

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ЗАКАЛКИ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ШЛИЦЕВ ВТУЛОК

*Морозов А.В.<sup>1</sup>, Еремеев А.Н.<sup>1</sup>, Мушараров Д.Р.<sup>1</sup>, Болтенков А.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, Ульяновск;

<sup>2</sup>Алтайский государственный аграрный университет, Барнаул

**Ключевые слова:** шлицевое соединение, шлицевая поверхность, шлицевая втулка, электромеханическая закалка, твёрдость.

**Аннотация.** В конструкциях современных машин и технологического оборудования для передачи крутящего момента широкое распространение нашли подвижные прямобочные шлицевые соединения, износ которых при работе может достигать существенных значений. Анализ характера изнашивания шлицевых соединений, показывает, что наибольший износ по сравнению со шлицевыми валами испытывают шлицевые втулки. По большей части это объясняется отсутствием упрочняющей обработки рабочих поверхностей шлицев втулок и, вследствие этого, недостаточно высокой их твердостью. Упрочнение рабочих поверхностей шлицев втулок производится крайне редко, из-за затрудненного доступа к рабочим поверхностям и высокой трудоёмкости процесса. Для повышения износостойкости и долговечности шлицевых втулок и соединений в целом применялась электромеханическая закалка рабочих поверхностей шлицев втулок. В работе рассмотрены результаты практической реализации способа. В результате исследований выявлено, что после электромеханической закалки твердость рабочих поверхностей шлицев втулок существенно увеличилась. На основании полученных результатов, с учетом вышеуказанной технологии электромеханической закалки, была предложена схема с тремя вариантами изготовления деталей, имеющих внутреннюю шлицевую поверхность. Выполнен сравнительный анализ эффективности существующих способов и предлагаемого способа изготовления деталей.

## RESULTS OF ELECTROMECHANICAL HARDENING OF THE WORKING SURFACES OF SPLINES OF THE BUSHINGS

*Morozov A.V.<sup>1</sup>, Ereemeev A.N.<sup>1</sup>, Musharapov D.R.<sup>1</sup>, Boltenev A.A.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Ulyanovsk;

<sup>2</sup>Bauman Moscow State Technical University, Moscow

**Keywords:** spline joint, spline surface, spline bushing, electromechanical hardening, hardness.

**Abstract.** In the designs of modern machines and equipment for the transmission of torque, movable straight-line splined joints are widely used, the wear of which during operation can reach significant values. The analysis of the nature of the wear of the splined joints shows that the splined bushings experience the greatest wear compared to the spline shafts. For the most part, this is due to the lack of hardening treatment of the working surfaces of the bushing slots and, consequently, their insufficiently high hardness. Hardening of the working surfaces of the bushing slots is extremely rare, due to difficult access to the working surfaces and the high complexity of the process. To increase the wear resistance and durability of the spline bushings and joints in general, electromechanical hardening of the working surfaces of the spline bushings was used. The paper considers the results of the practical implementation of the method. As a result of the research, it was revealed that after electromechanical hardening, the hardness of the working surfaces of the bushing slots increased significantly. Based on the results obtained, taking into account the above-mentioned electromechanical hardening technology, a scheme was proposed with three options for manufacturing parts with an internal slotted surface. A comparative analysis of the effectiveness of existing methods and the proposed method of manufacturing parts is performed.

**Введение.** Важное значение для обеспечения работоспособности техники в целом имеет надежность и безотказность работы ее отдельных узлов и агрегатов, преждевременный выход которых из строя может привести к потере работоспособности техники и, вследствие этого, ее простоя и финансовым убыткам для предприятия.

В большинстве узлов и агрегатов, применяемых для передачи крутящего момента, используют подвижные прямобочные шлицевые соединения, износ рабочих поверхностей которых может достигать 1...2 мм, в отдельных случаях до 3...4 мм по ширине шлица [1-3].

Проблема износа особенно актуальна для шлицевых втулок, так как отсутствуют эффективные упрочняющие технологии применительно к данным деталям, вследствие затрудненного доступа к рабочим поверхностям и трудоемкости процесса.

Для анализа характера износа шлицев были взяты детали, имеющие износы внутренней шлицевой поверхности (рис. 1): муфта фланца ВМ 150.41.275-1, втулки привода насоса НШ-50А, зубчатые колеса токарно-винторезных станков серий 1И611П, 95-ТВ, 250-ИТВ.

