

## ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА РЕМОНТА ВТУЛКИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ШАРНИРА РАМЫ ТРАКТОРА К-701 И ЕГО МОДИФИКАЦИЙ ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ЗАКАЛКИ

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

**Шамуков Нязиф Иксанович**, старший преподаватель кафедры «Материаловедение и технология машиностроения»

**Якунин Александр Иванович**, кандидат сельскохозяйственных наук

**Токмаков Евгений Александрович**, магистрант 1 курса

ФГБОУ ВО Ульяновская ГСХА

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

e-mail: alvi.mor@mail.ru

**Ключевые слова:** трактор К-701, вертикальный шарнир рамы, износ отверстия втулки, электрохимическая обработка, электрохимическая закалка, инструментальная державка, микротвердость.

В работе проанализированы причины выхода из строя тракторов марки К-701 и его модификаций. В результате анализа установлено, что большой процент выхода из строя тракторов связан с износом деталей вертикального шарнира рамы. Было установлено, что существующая технология восстановления работоспособности сопряжения «ось - втулка» наплавкой продлевает его послеремонтный ресурс на 60...70 % от нового, что является недостаточным, а приобретение новых деталей значительно увеличит стоимость ремонта. С учетом напряженных условий работы вертикального шарнира рамы трактора К-701 и его модификаций, а также в связи с интенсивностью изнашивания шарнира предложено в существующую схему технологического процесса восстановления втулки вертикального шарнира добавить операцию электрохимической закалки (ЭМЗ) внутренней поверхности втулки. С целью реализации ЭМЗ внутренней поверхности втулки шарнира с минимальными потерями технологического тока разработана и изготовлена двухроликотная инструментальная державка. Проведены лабораторные исследования влияния силы тока на изменение микроструктуры и микротвердости закаленной поверхности втулки вертикального шарнира. В результате исследования распределения твердости по глубине рабочей поверхности втулки горизонтального шарнира, обработанной ЭМЗ, было установлено, что твердость обработанной ЭМЗ рабочей поверхности втулки при силе тока  $I = 800$  А повысилась до 7,4 ГПа, что в 3 раза превышает первоначальную твердость. Глубина упрочненного слоя на предлагаемом режиме ЭМЗ составила 0,43 мм. При силе тока  $I = 600$  А и незначительном снижении твердости глубина упрочненного слоя составила 0,16 мм.

### Введение

Тракторы марок К-701 и Т-150К широко распространены на территории Ульяновской области, они задействованы для выполнения разнообразных сельскохозяйственных работ. Суммарная доля данных тракторов составляет около 20 % всего тракторного парка области.

Отличительной чертой тракторов К-701 и Т-150К является оригинальная компоновочная

схема, которую называют «ломающаяся рама». При движении по пересеченной местности рама трактора не испытывает вредных изгибающих напряжений. Трактор плавно огибает все неровности дороги, что обеспечивает постоянное зацепление всех его колес с почвой и хорошую маневренность.

Дальнейший анализ проводили на примере трактора К-701, так как его детали являются крупногабаритными, что связано с определенными

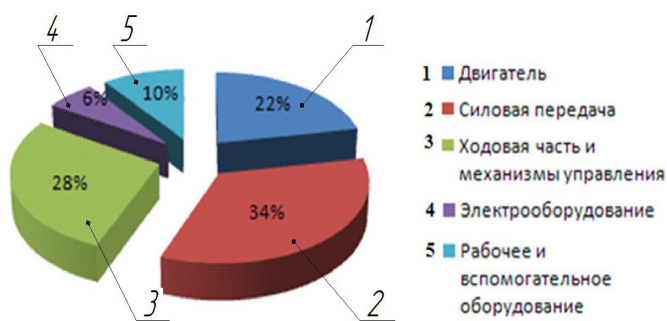


Рис. 1 – Процентное соотношение дефектов тракторов К-701 и его модификаций

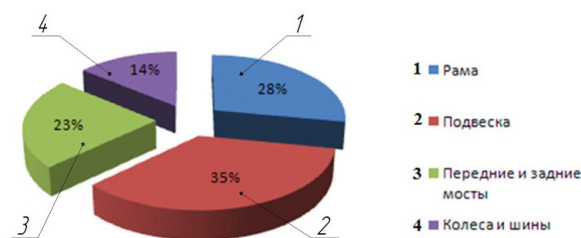


Рис. 2 – Процентное соотношение дефектов ходовой части тракторов К-701 и его модификаций



