

## ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ ЗАКАЛКА РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПЛУЖНЫХ ЛЕМЕХОВ

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

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

**Шамуков Нязиф Иксанович**, старший преподаватель 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:** сельскохозяйственные орудия, рабочие органы, лемех, износ, электромеханическая закалка, микроструктура, твердость.

В работе проанализированы факторы, влияющие на износ лемехов плугов. Рассмотрен механизм воздействия почвы на лемех в процессе вспашки. Теоретически обосновано влияние твердости материала плужного лемеха на срок его эксплуатации. Выполнен анализ способов восстановления и упрочнения рабочих поверхностей плужного лемеха. Предложен альтернативный способ упрочнения рабочих поверхностей лемехов применением электромеханической закалки (ЭМЗ). Проведены лабораторные исследования влияния силы тока и скорости перемещения инструмента при ЭМЗ на изменение микроструктуры и твердости рабочих поверхностей плужных лемехов. Установлено, что твердость рабочих поверхностей лемеха после ЭМЗ на 6 единиц по Роквеллу превышает твердость лемеха, упрочненного объемной закалкой. Получены уравнения регрессии, устанавливающие влияние технологических факторов ЭМЗ на твердость поверхности плужного лемеха.

### Введение

Рабочие органы сельскохозяйственных машин и орудий работают в условиях интенсивного абразивного изнашивания и имеют сравнительно малую долговечность. В связи с этим повышение эксплуатационной надежности деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин приобретает все большее значение.

Высокие комплексные требования современного сельскохозяйственного машиностроения ставят задачи, которые не могут быть решены применением традиционных видов материалов и их термической и химико-термической обработки, возможности которых или ограничены или уже исчерпаны в большей мере, поэтому задача разработки и совершенствования высокоэффективных технологических процессов, направленных на значительное повышение долговечности рабочих органов сельскохозяйственных машин, является важной и актуальной.

В результате воздействия плужного лемеха на почву она уплотняется, скалывается, а затем перемещается по его рабочей поверхности, вызывая износ. Интенсивность абразивного изнашивания лемеха зависит от состава и состояния почвы, а также скорости ее движения по рабочей поверхности лемеха. Давление почвы на лемех подразделяют на статическое и динамическое.

Рассмотрим трехгранный косо поставленный плоский клин  $BCEA$  (рис. 1)

При перемещении пласта по клину на клин в точке  $n$  действуют силы веса пласта  $Q_p$ , динамического давления  $N_d$  и трения  $F$ .

Продолжительность работы лемеха до восстановления (оттяжки) [1]

$$t = \frac{k_v}{k \cdot \varepsilon \cdot m} \cdot \frac{h_D \cdot H}{p \cdot v_n}, \text{ ч} \quad (1)$$

где  $k_v$  - коэффициент фиксации абразива;  $k$  - коэффициент пропорциональности;  $\varepsilon$  - относительная износостойкость материала;  $m$  - показатель относительной изнашивающей спо-

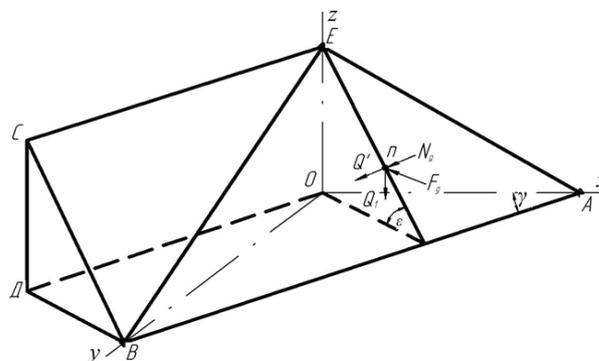


Рис. 1 – Расчетная схема к взаимодействию обрабатываемой почвы с клиновой поверхностью лемеха

способности абразива;  $h_D$  - допустимый износ до предельного затупления, см;  $H$  – твердость материала, Па;  $p$  – давление абразива на поверхность трения, Па;  $U_n$  - скорость движения рабочего органа, м/с.

Показатель относительной изнашивающей способности абразива, входящего в состав почвы [1]:

$$m = \frac{\Delta l}{\Delta l_{ЭТ}}, \quad (2)$$

где  $\Delta l$  - интенсивность изнашивания образца любой взятой почвы;  $\Delta l_{ЭТ}$  - интенсивность изнашивания образца почвой, принятой за эталон.

Из формулы (1) следует, что время работы плуга до ремонта зависит, в частности, от твердости материала плужного лемеха, и, повышая ее, можно увеличить срок его эксплуатации [1, 2, 3].

