеличение поверхностной твердости и формирование мелкодисперсной мартенситной структуры [2]. Этого можно достичь объемной термической обработкой, закалкой токами высокой частоты, лазерной закалкой и другими способами обработки поверхностного слоя концентрированными потоками энергии. Электромеханическая обработка (ЭМО) как способ формирования износостойких поверхностей основана на сочетании термического и силового воздействия на поверхность обрабатываемой детали. Это вызывает улучшение физико-механических и геометрических характеристик поверхностного слоя деталей и в результате приводит к повышению износостойкости. Электромеханическая поверхностная закалка (ЭМПЗ) отличается относительной простотой применения и возможностью закалки широкой номенклатуры деталей. ЭМПЗ не требует громоздкого оборудования, потребляющего большое количество электрической энергии. Упрочнение не требует дополнительного присадочного материала и происходит за счет исходного металла обрабатываемой детали. Слой, который формируется на поверхности, позволяет значительно повысить износостойкость деталей [3-12].

Цель исследований: повышение износостойкости втулок защитных консольных насосов путем применения технологии электромеханической обработки.

Материалы и методы. Образцы для износных испытаний (рис. 3) изготовлены из сталей У8, 45 следующих размеров: наружный диаметр – 25 мм; диаметр отверстия – 15 мм; высота – 20 мм. Шероховатость поверхностей исследуемых образцов до ЭМПЗ соответствует Ra 3,2 мкм по ГОСТ 2789-73.

Рис. 3. Образцы для исследований

Fig. 3. Samples for study

Химические составы образцов представлены в таблице.

Таблица

Результаты исследования химического состава образцов

Table

Study results on the chemical composition of samples

Марка стали *Steel grade*	**Содержание химических элементов, мас. %** / *Content of chemical elements, wt. %*							
	C	*Si*	*Mn*	*Cr*	*Cu*	*Ni*	*P*	*S*
Сталь 45 / *Steel* 45	0,448	0,269	0,588	0,112	0,053	0,076	0,0056	0,0252
У8 / *U*8	0,788	0,292	0,267	0,160	0,131	0,107	0,0174	0,0098

Электромеханическую поверхностную закалку образцов выполняли на токарно-винторезном станке 16К20 (рис. 4) с режимами: скорость закалки – 1,2 м/мин; сила тока во вторичной цепи – 1600 А; напряжение вторичной цепи – 3 В; усилие поджатия инструмента – 400 Н; подача инструмента – 2,5 мм/об.

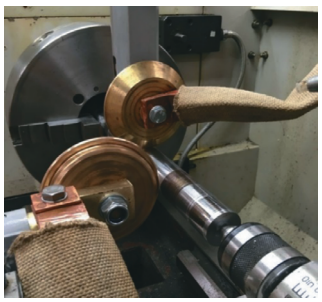

Рис. 4. Процесс ЭМПЗ образцов на токарно-винторезном станке

Fig. 4. ESH processing of samples on a screw-cutting lathe

Износные испытания выполнены на стенде (рис. 5), состоящем из токарного станка ТН-150, оправки *2* закрепления образцов *5*, корпуса *7* закрепления сальниковой набивки *8*, державки *11*. Оправку *2* устанавливали и закрепляли в трехкулачковый самоцентрирующийся патрон токарного станка. На оправку устанавливали образцы *5* и фиксировали от поворота и перемещения относительно оправки *2* поджатием с торца шайбой *9* и винтом *10*. По наружному диаметру образцов *5* устанавливали сальниковую набивку *8*, которую фиксировали в отверстие корпуса *7* и блокировали от перемещения фланцем *4* и винтами *3*. В процессе износных испытаний использовали сальниковую набивку сквозного плетения марки АП-31 6 мм ГОСТ 5152-84. Образцам *5* сообщали движение вращения с частотой 2000 об/мин. Корпус *7* через приваренную к нему державку *11* крепился в резцедержателе *12* токарного станка. В сквозное отверстие корпуса *7* ввинчивался штуцер *6*. Во время испытания вода из системы капала на сальниковую набивку *8*, имитируя условия работы консольных насосов.