Рис. 3 – Состав шарнира рамы трактора К-701

сложностями при их ремонте.

На рис. 1 представлена диаграмма процентного соотношения дефектов тракторов К-701.

Из представленной диаграммы следует, что в основном неисправности возникают в силовой передаче, ходовой части и механизме управления. При этом на долю ходовой части трактора К-701 приходится 28 % неисправностей. Существенное влияние на неисправности ходовой части оказывают тяжелые условия эксплуатации в сочетании с большой массой трактора. В дальнейшем были проанализированы основные дефекты ходовой части трактора К-701 и его модификаций. На рисунке 2 представлена диаграмма процентного соотношения дефектов.

Диаграмма (рис. 2) показывает, что основной процент дефектов ходовой части приходится на подвеску и раму.

Рама трактора состоит из двух полурам - передней и задней, соединенных между собой горизонтальным и вертикальным шарнирами (рис. 3). Первый дает возможность полурамам перемещаться при движении по неровной поверхности, второй же обеспечивает «складывание» полурам в горизонтальной плоскости при повороте трактора. В результате уменьшаются ширина трактора (исчезает необходимость в пространстве между шинами и рамой для поворота колеса) и радиус поворота.

#### Объекты и методы исследований

В процессе работы рама и механизмы задней навески испытывают воздействие от постоянно меняющихся по величине и направлению сил реакции сопротивления почвы на сельскохозяйственное орудие, нагрузки при колебаниях



Рис. 4 – Следы износа рабочей поверхности втулки вертикального шарнира

и раскачивании поднятой навесной машины, а также при транспортировке прицепов с грузом. Во время вспашки на раму и навеску действуют силы, которые стараются развернуть трактор относительно направления движения, вследствие чего изнашиваются детали вертикального и горизонтального шарниров, обеспечивающие угловое смещение полурам при поворотах, а также их взаимный поворот относительно горизонтальной оси. Суммарный износ в сопряжениях может достигать до 8...10 мм (рис. 4).

На износ деталей вертикального шарнира существенное влияние оказывают и постоянно попадающие в зазоры между ними абразивная пыль, грязь, влага, остатки удобрений и химикатов, которые вызывают коррозию рабочих поверхностей сопрягаемых деталей.

Также на ось и втулку (рис. 5) действуют значительные нагрузки (рис. 6), существенно влияющие на интенсивность износа сопрягающихся поверхностей.