Анализ характера износа боковой поверхности шлицев втулок показывает, что при небольших продольных перемещениях при работе шлицевого соединения изнашивается та сторона шлица, на которую воздействует крутящий момент при работе. Этот износ, учитывая характер работы узла, как правило, односторонний и проявляется в виде небольшой выработки на боковой поверхности шлица. В дальнейшем, при увеличении износа, зазор между шлицами увеличивается и все это приводит к возникновению ударных нагрузок на боковую поверхность шлицев при пуске, что способствует ускорению износа рабочих поверхностей шлицев.

В настоящее время по существующей технологии работоспособность шлицевых соединений восстанавливают заменой деталей на новые. По технологии при изготовлении новых деталей их подвергают объёмной закалке с последующим высоким отпуском (улучшение) до твёрдости 35...38 HRC, после чего проводят окончательную механическую обработку. Однако, как показывает практика, в основном, с целью удешевления процесса изготовления, детали типа «втулка» поставляются без упрочнения и имеют твёрдость 18...21 HRC, что ограничивает срок их эксплуатации [4].

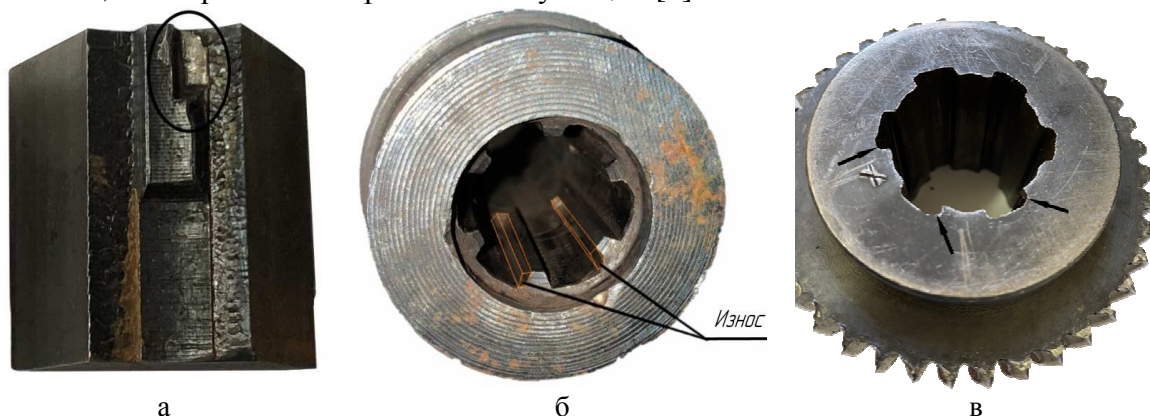


Рис. 1. Износ боковых поверхностей шлицев втулок деталей: а – фрагмент муфты фланца ВМ 150.41.275-1, б - втулка привода насоса НШ-50А, в – зубчатое колесо привода токарно-винторезного станка 1ИС611В -1

**Основная часть.** На основании ранее проведённых исследований [5-8] было выяснено, что для повышения срока службы шлицевой поверхности деталей и всего шлицевого соединения можно использовать электромеханическую закалку (ЭМЗ) рабочих поверхностей шлицев втулок.

Сущность способа электромеханической закалки боковой поверхности шлицев заключается в следующем: в шлицевую часть устанавливается оправка с бронзовым инструментом (рис. 2), на поверхности которого имеются упрочняющие элементы, соответствующие количеству элементов, соответствующие количеству шлицев упрочняемой детали. Для обеспечения надежного контакта и исключения электрической эрозии шлицы и упрочняющие элементы инструмента поджимаются друг к другу поворотом оправки с определённым усилием.