**Таблица 1**

**Способы восстановления и упрочнения плужных лемехов**

Способ восстановления и упрочнения	Материал	Недостаток способа
Дуговая и плазменная наплавки	«Сормайт 1», Т-590, Т-620	Высокий процент получения некачественных покрытий
Индукционная наплавка	«Сормайт 1», ПГ-УС25, ПГ-С27М, ПС-6	Высокая себестоимость
Наплавка порошковыми проволоками	ПП-АН-123, ПП-АН-125	Возникновение термической деформации
Газопламенная наплавка	ПГ-С27, ПГ-ФБХ-6-2, ПС-14-60	Низкая износостойкость восстановленных деталей
Намораживание	ПГ-С27, ПГ-ФБХ-6-2, ПС-С1, ПГ-УС25	Плохая сцепляемость покрытия с основой
Наклейка керамических пластин	ТК-Г, «Лунат-2»	Низкая стойкость в условиях удара
Объемная закалка	-	Большие внутренние напряжения (возникают трещины), коробление
Закалка токами высокой частоты	-	Высокая себестоимость, большие расходы электроэнергии

Изношенные лемеха чаще всего восстанавливают кузнечной оттяжкой. После восстановления лемеха подвергают упрочняющей обработке. Способы восстановления и упрочнения плужных лемехов приведены в таблице 1.

Приведенные способы восстановления и упрочнения имеют высокую себестоимость, большие расходы электроэнергии и затраты на материалы, формирующие упрочняющие покрытия, характеризуются низкой износостойкостью восстановленных деталей и т.д.

Значительное место среди упрочняющих технологий для рабочих органов сельскохозяйственных машин занимает электрохимическая закалка ЭМЗ [4, 5, 6, 7, 8, 9]. При глубоком упрочнении на жестких режимах по току в конечной структуре стали, наряду с мартенситом, присутствует (до 15...20 %) остаточный аустенит [10], что особенно важно в условиях абразивного изнашивания.

В связи с этим мы предлагаем рабочие поверхности лемехов после их восстановления оттяжкой упрочнять ЭМЗ. В результате этого упрочнения значительно повышается долговечность плужных лемехов, а энергосиловое оборудование и технологическая оснастка для ЭМЗ размещается на малых площадях и может быть использована в небольших фермерских хозяйствах.

**Объекты и методы исследований**

В качестве объекта исследования был выбран трапециевидный лемех, изготовленный из стали Л65 после восстановления оттяжкой и шлифования до достижения требуемого угла заточки.

ЭМЗ лемеха проводили на вертикально-фрезерном станке 6В11 однороликовым бронзовым инструментом из Бр.Х1 с автоматическим перемещением платформы в горизонтальном направлении (рис. 2), что позволило контролировать скорость ЭМЗ, обеспечивая требуемое качество упрочнения по условиям эксплуатации.

Для оценки качества упрочнения и прогнозирования долговечности лемехов проводили металлографические исследования [11, 12] полученной структуры металла на разных режимах ЭМЗ (рис. 3).

**Результаты исследований**

Структура упрочненного слоя лемеха представляет собой «белый слой», состоящий из «бесструктурного» мартенсита и остаточного аустенита после ЭМЗ с самоотпуском [4, 5].

На рисунке 4 представлена микроструктура лемеха, обработанного ЭМЗ (сталь Л65) при