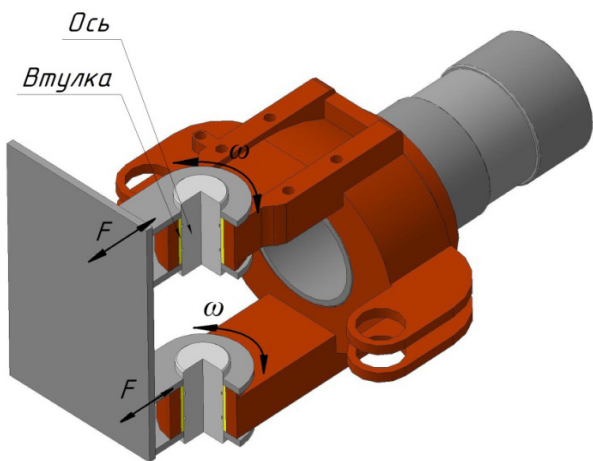


Рис. 5 - Поворотный шарнир трактора К-701

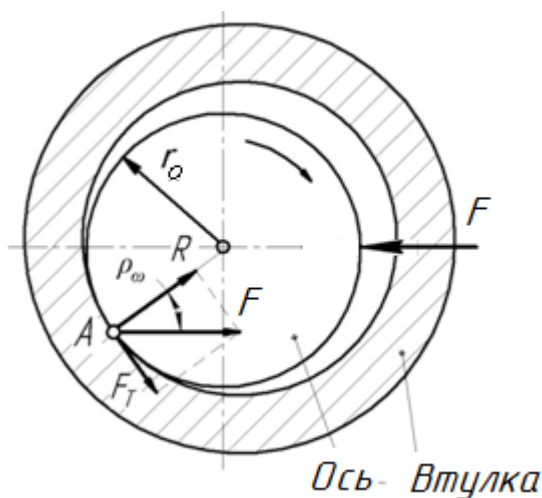


Рис. 6 – Силы, действующие в шарнире на ось и втулку:  $F$  – нагрузка при работе шарнира;  $\rho_\omega$  – угол трения оси во втулке;  $F_T$  – сила трения;  $R$  – сила радиального давления;  $r_0$  – радиус оси

Все указанные выше факторы, как в отдельности, так и в совокупности существенно влияют на изменение геометрии рамы и пространственное расположение деталей механизма навески, что приводит к появлению трещин в лонжеронах, ослаблению сварных, заклепочных и резьбовых соединений, деформации тяг, нарушают работу трактора и машинно-тракторного агрегата.

Работа трения, Дж, в шарнире (рис. 6):

$$A = F_T \cdot r_0 = R \cdot r_0 \cdot \varepsilon \cdot \mu, \quad (1)$$

где  $F_T$  – сила трения, Н;  $r_0$  – радиус оси, м;  $\varepsilon$  – угол поворота оси шарнира относительно втулки, рад.;  $\mu$  – коэффициент трения.

Следовательно, износ элементов шарнира при возрастании радиуса оси увеличивается.

Износостойкость рабочих поверхностей втулок неодинакова в различных зонах эксплуатации. Интенсивность износа шарнира тракторов существенным образом зависит от типа по-

чвы, на которой их эксплуатируют.

Износ поверхности трения за один поворот на угол  $\varphi$  втулки или пальца

$$\Delta = \frac{5,62 \cdot 10^3 \cdot C_a \cdot i \cdot \mu_1 \cdot \sqrt{K_{ш}} \cdot \varphi \cdot N^{0.5}}{H_1 \cdot C_n}, \quad (2)$$

где  $C_a$  – коэффициент, характеризующий свойства абразива;  $i$  – размер абразивного зерна, мм;  $\mu_1$  – коэффициент трения в соединении;  $K_{ш}$  – коэффициент формы шарнира

$$K_{ш} = \frac{R - r}{b_{ш}},$$

$R$  – радиус отверстия втулки, мм;  $r$  – радиус оси, мм;  $b_{ш}$  – ширина шарнира, мм;  $H_1$  – поверхностная твердость оси или втулки, МПа;  $C_n$  – коэффициент, учитывающий периодичность смены поверхности контакта;  $\varphi$  – угол поворота в соединении, рад.;  $N$  – нормальное давление в шарнире, МПа.

Проанализировав формулу (2), можно отметить, что на абразивное изнашивание существенно влияние оказывает поверхностная твердость деталей сопряжения. Управляя данным параметром на стадии восстановления, можно продлить эксплуатационный срок деталей.

Существующая технология восстановления работоспособности сопряжения «ось – втулка» наплавкой продлевает его послеремонтный ресурс на 60...70 % от нового, что является недостаточным. С другой стороны, приобретение новых деталей значительно увеличит стоимость ремонта.

В связи с вышесказанным эффективным направлением повышения послеремонтного ресурса вертикального шарнира рамы является применение в существующей технологической схеме ремонта упрочняющих технологий.