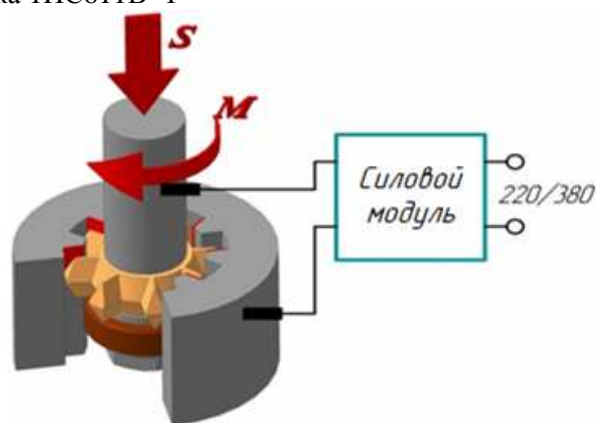


Рис. 2. Схема процесса электромеханической закалки рабочих поверхностей шлицевой детали

На деталь и шлицевый бронзовый инструмент подается технологический ток плотностью  $j = 150 \dots 180 \text{ А/мм}^2$  через токопроводящие шины от источника питания (силового модуля), при этом производится продольное перемещение инструмента вдоль оси детали от одного края шлица до другого. После чего отключают технологический ток, поворотом оправки прижимают упрочняющие элементы к противоположной боковой поверхности шлицев детали. Включают подачу технологического тока той же плотности и перемещают оправку вдоль оси детали в исходное положение, по достижению которого подача технологического тока прекращается.

Для обеспечения центрирования оправки 3 внутри шлицевой втулки при перемещении используют токоизолирующие втулки 2, расположенной в нижней части оправки (рис. 3). Для этого диаметры токоизолирующих втулок выполнены равными внутреннему диаметру шлицевой втулки.

В соответствии с методикой проведения испытаний, было проведено упрочнение рабочих поверхностей шлицев. Для этого были изготовлены детали с внутренней шлицевой поверхностью, создан опытный образец инструмента для электрохимической закали (рис. 3) и скомпонована установка на базе вертикального консольно-фрезерного станка модели 6В11 (рис. 4).

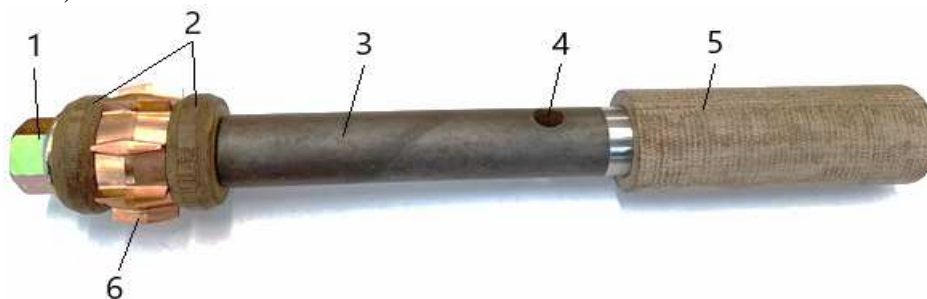


Рис. 3. Инструмент для электрохимической закали рабочих поверхностей шлицевой муфты (патент RU2572677C1): 1 – гайка, 2 – направляющие токоизолирующие втулки, 3 – оправка, 4 – отверстие для крепления токопроводящей шины, 5 – токоизолирующая втулка, 6 – упрочняющие элементы

Фиксация инструмента 1 (рис. 4) в шпинделе вертикального консольно-фрезерного станка 5 осуществлялась через токоизолирующую втулку, изготовленные шлицевые детали 2 закреплялись в трёхкулачковом самоцентрирующемся патроне, закрепленном на столе станка. Подача технологического тока от источника питания 4 на инструмент 1 и шлицевые втулки производилась через токопроводящие шины 3.

