

## РЕЗУЛЬТАТЫ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ПРЯМОБОЧНЫХ ПОДВИЖНЫХ ШЛИЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПОСЛЕ УПРОЧНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ЗАКАЛКОЙ

**Морозов Александр Викторович**, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Материаловедение и технология машиностроения»

**Федотов Геннадий Дмитриевич**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Сервис и механика»

**Мушарапов Дамир Рузалиевич**, аспирант кафедры «Материаловедение и технология машиностроения»

ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

432017, г. Ульяновск, Бульвар Новый Венец, 1; 8(8422)55-95-97,

e-mail: alvi.mor@mail.ru

**Ключевые слова:** шлицевые соединения, электромеханическая закалка, стенд, исследования, износ

Подвижные шлицевые соединения техники сельскохозяйственного назначения эксплуатируются в условиях повышенной запыленности и влажности при больших частотах вращения и скоростях относительного скольжения, при значительных крутящих моментах. Эти факторы определяют долговечность подвижных соединений. Характер повреждения шлицевых соединений в основном зависит от условий их нагружения, конструктивных особенностей, технологии изготовления и упрочнения исполнительных поверхностей. Рабочие поверхности в связи с этим должны обладать высокой прочностью на смятие, хорошей коррозионной стойкостью и износостойкостью при абразивном изнашивании. Необходимое по условиям эксплуатации качество исполнительных поверхностей подвижных шлицевых соединений достигают, применяя электромеханическую обработку шлицев вала и втулки, которая сочетает упрочняющее и отделочное воздействия на обрабатываемую поверхность. В работе исследовалась износостойкость как соединений, так и отдельно взятых валов и втулок с упрочненными и не упрочненными электромеханической закалкой шлицами. При комплексной оценке эффективности применения упрочняющих технологий к деталям и соединениям, подверженным различным видам изнашивания, важными являются стендовые исследования. Разработан стенд для исследований на износостойкость шлицевых подвижных соединений и описаны его конструктивные особенности. Приведены методика и результаты сравнительных исследований при абразивном изнашивании образцов прямобочных шлицевых соединений в зависимости от величины нагружения и продолжительности изнашивания. Установлено, что применение электромеханической закалки боковых рабочих поверхностей прямобочных шлицевых соединений позволяет значительно сократить время приработки и увеличить износостойкость этих соединений примерно в 2 раза.

### Введение

Подвижные прямобочные шлицевые соединения широко применяют в конструкциях техники сельскохозяйственного назначения для передачи мощности от рабочей машины к исполнительным механизмам.

В процессе эксплуатации сельскохозяйственной техники, особенно в экстремальных условиях, шлицевые соединения испытывают значительные нагрузки, иногда превышающие допустимые значения [1, 2].

На долговечность шлицевых соединений значительное влияние оказывают материал деталей, вид и режимы упрочняющей обработки, точность изготовления, зазоры в соединении и качество смазки. Установлено, что долговечность шлицевых соединений в сельскохозяйственных машинах невысока [3, 4]. Необходимость ее повышения возрастает, поскольку наблюдается рост мощности, передаваемой сило-

выми передачами машин.