Наряду с традиционными способами ремонта все большее применение получают технологии ремонта с применением электрохимической обработки (ЭМО) [1, 2, 3, 4, 5]. Она характеризуется высоким качеством обработанной поверхности, малыми затратами на расходные материалы, а также энергоэкономичностью и простотой, что позволяет реализовывать ее в условиях ремонтных предприятий средней и малой оснащенности.

С учетом напряженных условий работы вертикального шарнира рамы трактора К-701 и

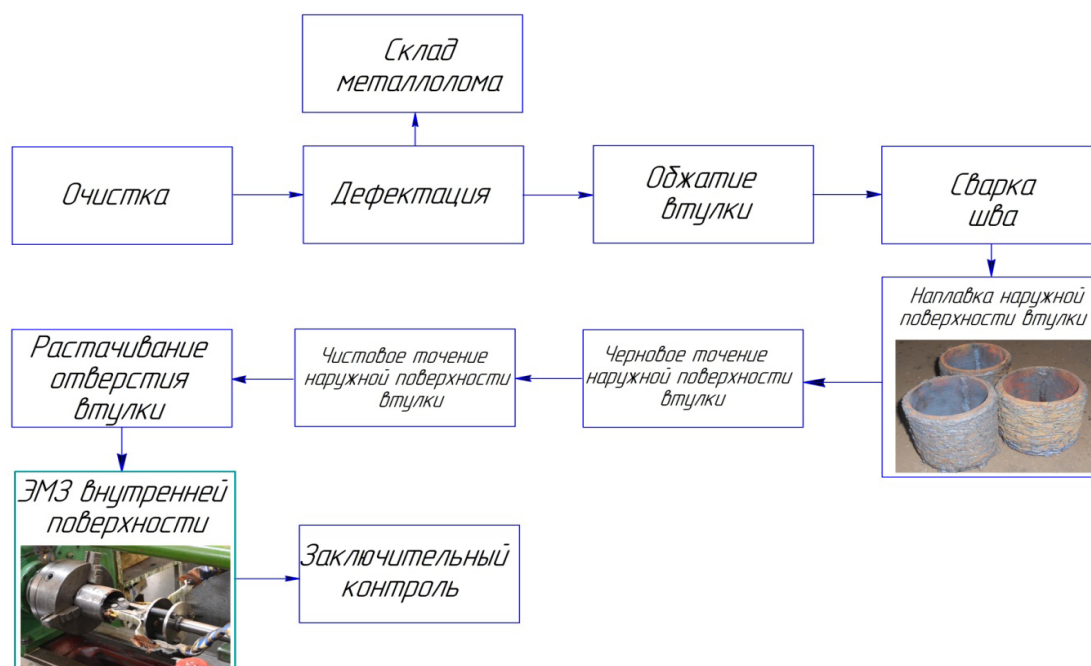


Рис. 7 – Схема технологического процесса восстановления втулки вертикального шарнира с применением ЭМЗ