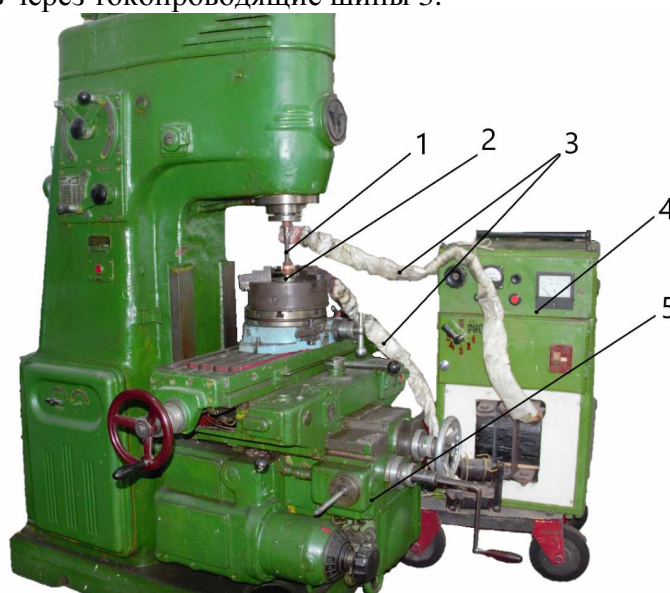


Рис. 4. Экспериментальная установка для ЭМЗ рабочих поверхностей шлицев втулки: 1 – инструмент для ЭМЗ; 2 – экспериментальная шлицевая втулка; 3 – токопроводящие шины; 4 – источник питания; 5 – вертикальный консольно-фрезерный станок 6В11

На рисунке 5 представлены процессы электромеханической закалки рабочих поверхностей шлицевых втулок. Участки оранжевого цвета характеризуют зоны термического воздействия на рабочие поверхности шлицев втулок.

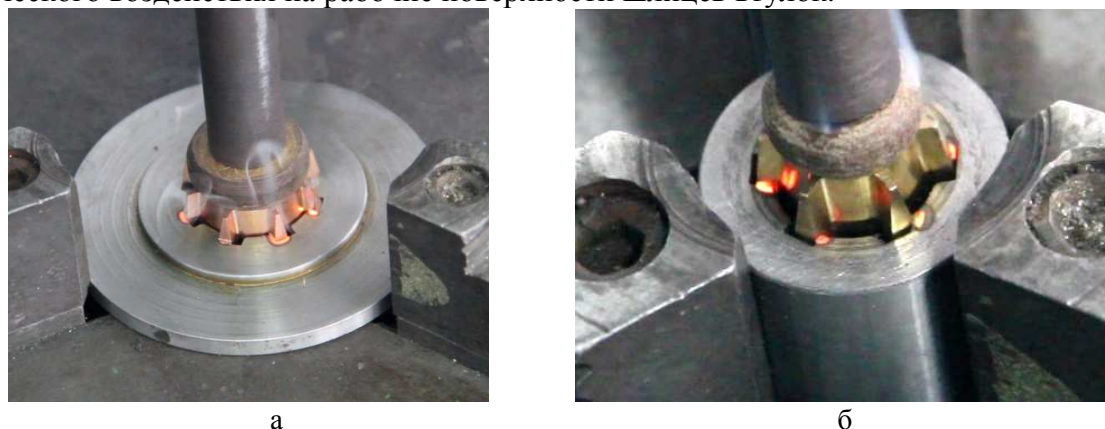


Рис. 5. Процесс электромеханической закалки рабочих поверхностей шлицев втулок, при  $I = 4300$  А;  $v = 100$  мм/мин: а – муфты фланца ВОМ 150.41.275-1; б – шлицевой втулки привода насоса НШ-50А

**Результаты исследования и их обсуждение.** В результате исследований было выявлено, что после электромеханической закалки (рис. б) твердость рабочих поверхностей шлицев втулок увеличилась в среднем с 17 HRC до 56 ...59 HRC, шероховатость рабочих поверхностей шлицев деталей практически не изменилась, по сравнению с первоначальной, и составила  $Ra = 1,38 \dots 1,81$  мкм.