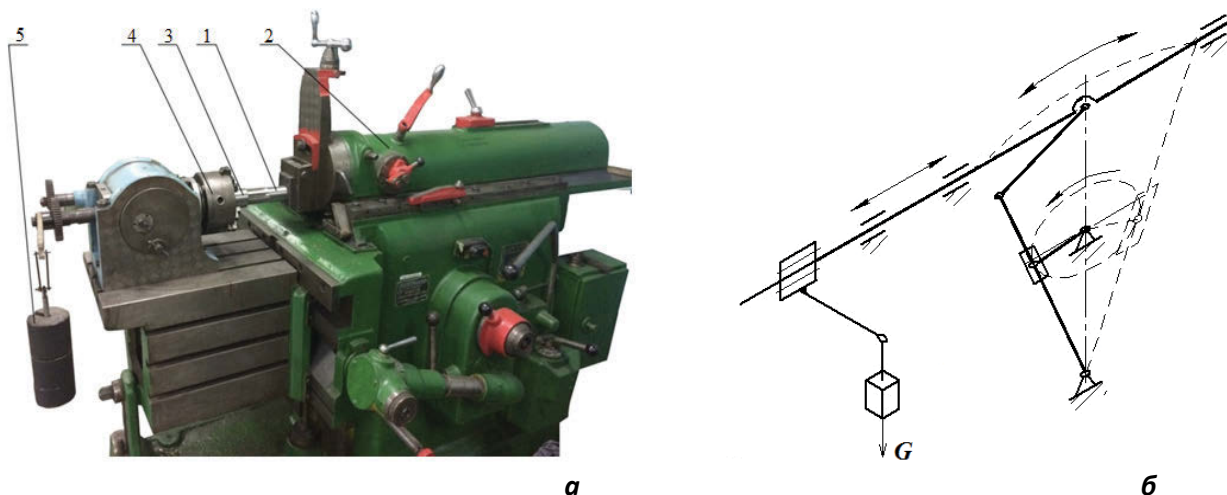
Характер повреждения шлицевых соединений зависит от условий их нагружения, конструктивных особенностей, технологии изготовления валов и втулок и др.

Распространенным дефектом шлицевых соединений является износ контактирующих поверхностей шлицев вала и втулки [2].

Применение эффективных упрочняющих технологий для повышения долговечности шлицевых соединений [5, 6, 7, 8, 9] актуально как при их изготовлении, так и при восстановлении их работоспособности.

По результатам проведенных лабораторных исследований [10, 11, 12] установлена эффективность электромеханической закалки (ЭМЗ) применительно к рабочим поверхностям шлицевых соединений.

При комплексной оценке эффективности применения упрочняющих технологий к дета-



**Рис. 1 – Стенд для износных исследований подвижных шлицевых соединений: а – общий вид стенда: 1, 3 – экспериментальное шлицевое сопряжение; 2 – поперечно строгальный станок 7Б35; 4 – универсальная делительная головка УДГ-Н-160; 5 – статический нагрузитель; б – кинематическая схема стенда:  $G$  – вес нагрузки,  $H$**

**Таблица 1**  
**Гранулометрический состав кварцевой пыли**

Размеры фракций, мм	0,1 – 0,05	0,05 – 0,005	меньше 0,005
Содержание фракций, %	18,1	46,6	35,3

лям и соединениям, подверженным различным видам изнашивания, важными являются стендовые исследования.

При стендовых исследованиях исследуемые объекты подвергают действию нагрузок, сопоставимых или превышающих реальные эксплуатационные нагрузки.

Приближение условий лабораторных исследований к реальным условиям эксплуатации является важной исследовательской задачей как на стадии проектирования стенда, так и при проведении соответствующих исследований.

#### Объекты и методы исследований

Для выполнения исследований на износостойкость шлицевых соединений изготовлен стенд на базе поперечно-строгального станка модели 7Б35 (рис. 1).

Исследуемый шлицевой вал 1 закрепляют в суппорте поперечно-строгального станка 2 с главным прямолинейным возвратно-поступательным движением. Экспериментальную шлицевую втулку устанавливают в патрон универсальной делительной головки 4. Нагрузку на рабочие (боковые) поверхности шлицевого соединения задают статическим нагрузителем 5.

Конструкция стенда является универсальной, состоит из стандартных, широко распространенных изделий и имеет простую компоновку. На стенде можно проводить исследования

шлицевых соединений с использованием как жидкой, так и консистентной смазки, в том числе с добавлением в зону трения абразива.

Длительность исследований составляла 24 часа для каждого экспериментального шлицевого соединения, момент силы, создаваемый статическим нагрузителем, составлял 5, 10 и 15 Н·м. В зону трения рабочих поверхностей исследуемых образцов шлицевых соединений добавляли консистентную смазку (Литол-24) с 5 % содержанием кварцевой пыли. Гранулометрический состав кварцевой пыли приведен в таблице 1.