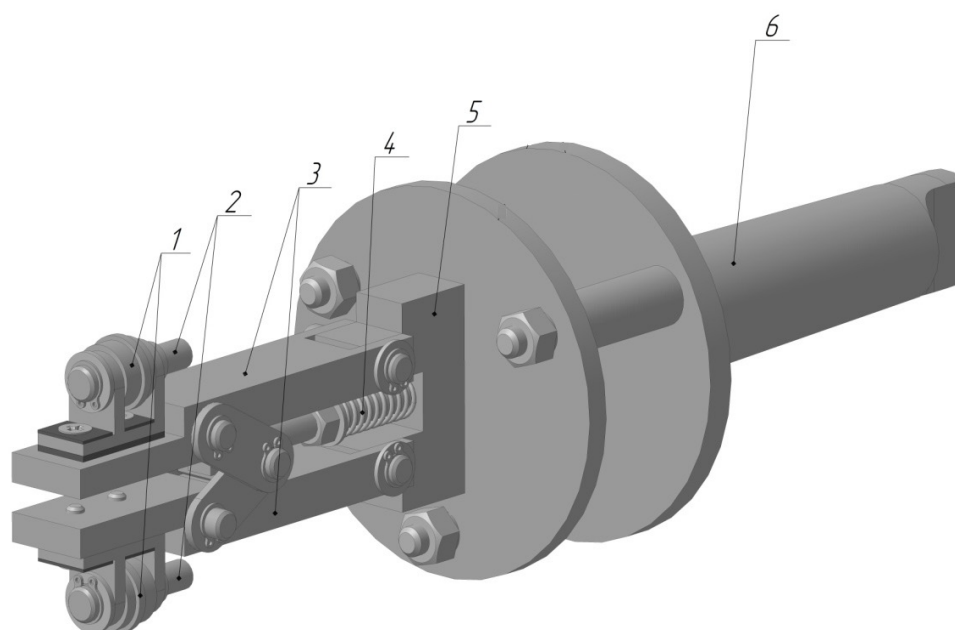


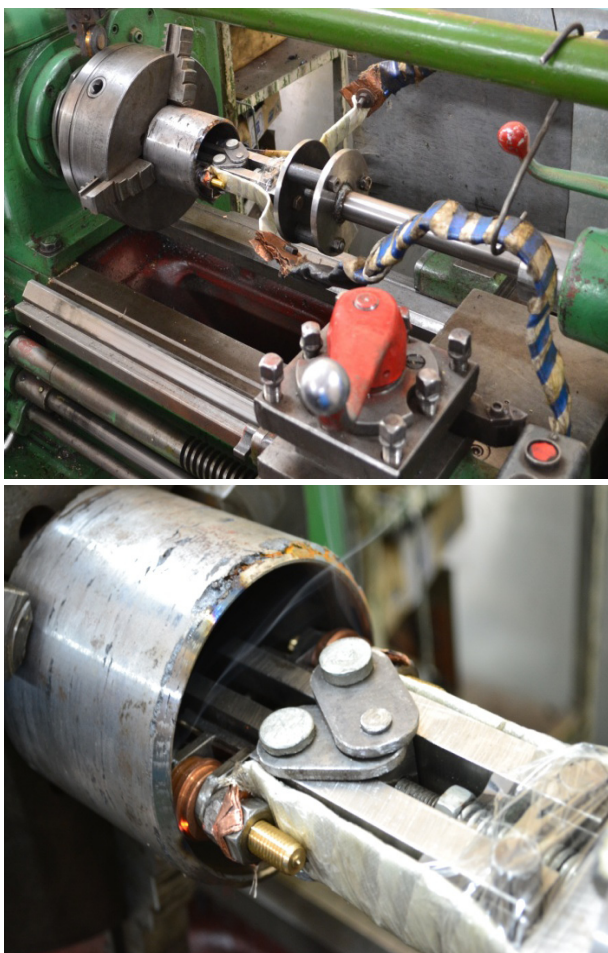
Рис. 8 - Державка для ЭМЗ гладких цилиндрических отверстий

его модификаций, а также в связи с интенсивностью изнашивания шарнира нами предлагается в существующую схему технологического процесса восстановления втулки вертикального шарнира добавить операцию электромеханической заковки (ЭМЗ) [3, 4, 5] внутренней поверхности втулки (рис. 7).

Как показал опыт применения ЭМО, важную роль в достижении требуемого качества обработки играет инструментальная оснастка [2,

6]. Кроме того, отмечается существенное значение точности установки упрочняющих роликов в получении равномерной глубины и ширины закаленного витка. Также среди требований, предъявляемых к конструкции инструментальной оснастки, выделим необходимость обеспечения стабильности работы приспособления в условиях повышенных температур, а также возможность регулирования в широком диапазоне усилия прижатия инструмента.