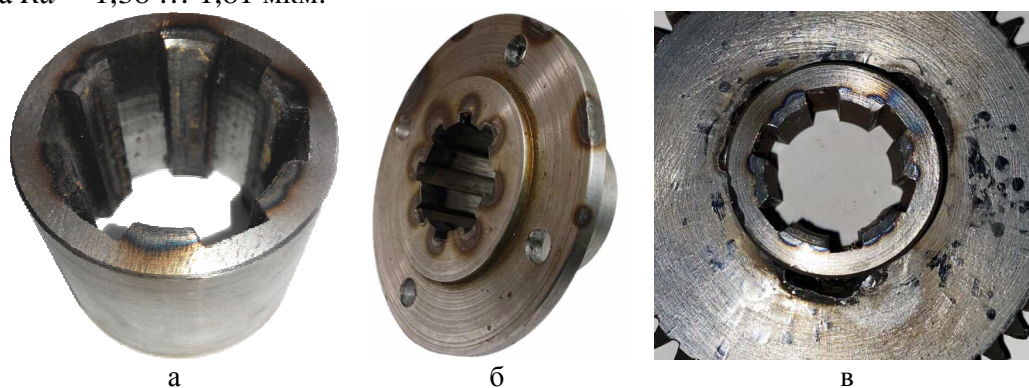


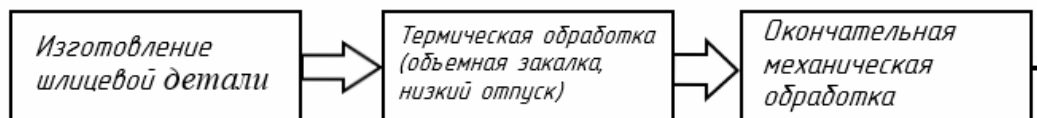
Рис. 6. Детали после упрочнения с характерно выраженными зонами термического воздействия: а – втулка привода насоса НШ-50А, б – муфта фланца привода ВОМ 150.41.275-1, в – зубчатое колесо привода токарно-винторезного станка 1ИС611В -1

На основании полученных результатов была предложена схема с тремя вариантами изготовления шлицевых деталей (рис. 7), учитывающая применение технологии электромеханической закалки. Как уже было сказано выше, в заводских условиях изготавливают шлицевые детали, как с упрочнением, так и без упрочнения рабочих поверхностей. Технология изготовления шлицевых деталей в заводских условиях с упрочнением (рис. 7, I вариант) имеет свои недостатки, а именно: значительную трудоемкость, небольшую глубину упрочнения и меньшую твердость, по сравнению с предлагаемой технологией электромеханической закалки. Для шлицевых деталей, изготовленных в заводских условиях без упрочнения рабочих поверхностей шлицев (рис. 7, II вариант), можно применять технологию электромеханической закалки рабочих поверхностей, перед установкой их в узел. Предлагаемая технология (рис. 7, III вариант) хорошо сочетается в условиях как малых, так и крупных ремонтных мастерских.

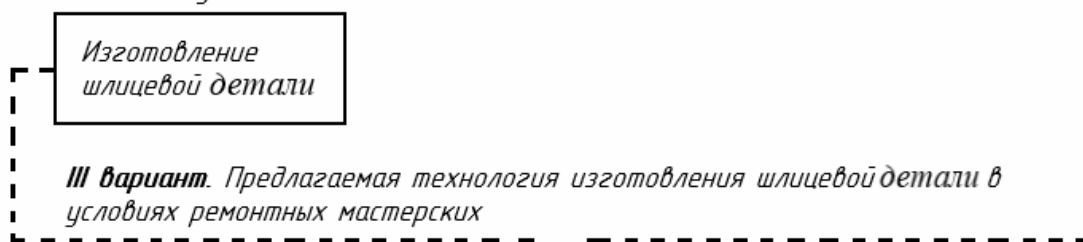
Дополнительно можно отметить, что вместо изготовления новой детали целиком одним из вариантов восстановления зубчатых колес было предложено использовать удаление изношенной шлицевой втулки с последующей постановкой вместо нее новой. Для осуществления данного способа были подобраны изношенные зубчатые колеса, удалены на

токарном станке изношенные шлицевые втулки, изготовлены новые и впрессованы в расточенные отверстия. Для обеспечения надёжной фиксации было проварено соединение между установленными шлицевыми частями и зубчатыми колесами. Для снижения возможных деформаций при короблении применялась сварка полуавтоматом для сварки в среде углекислого газа, обеспечивающая невысокое термическое воздействие на свариваемые детали.

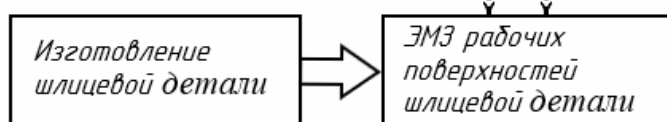
*I вариант. Существующая технология изготовления шлицевой детали в заводских условиях*



*II вариант. Существующая технология изготовления шлицевой детали в заводских условиях*



*III вариант. Предлагаемая технология изготовления шлицевой детали в условиях ремонтных мастерских*



--- Возможный маршрут

Рис. 7. Схема вариантов изготовления шлицевых деталей

Полученные после исследования характеристики деталей, изготовленных и упрочненных по разным технологиям, сведены в таблицу 1.