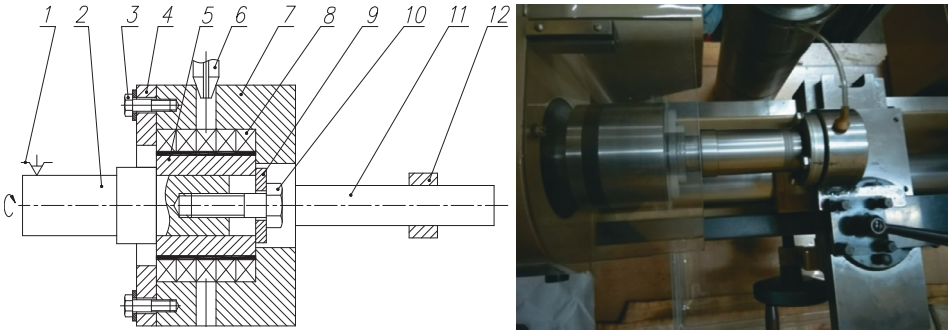

Рис. 5. Принципиальная схема и общий вид стенда для износных испытаний:
1 – трехкулачковый самоцентрирующийся патрон; 2 – оправка; 3 и 10 – винты; 4 – фланец; 5 – образцы; 6 – штуцер; 7 – корпус; 8 – сальниковая набивка; 9 – шайба; 11 – державка; 12 – резцедержатель

Fig. 5. Schematic diagram and general view of the wear test stand:
1 – three-jaw self-centering chuck; 2 – mandrel; 3 and 10 – screws; 4 – flange; 5 – samples; 6 – fitting; 7 – body; 8 – stuffing box packing; 9 – washer; 11 – holder; 12 – tool holder

Абразивные частицы сыпали на поверхность сальника, которая контактирует с поверхностью втулки. Продолжительность испытаний составляла 30 мин на каждый образец. Износ образцов определяли взвешиванием на аналитических весах AND GH-252 до и после испытаний с максимальной массой взвешивания 250 г и точностью 0,00001 г. Перед взвешиванием образцы протирали ацетоном, продували воздухом и сушили в муфельной печи при температуре 60°С.

Результаты и обсуждение. После ЭМПЗ измерение твердости зоны упрочнения проводили на микротвердомере DuraScan EMCOTEST. Результаты измерения микротвердости представлены на рисунке 6.

После ЭМПЗ микротвердость упрочненного слоя стальных образцов 45 и У8 повысилась почти в 2,8 раза по сравнению с исходными. После ЭМПЗ микротвердость и эффективная глубина упрочнения стали У8 имеют более высокие значения, чем сталь 45.

Исследование структуры поверхностного слоя образцов проводили на металлографическом микроскопе GX-51 фирмы OLYMPUS при различных увеличениях (рис. 7). Результаты исследования структуры образцов из сталей 45, У8 свидетельствуют о формировании в зонах закалки мелкодисперсного мартенсита.

После ЭМПЗ шероховатость поверхности образцов составила Ra1,25 мкм, что соответствует техническим требованиям к контактным поверхностям втулок защитных при работе с сальниковыми набивками.

На рисунке 8 представлены результаты износа образцов до и после ЭМПЗ. Из результатов исследований установлено, что после ЭМПЗ износостойкость поверхностного слоя образцов из стали 45 увеличилась в 3,1 раза, у образцов У8 увеличилась в 1,9 раза по сравнению с исходными. При этом использование образцов из стали У8 после ЭМПЗ вместо серийных втулок из стали 45 позволяет повысить износостойкость деталей в 6,1 раза.

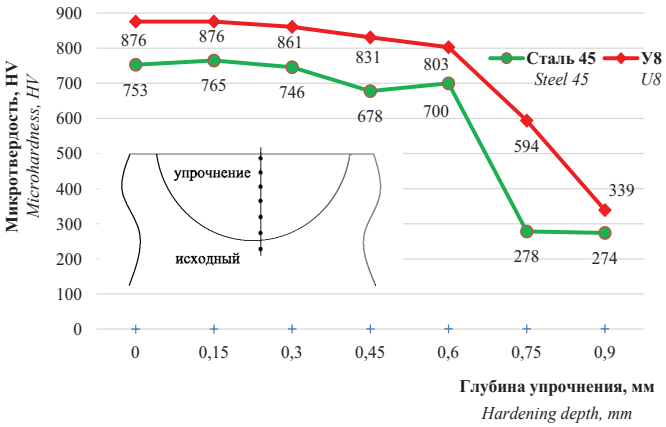

Рис. 6. Зависимость микротвердости от глубины упрочнения образцов из сталей 45 и У8

Fig. 6. Relationship between microhardness and the hardening depth of specimens from steels 45 and U8

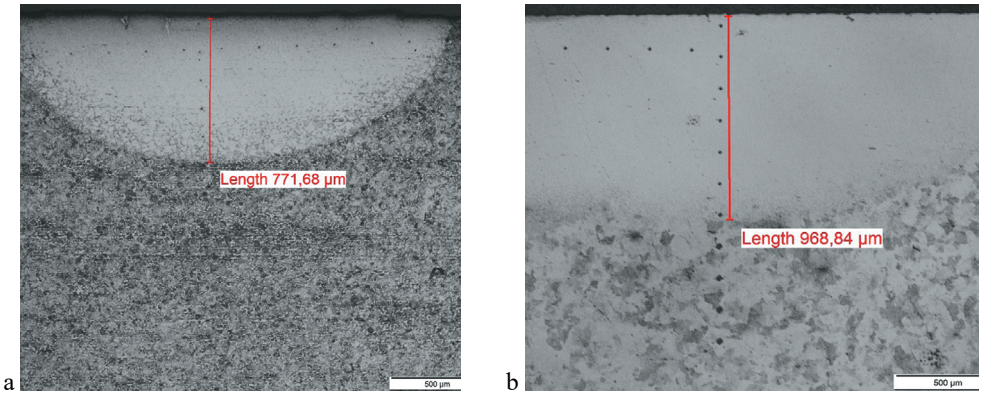

Рис. 7. Микроструктура поверхностного слоя образцов после ЭМПЗ:
a – сталь 45; b – У8