**Рис. 5 - Экспериментальная установка для ЭМЗ рабочей поверхности втулки вертикального шарнира трактора К-701**

На сегодняшний день разработано большое число различных конструкций инструментальных приспособлений, предназначенных для ЭМО различных по форме поверхностей, отличающихся друг от друга по виду и способу крепления инструмента, его количеству, способу подвода тока к инструменту, схемой передачи рабочего усилия в зону обработки и др. Появление новых модификаций инструментальных приспособлений на современном этапе связано в основном с разработкой многоинструментальных державок с независимой подачей электрического тока к каждому из инструментов.

Для эффективной ЭМЗ внутренней поверхности втулки шарнира с минимальными потерями технологического тока нами разработана и изготовлена двухроликковая инструментальная державка.

Державка (рис. 8) состоит из упрочняющего и контактного роликов 1, вращающихся на осях 2 и установленных на концах раздвижных балок 3. Ролики к обрабатываемой поверхности

прижимает пружина 4. Державку устанавливают в пиноль токарного станка при помощи конуса Морзе 7.

Упрочняющий и контактный ролики изготавливали из безоловянистой бронзы БрХ1 [6]. Ширина контактирующей поверхности роликов составляла 4 мм.

Исследования эффективности ЭМЗ с применением разработанной инструментальной державки проводили на кафедре «Материаловедение и технология машиностроения» Ульяновской ГСХА.

На рис. 5 показана экспериментальная установка для ЭМЗ втулки вертикального шарнира трактора К-701.

Втулку вертикального шарнира фиксировали в патроне станка 1К62, инструментальную державку устанавливали в пиноль станка, токоподводящие кабели подключали к силовому модулю установки ЭМО и к державке. Подводя контактный и упрочняющий ролики к внутренней поверхности втулки, при помощи регулировочного винта и пружины устанавливали требуемое усилие прижатия роликов к обрабатываемой поверхности.

ЭМЗ рабочей поверхности втулки вертикального шарнира трактора К-701 проводили на следующих режимах: сила тока  $I = 600...800\text{А}$ ; усилие прижатия упрочняющего инструмента и контактного ролика  $P = 20\text{ Н}$ ; частота вращения детали  $n = 8\text{ мин}^{-1}$ .

#### **Результаты исследований**

На рисунке 6 представлена микроструктура поверхностного слоя втулки вертикального шарнира, упрочненного ЭМЗ.

При высокоскоростном нагреве доэвтектоидной стали в условиях ЭМЗ становится возможным независимое превращение структурно свободного феррита в безуглеродистое  $\gamma$ -железо, т.е. без взаимодействия между ним и науглероженным аустенитом. С повышением скорости нагрева растворение избыточного феррита в аустените постепенно «подавляется», в результате чего все большая часть феррита нагревается до более высоких температур, при которых создаются термодинамические предпосылки для его бездиффузионного превращения в аустенит, который типичен для чистого железа, с последующим образованием в таких областях малоуглеродистого мартенсита [1, 7].

Распределение твердости по глубине рабочей поверхности втулки горизонтального шарнира, обработанной ЭМЗ, представлено на рисунке 7. Данные зависимости показывают, что

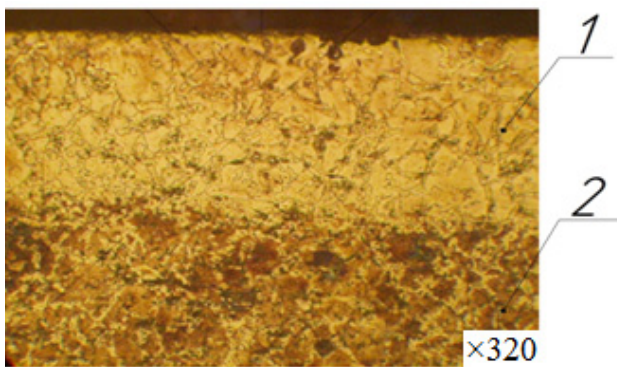


Рис. 6 - Микроструктура рабочей поверхности втулки после ЭМЗ (сталь 45): 1 – бесструктурный мартенсит; 2 – ферритно-перлитная основа

твердость обработанной ЭМЗ рабочей поверхности втулки при силе тока  $I = 800$  А повысилась до 7,4 ГПа, что в 3 раза превышает первоначальную твердость. Глубина упрочненного слоя на предлагаемом режиме ЭМЗ составляет 0,43 мм. При силе тока  $I = 600$  А и незначительном снижении твердости глубина упрочненного слоя составила 0,16 мм.