Табл. 1. Сравнительные характеристики шлицевых деталей

Наименование параметра	Технология изготовления		
	I вариант	II вариант	III вариант
<b>Втулка привода насоса НШ-50А</b>			
Твердость, HRC	35...38	18...21	56...58 на глубину 0,4 мм
Шероховатость Ra, мкм	1,41...1,55	1,75...1,84	1,55...1,68
Трудоемкость изготовления, чел. час	6,2	4,3	5,1
Стоимость, руб.	1845	940	1050
<b>Муфта фланца ВМ 150.41.275-1</b>			
Твердость, HRC	35...38	18...21	56...58 на глубину 0,4 мм
Шероховатость Ra, мкм	1,41...1,55	1,75...1,84	1,55...1,68
Трудоемкость изготовления, чел. час	5,8	4	4,5
Стоимость, руб.	1400	850	955
<b>Зубчатое колесо токарно-винторезных станков серий 1И611П, 95-ТВ, 250-ИТВ</b>			
Твердость, HRC	37...39	17...20	57...59 на глубину 0,4 мм
Шероховатость Ra, мкм	1,38...1,53	1,72...1,81	1,51...1,64
Трудоемкость изготовления, чел. час	7,8	6,3	6,8
Стоимость изготовления, руб.	2100	1100	1350

**Выводы.** Таким образом, анализ полученных характеристик шлицевых деталей, изготовленных и упрочненных по разным технологиям, показывает, что применение предлагаемой технологии позволит повысить твердость и износостойкость рабочих поверхностей шлицев [9, 10]. Упрочненные по предлагаемой технологии детали установлены на технику и технологическое оборудование и в настоящее время проходят испытания в реальных условиях эксплуатации на предприятиях Ульяновской области.

#### Список литературы

1. Пучин Е.А., Новиков В.С., Очковский Н.А., Корнеев В.М., Кравченко И.Н., Кононенко А.С., Гаджиев А.А., Чепурин А.В. Технология ремонта машин: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 110304 "Технология обслуживания и ремонта машин в АПК" / под ред. Е.А. Пучина. – М.: КолосС, 2007. – 488 с.
2. Курчаткин В.В., Тельнов Н.Ф., Ачкасов К.А., Савченко В.И., Бугаев В.Н., Батищев А.Н., Богачев Б.А., Очковский Н.А., Некрасов С.С., Мазаев Ю.В., Новиков В.С., Базаров Е.И., Юдин М.И., Левшин А.Г., Катаргин Н.В., Копчиков Г.П., Осинов В.И. Надежность и ремонт машин: Учеб. для студентов вузов по агроинженерным специальностям / под ред. В.В. Курчаткина. – М.: Колос, 2000. – 775 с.
3. Корнеев В.М., Новиков В.С., Кравченко И.Н., Очковский Н.А., Петровский Д.И. Технология ремонта машин: учебник / под ред. В.М. Корнеева. – М.: ИНФРА-М, 2019. – 314 с.
4. Чеботарёв М.И., Масиенко И.В., Шапиро Е.А. Технология ремонта машин: учебное пособие / под ред. М.И. Чеботарёва. – Москва, Вологда: Инфра-Инженерия, 2020. – 352 с.
5. Аскинази Б.М. Упрочнение и восстановление деталей машин электромеханической обработкой. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1989. – 197 с.
6. Федоров, С.К. Электромеханическая обработка / С.К. Федоров, Л.В. Федорова // РИТМ: Ремонт. Инновации. Технологии. Модернизация. – 2012. - № 2 (70). – С. 14-16.
7. Патент №167359 РФ. Инструмент для электромеханической закалки рабочих поверхностей шлицевых втулок / Морозов А.В., Мушарапов Д.Р., Токмаков Е.А. – Заявка №2016122255 от 06.06.2016; опубл. 10.01.2017, Бюл. №1.
8. Федорова Л.В., Карпенков В.Ф., Федоров С.К., Алексеева Ю.С., Нагнибедова Е.В. Технология и оборудование для упрочнения и восстановления деталей электромеханической обработкой // Техника и оборудование для села. – 2009. – №2. – С. 34-35.
9. Морозов А.В., Федотов Г.Д., Мушарапов Д.Р. Результаты стендовых испытаний на износостойкость прямобочных подвижных шлицевых соединений после упрочнения электромеханической закалкой // Вестник Ульяновской ГСХА – 2019. – №2 (46). – С. 19-23.
10. Морозов А.В., Федотов Г.Д., Мушарапов Д.Р., Шамуков Н.И., Горшков А.Ю. Повышение износостойкости подвижных прямобочных шлицевых соединений электромеханической обработкой // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2020. – Т. 16, №1(181). – С. 14-18.