После исследований образцы промывали в керосине и высушивали в сушильном шкафу в течение 30 минут при 353 К°.

Линейный износ рабочих поверхностей шлицев измеряли микрометром МК-25 (рис. 2, а) в трех точках по длине вала. Итоговым результатом замеров являлась среднеарифметическая величина.

Износ шлицевых втулок измеряли штангенциркулем с электронной шкалой (рис. 2, б).

Для измерения шероховатости рабочих поверхностей шлицев вала и втулки использовали профилометр модели 130. Замеры выполняли до и после стендовых исследований.

#### Результаты исследований

Сравнительным стендовым исследованиям подвергались шлицевые соединения, характеристика которых приведена в табл. 2.

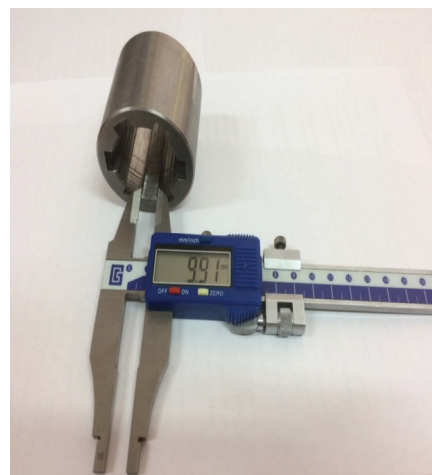
На рис. 3 показана зависимость износа рабочих поверхностей пар трения подвижных шлицевых соединений от момента силы, созда-

ваемого статическим нагрузителем.

С увеличением момента силы, нагружающего рабочие поверхности исследуемых шлицевых соединений с 5 Н·м до 15 Н·м, их суммарный износ увеличился в среднем на 42 %. Наименьший износ зафиксирован у шлицевого соединения № 3 (рис. 3), средний износ которого составил 0,034 мм. Средний износ шлицевого соединения № 2 составил 0,058 мм, что на 41 % больше, чем у соединения № 3. Наибольший износ рабочих поверхностей зафиксирован у пары трения № 1,



а



б

Рис. 2 – Измерение толщины шлица: а - шлицевого вала; б - шлицевой втулки

Таблица 2

Характеристики шлицевых соединений, выполненных из стали 40Х ГОСТ 2590-2006 (количество шлицев – 6)

№ п/п	Деталь	Твердость, НВ, ГПа	Шероховатость поверхности Ra, мкм
Шлицевое соединение № 1			
1	Незакаленный шлицевой вал	2,57	2,0...2,4
2	Незакаленная шлицевая втулка	2,64	2,0...2,4
Шлицевое соединение № 2			
3	Шлицевой вал после ЭМЗ шлицев: $I = 700$ А, $u = 40$ мм/мин.	7,23	1,2...1,6
4	Незакаленная шлицевая втулка	2,64	2,0...2,4
Шлицевое соединение № 3			
5	Шлицевой вал после ЭМЗ шлицев: $I = 700$ А, $u = 40$ мм/мин.	7,25	1,2...1,6
6	Шлицевая втулка после ЭМЗ боковых поверхностей шлицев фасонным бронзовым инструментом [12]: $I = 5000$ А, $u = 66$ мм/мин.	7,22	1,1...1,6

средний суммарный износ соединения составил 0,088 мм, что на 34 % больше износа соединения № 2 и на 61 % - соединения № 3.

На рис. 4 представлены зависимости износа рабочих поверхностей исследуемых пар трения от продолжительности исследований при моменте силы  $M = 10$  Н·м.