#### Выводы

Совместное силовое и высокотемпературное воздействие на сталь при ЭМЗ придает поверхности уникальные свойства: бесструктурный мартенсит имеет одновременно и высокую твердость, и ударную вязкость, что позволяет существенно повышать долговечность гладких цилиндрических сопряжений, в том числе вертикального шарнира тракторов К-701 и его модификаций, работающего в условиях абразивного изнашивания и высоких контактных нагрузок.

Установлено, что повышение силы тока с 600 А до 800 А при ЭМЗ рабочей поверхности втулки вертикального шарнира трактора К-701 приводит к существенному (в 2,7 раза) увеличению глубины упрочненных участков при увеличении их твердости на 6 %.

#### Библиографический список

1. Багмутов, В.П. Электромеханическая обработка: технологические и физические основы, свойства, реализация / В.П. Багмутов, С.Н. Паршев, Н.Г. Дудкина, И.Н. Захаров. - Новосибирск: Наука, 2003. – 318 с.
2. Морозов, А.В. Разработка классифика-

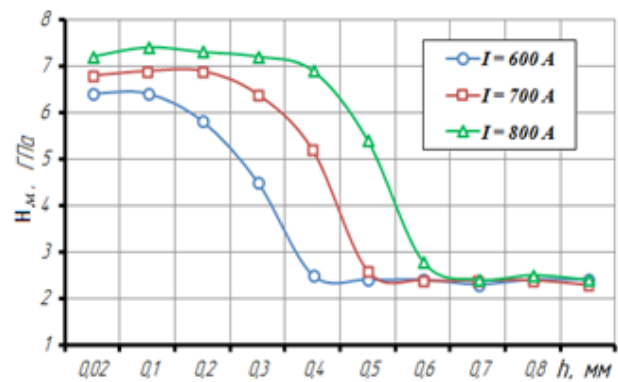


Рис. 7 - Распределение микротвердости  $H_m$  по глубине  $h$  втулки, выполненной из стали 45, после ЭМЗ рабочей поверхности в зависимости от силы тока при  $P = 20$  Н;  $v = 8$  мин<sup>-1</sup>

ции процессов электромеханической обработки отверстий движущимся высокотемпературным полосовым источником / А.В. Морозов, Г.Д. Федотов // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2015. - № 3. С. 44-50.

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

4. Федоров, С.К. Электромеханическая поверхностная закалка втулок трака бульдозера «KOMATSU» / С.К. Федоров, А.В. Морозов // Вестник Алтайского ГАУ. - 2013.- № 3. С. 102-107.

5. Федорова, Л.В. Повышение эффективности электромеханической закалки отверстий гладких цилиндрических подвижных сопряжений, испытывающих одностороннюю радиальную нагрузку / Л.В. Федорова, А.В. Морозов, В.А. Фрилинг // Ремонт, восстановление, модернизация. - 2012. - № 8. С. 49 - 52.

6. Особенности выбора инструмента для электромеханической обработки отверстий деталей машин полосовым высокотемпературным источником / А.В. Морозов, Г.Д. Федотов, С.Н. Петряков, А.Ю. Горшков, Д.Р. Мушарапов // Известия ТулГУ. – 2016. - Выпуск 7 (2). С. 258 – 268.

7. Исследование влияния режимов сегментной электромеханической закалки на формирование участков регулярной микротвердости / А.В. Морозов, Л.В.Федорова, Н.Н. Горев, Н.И. Шамуков // Сборка в машиностроении, приборостроении. - 2016. - № 2. С. 24 – 26.