#### References

1. Puchin E.A., Novikov V.S., Ochkovsky N.A., Korneev V.M., Kravchenko I.N., Kononenko A.S., Gadzhiev A.A., Chepurin A.V. Technology of machine repair: textbook for students of higher educational institutions studying in the specialty 110304 "Technology of maintenance and repair of machines in the agro-industrial complex" / edited by E.A. Puchin. – M.: KolosS, 2007. – 488 p.
2. Kurchatkin V.V., Telnov N.F., Achkasov K.A., Savchenko V.I., Bugaev V.N., Batishchev A.N., Bogachev B.A., Ochkovsky N.A., Nekrasov S.S., Mazaev Yu.V., Novikov V.S., Bazarov E.I., Yudin M.I., Levshin A.G., Katargin N.V., Kopychikov G.P., Osinov V.I. Reliability and repair of machines: Studies for university students in agroengineering specialties / edited by V.V. Kurchatkin. – M.: Kolos, 2000. – 775 p.
3. Korneev V.M., Novikov V.S., Kravchenko I.N., Ochkovsky N.A., Petrovsky D.I. Technology of machine repair: textbook / edited by V.M. Korneev. — M.: INFRA-M, 2019. – 314 p.
4. Chebotarev M.I., Musienko I.V., Shapiro E.A. Machine repair technology: textbook / edited by M.I. Chebotarev. – Moscow, Vologda: Infra-Engineering, 2020. – 352 p.
5. Askinazi B.M. Hardening and restoration of machine parts by electromechanical processing. – 3rd ed., reprint and additional. – M.: Mechanical Engineering, 1989. – 197 p.
6. Fedorov S.K., Fedorova L.V. Electromechanical processing // RHYTHM: Repair. Innovation. Technologies. Modernization. 2012, no. 2(70), pp. 14-16.
7. Patent No. 167359 RU. Tool for electromechanical hardening of working surfaces of spline bushings / Morozov A.V., Musharapov D.R., Tokmakov E.A – Appl. no. 2016122255 from 06.06.2016; publ. 10.01.2017, Bul. No. 1.
8. Fedorova L.V., Karpenkov V.F., Fedorov S.K., Alekseeva Yu.S., Nagnibedova E.V. Technology and equipment for hardening and restoration of parts by electromechanical processing // Machinery and equipment for the village. 2009, no. 2, pp. 34-35.

9. Morozov A.V., Fedotov G.D., Musharapov D.R. Results of bench tests for wear resistance of straight-rolling movable splined joints after hardening by electromechanical hardening // Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2019, no. 2(46), pp. 19-23.
10. Morozov A.V., Fedotov G.D., Musharapov D.R., Shamukov N.I., Gorshkov A.Yu. Increasing the wear resistance of movable straight-wire slotted joints by electromechanical processing // Hardening technologies and coatings. 2020, vol. 16, no. 1(181), pp. 14-18.

*Сведения об авторах:*

*Information about authors:*

<b>Морозов Александр Викторович</b> – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой	<b>Morozov Alexander Viktorovich</b> – doctor of technical sciences, associate professor, head of chair
<b>Еремеев Анатолий Николаевич</b> – кандидат технических наук, доцент, доцент	<b>Eremeev Anatoly Nikolaevich</b> - candidate of technical sciences, associate professor, associate professor
<b>Мушарапов Дамир Рузалевич</b> – аспирант	<b>Musharapov Damir Ruzalevich</b> – postgraduate student
<b>Болтенков Андрей Анатольевич</b> – кандидат технических наук, доцент, декан	<b>Boltenkov Andrey Anatolyevich</b> – candidate of technical sciences, associate professor, dean
erem.an@mail.ru	

*Получена 25.11.2022*