Fig.7. Microstructure of the samples' surface layer after ESH:
a – steel 45; b – U8

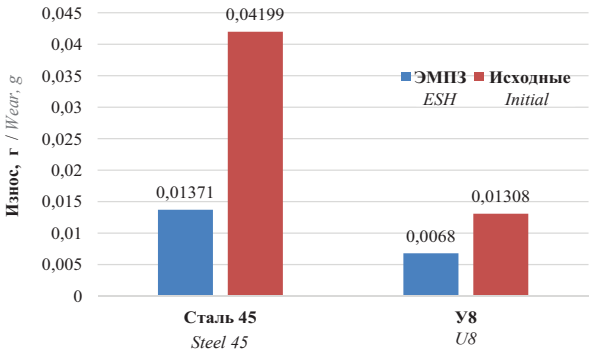

Рис. 8. Результаты износных испытаний

Fig. 8. Results of wear tests

Выводы

1. ЭМПЗ является эффективным методом упрочнения, позволяющим увеличить микротвердость поверхностного слоя стали 45 до 753 HV, а У8 – до 876 HV.

2. Эффективная глубина упрочнения после ЭМПЗ стали У8 больше, чем у стали 45.

3. После ЭМПЗ мелкодисперсный мартенсит формируется в зоне упрочнения. В условиях контакта защитной втулки и сальника с абразивом в зоне трения в течение 30 мин испытаний износостойкость поверхностного слоя образцов из стали 45 увеличилась в 3,1 раза. Износостойкость образцов из стали У8 после ЭМПЗ увеличилась в 1,9 раза по сравнению с исходными. При этом использование образцов из стали У8 после ЭМПЗ вместо серийных втулок из стали 45 позволяет повысить износостойкость деталей в 6,1 раза.

4. Результаты исследований позволяют рекомендовать технологию ЭМПЗ для повышения износостойкости втулок защитных при изготовлении их на производстве и при ремонте консольных насосов в мастерских или в сервисных центрах компаний.

Библиографический список

1. Ерохин М.Н., Казанцев С.П. Детали машин. М.: ТРАНСЛОГ, 2018. 410 с.

References

1. Erokhin M.N., Kazantsev S.P. Detali mashin [Machine parts]. Moscow, TRANSLOG, 2018. 410 p. (In Rus.)

2. Арзамасов Б.Н., Макарова В.И., Мухин Г.Г., Рыжов Н.М., Силаева В.И. Материаловедение: Учебник для вузов. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. 648 с.

3. Морозов А.В., Федорова Л.В., Горев Н.Н. Исследование влияния режимов сегментной электромеханической закалки на сдвигоустойчивость прессового соединения типа «втулка-корпус» // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 4. С. 183-189.

4. Морозов А.В., Федорова Л.В., Федотов Г.Д. Электромеханическая закалка рабочих поверхностей шлицевых втулок техники сельскохозяйственного назначения // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 2. С. 169-175.

5. Федорова Л.В., Иванова Ю.С., Воронина М.В. Повышение надежности резьбовых соединений электромеханической обработкой // Записки Горного института: Электромеханика и машиностроение. 2017. Т. 226. С. 456-461.

6. Fedorova L.V., Fedorov S.K., 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; 12 (18): 7485-7489.

7. Fedorov S.K., Fedorova L.V., Ivanova Y.S., Voronina M.V., Sadovnikov A.V., Nikitin V.N. Increasing the wear resistance of adapters and drill pipes by elecrtromechanical processing. Journal of Mining Institute, 2018; 233: 539-546. https://doi.org/10.31897/PMI.2018.5.539

8. 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; 59 (3-4): 173-175. https://doi.org/10.1007/s11041-017-0123-z

9. Федорова Л.В., Федоров С.К., Иванова Ю.С., Исаев К.Р. Структура и износостойкость стали 65Г после электромеханической поверхностной закалки // Технология металлов. 2017. № 3. С. 27-30.

10. 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.