## REPAIR QUALITY IMPROVEMENT OF VERTICAL PIVOT BUSHING OF K-701 TRACTOR FRAME AND ITS MODIFICATIONS BY MEANS OF INDUCTION HARDENING

**Morozov A.V., Shamukov N.I., Yakunin A.I., Tokmakov E.A.**  
**FSBEI HE Ulyanovsk SAA**  
**432017, Ulyanovsk, Novyi Venets bld., 1;**  
**8 (8422) 55-95-97, e-mail: tokmakov.ewgen@mail.ru**

*Keywords: tractor K-701, vertical frame pivot, bushing bore wear, electromechanical processing, induction hardening, tool holder, microhardness.*

The paper analyzes the reasons for K-701 tractor and its modifications failures. As a result of the analysis, it is stated that a large percentage of tractor failures is associated with the wear of parts of the frame vertical pivot. It was found that the existing technology of restoring the efficiency of the "axis-bushing" joint by means of welding deposit prolongs its post-repair life by 60 ... 70% of the new one, which is rather insufficient, and purchase of new spare parts will significantly increase the cost of repairs. Taking into account the strained working conditions of the vertical frame hinge of K-701 tractor and its modifications, and also in connection with the intensity of the hinge wear, it is proposed to add the operation of electromechanical hardening (EMH) of the inner surface of the bushing to the existing scheme of restoration process of the vertical pivot bushing. In order to realize the EMH of the inner surface of the bushing with minimal loss of technological current, a two-roller tool holder is designed and fabricated. Laboratory research of the current strength effect on the change in microstructure and microhardness of the hardened surface of the vertical pivot bushing has been carried out. As a result of the study of the hardness distribution over the depth of the working surface of the bushing of the horizontal hinge treated with EMH, it was found that the hardness of the treated with EMH working surface of the bushing at the current strength of  $I = 800$  A increased to 7,4 GPa, which is 3 times higher than the initial hardness. The depth of the hardened layer at the proposed EMH regime was 0,43 mm. With the current strength of  $I = 600$  A and a slight decrease in hardness, the depth of the hardened layer was 0,16 mm.

### *Bibliography*

1. Bagmutov, V.P. Electromechanical treatment: technological and physical basis, properties, realization / V.P. Bagmutov, S.N. Parshev, N.G. Dudkina, I.N. Zakharov. - Novosibirsk: Nauka, 2003. - 318 p.
2. Morozov, A.V. Development of process classification of electromechanical hole processing by a moving high-temperature strip source / A.V. Morozov, G.D. Fedotov // Strengthening technologies and covers. - 2015. - № 3. P. 44-50.
3. Morozov, A.V. Electromechanical hardening of working surfaces of splined bushing for agricultural technology / A.V. Morozov, L.V. Fedorova, G.D. Fedotov // Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. - 2015. - №2. P. 169-175.
4. Fedorov, S.K. Electromechanical surface hardening of soil shifter «KOMATSU» bushings / S.K. Fedorov, A.V. Morozov // Vestnik of Altai State Agrarian University. - 2013. - № 3. P. 102-107.
5. Fedorova, L.V. Efficiency increase of electromechanical hardening of holes of smooth cylindrical movable joints experiencing a one-sided radial load / L.V. Fedorova, A.V. Morozov, V.A. Frilling // Repair, restoration, improvement. - 2012. - № 8. P. 49 - 52.
6. Peculiarities of a tool choice for electromechanical processing of car detail holes by strip high-temperature source / A.V. Morozov, G.D. Fedotov, S.N. Petryakov, A.Y. Gorshkov, D.R. Musharapov // Izvestiya of Tula State University. - 2016. - Issue 7 (2). P. 258-268.
7. Research of the effect of segmental electromechanical hardening regimes on formation of regular microhardness areas / A.V. Morozov, L.V. Fedorova, N.N. Gorev, N.I. Shamukov // Assembly in mechanical engineering, instrument making. - 2016. - № 2. P. 24 - 26.