В результате стендовых исследований шлицевого соединения № 1 было установлено, что средний износ рабочих поверхностей шлицевого вала составил 0,05 мм, а у шлицевой втулки - 0,051 мм (рис. 4, а). За тот же период исследований шлицевого соединения № 2 средний износ рабочих поверхностей шлицевого вала составил 0,023 мм, а шлицевой втулки - 0,046 мм (рис. 4, б), что на 32 % меньше износа шлицевого соединения № 1. Исследования шлицевого соединения № 3 показали, что средний износ рабочих поверхностей шлицевого вала составил 0,019 мм,

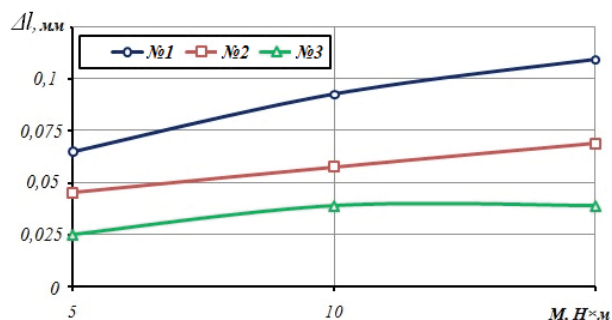
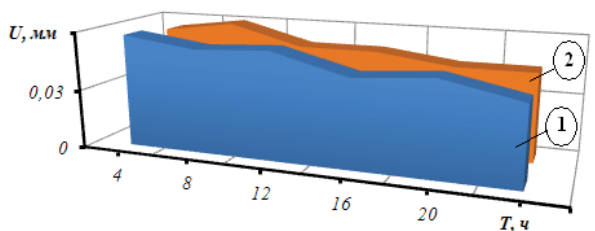


Рис. 3 – График зависимости суммарного износа рабочих поверхностей подвижных шлицевых соединений от момента силы

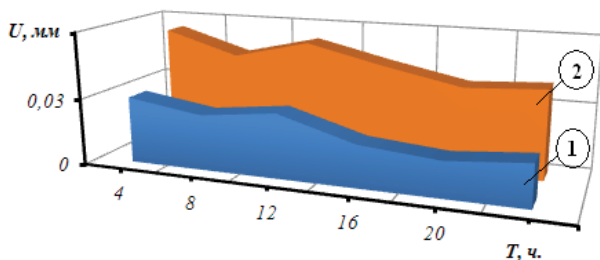
а шлицевой втулки - 0,022 мм (рис. 4, в), что на 41 % меньше износа пары трения № 2 и на 59 % меньше износа пары трения № 1.

После исследований шероховатость рабочих поверхностей стандартных валов и втулок уменьшилась с  $Ra = 2,46$  мкм до  $Ra = 1,70$  мкм,



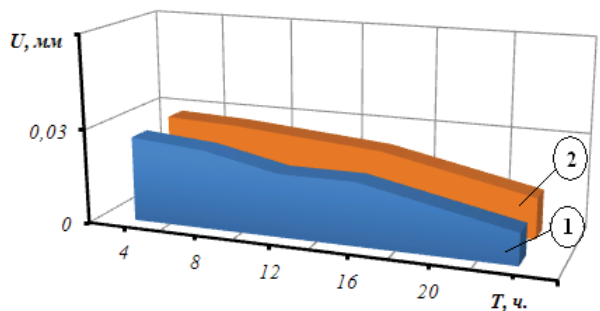
	4	8	12	16	20	24
1 Шлицевой вал	0,058	0,053	0,055	0,045	0,048	0,04
2 Шлицевая втулка	0,055	0,06	0,05	0,05	0,045	0,045

а



	4	8	12	16	20	24
1 Шлицевой вал	0,03	0,025	0,029	0,019	0,016	0,019
2 Шлицевая втулка	0,055	0,045	0,053	0,045	0,038	0,04

б



	4	8	12	16	20	24
1 Шлицевой вал	0,027	0,025	0,02	0,02	0,015	0,01
2 Шлицевая втулка	0,028	0,027	0,025	0,023	0,018	0,013

в

**Рис. 4 – Зависимости износа рабочих поверхностей деталей подвижных шлицевых соединений от продолжительности исследования: а – шлицевое соединение № 1; б – шлицевое соединение № 2; в – шлицевое соединение № 3**

а шероховатость рабочих поверхностей шлицевого вала и втулки после ЭМЗ уменьшилась незначительно - с  $Ra = 1,65$  мкм до  $Ra = 1,62$  мкм. На основании вышеизложенного следует, что применение ЭМЗ рабочих поверхностей шлицев втулок и валов позволяет уменьшить время приработки и износ сопрягаемых поверхностей.