11. Федорова Л.В., Федоров С.К., Иванова Ю.С., Ломпас А.М. Технологические основы повышения износостойкости деталей электромеханической поверхностной закалкой // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2017. № 9 (690). С. 85-92. https://doi.org/10.18698/0536-1044-2017-9-85-92

12. Fedorova L.V., Fedorov S.K., Slavin A.V., Ivanova Yu.S., Tkachenko Yu.V., Borisenko O.V. Structure and microhardness of the tubing thread after finishing electromechanical surface quenching. Metal Science and Heat Treatment, 2020; 62 (1-2): 161-167. https://doi.org/10.1007/s11041-020-00552-x

Критерии авторства

Федорова Л.В., Нго В.Т., Иванова Ю.С., Нгуен Т.К. выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов провели эксперимент и подготовили рукопись. Федорова Л.В., Нго В.Т., Иванова Ю.С., Нгуен Т.К. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 10.06.2021

Одобрена после рецензирования 27.10.2021

Принята к публикации 28.10.2021

2. Arzamasov B.N., Makarova V.I., Mukhin G.G., Ryzhov N.M., Silayeva V.I. Materialovedenie [Materials science]: Study manual for universities. Moscow, MGTU im. N.E. Baumana, 2008. 648 p. (In Rus.)

3. Morozov A.V., Fedorova L.V., Gorev N.N. Issledovanie vliyaniya rezhimov segmentnoy elektromekhanicheskoy zakalki na sdvigoustoychivost' pressovogo soyedineniya tipa "vtulka-korpus" [Study of the influence of segmental electromechanical hardening modes on the shear stability of a "sleeve-body" press connection]. *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2015; 4: 183-189. (In Rus.)

4. Morozov A.V., Fedorova L.V., Fedotov G.D. Elektromekhanicheskaya zakalka rabochikh poverkhnostey shlitsevykh vtulok tekhniki sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya [Electromechanical hardening of the working surfaces of the slotted bushings used in agricultural machines]. *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii,* 2015; 2: 169-175. (In Rus.)

5. Fedorova L.V., Ivanova Yu.S., Voronina M.V. Povyshenie nadezhnosti rez'bovykh soedineniy elektromekhanicheskoy obrabotkoy [Improving the reliability of threaded connections by electromechanical processing]. *Zapiski Gornogo instituta*: *Elektromekhanika i mashinostroenie*, 2017; 226: 456-461. (In Rus.)

6. Fedorova L.V., Fedorov S.K., 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; 12 (18): 7485-7489.

7. Fedorov S.K., Fedorova L.V., Ivanova Y.S., Voronina M.V., Sadovnikov A.V., Nikitin V.N. Increasing the wear resistance of adapters and drill pipes by elecrtromechanical processing. *Journal of Mining Institute*, 2018; 233: 539-546. https://doi.org/10.31897/PMI.2018.5.539

8. 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; 59 (3-4): 173-175. https://doi.org/10.1007/s11041-017-0123-z

9. Fedorova L.V., Fedorov S.K., Ivanova Yu.S., Isayev K.R. Struktura i iznosostoykost' stali 65G posle elektromekhanicheskoy poverkhnostnoy zakalki [Structure and wear resistance of 65G steel after electromechanical surface hardening]. *Tekhnologiya metallov*, 2017; 3: 27-30. (In Rus.)

10. Morozov A.V., Fedorova L.V., Gorev N.N., Shamukov N.I. Issledovanie vliyaniya rezhimov segmentnoy elektromekhanicheskoy zakalki na formirovanie uchastkov regulyarnoy mikrotverdosti [Study of the influence of segmental electromechanical hardening modes on the formation of regular microhardness patches]. *Sborka v mashinostroenii, priborostroenii*, 2016; 2: 24-27. (In Rus.)

11. Fedorova L.V., Fedorov S.K., Ivanova Yu.S., Lompas A.M. Tekhnologicheskie osnovy povysheniya iznosostoykosti detaley elektromekhanicheskoy poverkhnostnoy zakalkoy [Technological grounds for increasing the wear resistance of parts by electromechanical surface hardening]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie*, 2017; 9 (690): 85-92. https://doi.org/10.18698/0536-1044-2017-9-85-92 (In Rus.)

12. Fedorova L.V., Fedorov S.K., Slavin A.V., Ivanova Yu.S., Tkachenko Yu.V., Borisenko O.V. Structure and microhardness of the tubing thread after finishing electromechanical surface quenching. *Metal Science and Heat Treatment,* 2020; 62 (1-2): 161-167. https://doi.org/10.1007/s11041-020-00552-x

Contribution

L.V. Fedorova, V.T. Ngo, Yu.S. Ivanova, T.K. Nguyen performed theoretical studies, and based on the results obtained, conducted the experiment and wrote the manuscript. L.V. Fedorova, V.T. Ngo, Yu.S. Ivanova, T.K. Nguyen have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received 10.06.2021

Approved after reviewing 27.10.2021

Accepted for publication 28.10.2021