#### Выводы

После ЭМЗ рабочих поверхностей подвижных шлицевых соединений износостойкость валов и втулок увеличивается примерно в 2 раза.

Уменьшение приработочного износа после ЭМЗ позволит уменьшить первоначальный зазор в соединении, что увеличит долговечность его работы за счет снижения контактных напряжений.

#### Библиографический список

1. Лопата, А.Я. Шпоночные и зубчатые (шлицевые) соединения / А.Я. Лопата, И.П. Тартаковский. - Киев: МАШГИЗ, 1979. – 131 с.
2. Скундин, Г.И. Шлицевые соединения / Г.И. Скундин, В.Н. Никитин. - М.: Машиностроение, 1981. – 128 с.
3. Ткачев, В.Н. Износ и повышение долговечности деталей сельскохозяйственных машин / В.Н. Ткачев. - М.: Машиностроение, 1978. – 264 с.
4. Трение, изнашивание и смазка: справочник / под ред. И.В. Крагельского, В.В. Алисиана. – М.: Машиностроение, 1979. – 358 с.
5. Аскинази, Б.М. Упрочнение и восстановление деталей электромеханической обработки / Б.М. Аскинази. - Ленинград: Машиностроение, 1977. - 184 с.
6. Электромеханическая обработка: технологические и физические основы, свойства, реализация / В.П. Багмутов, С.Н. Паршев [и др.]. - Новосибирск: Наука, 2003. - 318с.
7. Jutas, A. Electromechaninio apdirbimo (EMA) įtaka plieno 45 maiaciklio deformavimo ciklinems charakteristikoms ir ilgaamfiškumui / A. Jutas, M. Daunys // Mechanika, Kaunas. - 2000. - № 25 (25). - P. 5-10.
8. Shabashov, V.A. Deformation-induced phase transitions in a highcarbon steel / V.A. Shabashov, L.G. Korshunov, A.G. Mukoseev // Materials Science and Engineering. - 2003. - Vol. A346. - P. 196-207.
9. Farrow, M. Wear resistant coating / M. Farrow, C. Gleave // Trans. Inst. Met. Finish. – 1984. - Vol. 62, pt. 2. - P. 74 -80.
10. Морозов, А.В. Электромеханическая закалка рабочих поверхностей шлицевых втулок техники сельскохозяйственного назначения / А.В. Морозов, Л.В. Федорова, Г.Д. Федотов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. - № 2. – С. 169-175.
11. Исследование влияния режимов электромеханической закалки на физико-механические свойства рабочих поверхностей шлицевых втулок / А.В. Морозов, Н.И. Шамуков, Д.Р. Мушарапов, Е.А. Токмаков // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. - 2015.



- № 3. - С. 57-60.

12. Пат. 2572677. Инструмент для электро-механической закалки рабочих поверхностей шлицевых втулок / А.В.Морозов, Н.Н.Горев, Д.Р.

Мушарапов .- Мушарапов; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВО Ульяновская ГСХА. – Заявка № 2014137601/02 от 16.09.2014; опубл. 20.01.2016 г. Бюл. № 2 – 6 с.

## RESULTS OF BENCH TESTS FOR WEAR RESISTANCE OF MOBILE STRAIGHT-SIDED SPLINE FITTINGS AFTER ELECTROMECHANICAL HARDENING

**Morozov A. V., Fedotov G. D., Musharapov D. R.**

**FSBEI HE Ulyanovsk SAU**

**432017, Ulyanovsk, Novyi Venets Boulevard, 1; 8 (8422) 55-95-97,**

**e-mail: alvi.mor@mail.ru**

*Key words: spline fittings, electromechanical hardening, stand, research, wear.*

*Movable spline fittings for agricultural equipment are operated in high dust and humidity conditions at high rotational speeds and relative slip speeds, with significant torques. These factors determine the durability of mobile fittings. The nature of damage to spline fittings mainly depends on the conditions of their loading, design features, manufacturing technology and hardening of the executive surfaces. Working surfaces, therefore, should have a high crushing strength, good corrosion resistance and wear resistance during abrasive wear. The quality of the executive surfaces of the mobile spline fittings, required by the operating conditions, is achieved by applying electromechanical treatment of the shaft and bushing splines, which combines hardening and finishing effects on the surface to be treated. The wear resistance of fittings, as well as individual shafts and bushings with electromechanically hardened and not hardened splines was studied. Bench studies are important for an integrated assessment of the effectiveness of the use of strengthening technologies for parts and compounds subject to various types of wear. A test bench for research on wear resistance of spline mobile fittings has been developed, and its design features have been described. The methodology and the results of comparative studies for abrasive wear of samples of straight fittings, depending on the size of load and the duration of wear are given. It has been established that the use of electromechanical hardening of the lateral working surfaces of straight spline fittings can significantly reduce the run-in time and increase the wear resistance of these compounds by approximately 2 times.*

### *Bibliography*

1. Lopata, A.Ya. *Splined and cog fittings* / A.Ya. Lopata, I.P. Tartakovsky. - Kiev: MASHGIZ, 1979. - 131 p.
2. Skundin, G.I. *Spline fittings* / G.I. Skundin, V.N. Nikitin. - M.: Machinery design, 1981. - 128 p.
3. Tkachev, V.N. *Wear and increase of durability of agricultural machinery parts* / V.N. Tkachev. - M.: Machinery design, 1978. - 264 p.
4. *Friction, wear and lubrication: a handbook* / ed. by I.V. Kragelsky, V.V. Alisin - M.: Machinery design, 1979. - 358 p.
5. Askinazi, B.M. *Hardening and restoration of parts by electromechanical treatment* / B.M. Askinazi - Leningrad: Mechanical Engineering, 1977. - 184 p.
6. *Electromechanical treatment: technological and physical bases, properties, implementation* / V.P. Bagmutov, S.N. Parshev [et al.]. - Novosibirsk: Science, 2003. - 318 p.
7. Jutas, A. *Electromechaninio apdirbimo (EMA) įtaka plieno 45 maišiklio deformavimo ciklinems charakteristikoms ir ilgaamfiškumui* / A. Jutas, M. Daunys // *Mechanika, Kaunas*. - 2000. - № 25 (25). - P. 5-10.
8. Shabashov, V.A. *Deformation-induced phase transitions in a highcarbon steel* / V.A. Shabashov, L.G. Korshunov, A.G. Mukoseev // *Materials Science and Engineering*. - 2003. - Vol. A346. - P. 196-207.
9. Farrow, M. *Wear resistant coating* / M. Farrow, C. Gleave // *Trans. Inst. Met. Finish.* - 1984. - Vol. 62, pt. 2. - P. 74-80.
10. Morozov, A.V. *Electromechanical hardening of working surfaces of spline bushings for agricultural machinery* / A.V. Morozov, L.V. Fedorova, G.D. Fedotov // *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. - 2015. - № 2. - P. 169-175.
11. *Research of the influence of electromechanical hardening modes on the physical and mechanical properties of the working surfaces of spline bushings* / A.V. Morozov, N.I. Shamukov, D.R. Musharapov, E.A. Tokmakov // *Modern science: current problems and solutions*. - 2015. - № 3. - P. 57-60.
12. Пат. 2572677. *Tools for electromechanical hardening of working surfaces of spline bushings* / A.V. Morozov, N.N. Gorev, D.R. Musharapov. - Publ. 20.01.2016, Bull. No. 2 – 6 p.