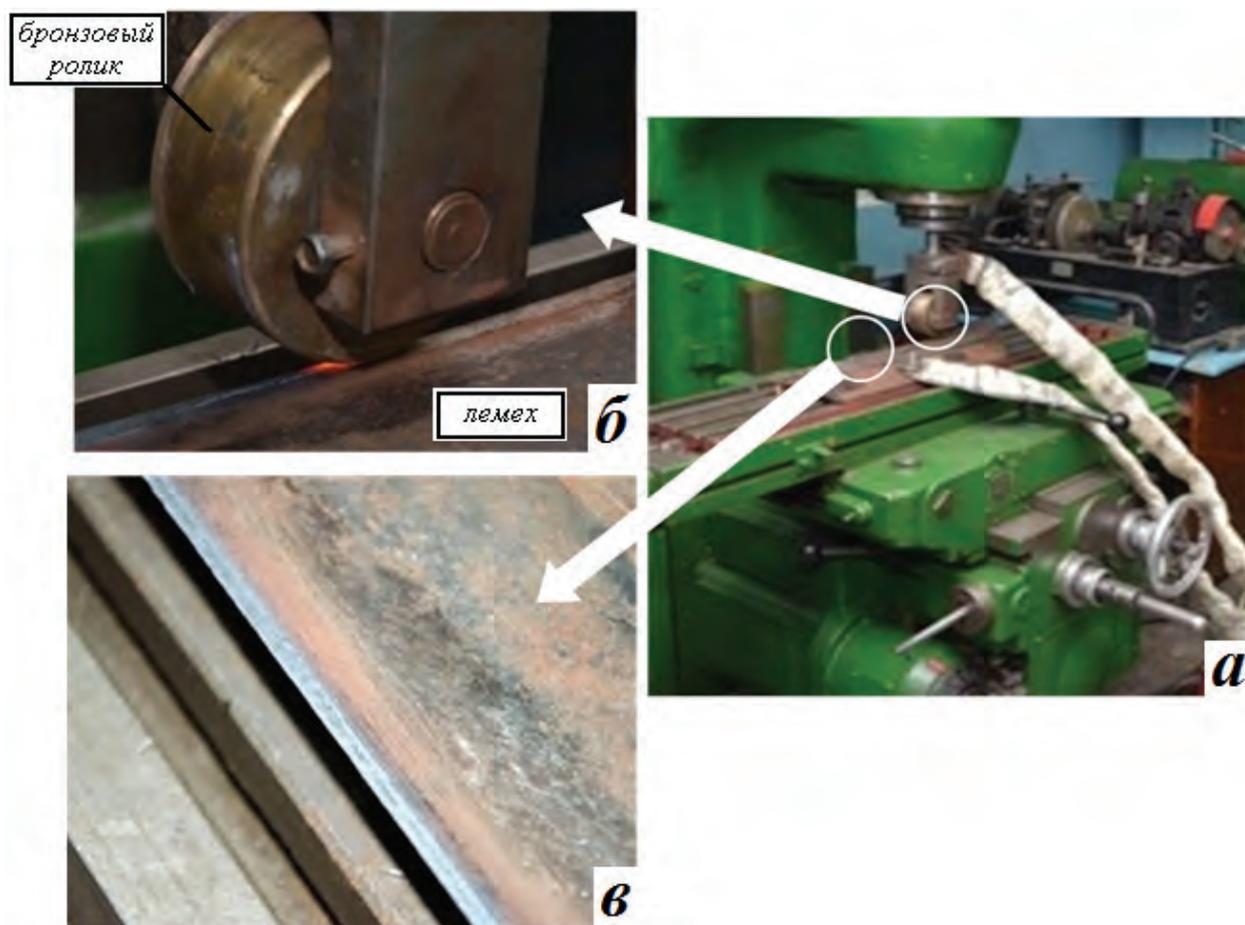


Рис. 2 - ЭМЗ рабочей поверхности лемеха: а – общий вид установки для ЭМЗ; б – процесс ЭМЗ; в - рабочая поверхность лемеха после ЭМЗ

следующих режимах: сила тока  $I = 700$  А, скорость обработки  $u = 99$  мм/мин, усилие прижатия ролика к упрочняемой поверхности лемеха  $P = 40$  Н.

На рис. 5 представлена зависимость твердости рабочих поверхностей лемеха от способа его восстановления.

Как видно из гистограммы, наибольшая твердость рабочей поверхности лемеха достигается после ЭМЗ – в среднем 64 HRC, что на 6 единиц превышает твердость лемеха после объемной закалки ( $t = 780...820$  °С, охлаждение в воде  $t = 30...40$  °С) с последующим средним отпуском. Это объясняется тем, что после объемной закалки для стабилизации внутренних напряжений назначается средний отпуск ( $t = 350$  °С) с охлаждением на воздухе [13, 14].

С целью обоснования технологических режимов ЭМЗ лемеха из стали Л65 по твердости [15] (табл. 2) после обработки экспериментальных данных в программе Statistica было получено уравнение регрессии, устанавливающее влияние технологических режимов ЭМЗ на твер-

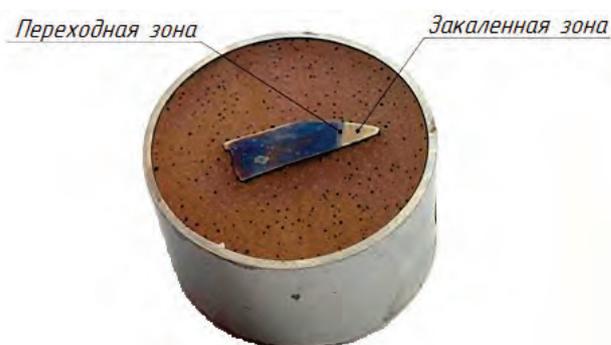


Рис. 3 – Микрошлиф рабочей поверхности лемеха после ЭМЗ

дость обработанной поверхности:

$$HRC = 55,556 + 0,0176I - 0,018u \quad (4)$$

где HRC – твердость обработанной поверхности.

Значимость коэффициентов уравнения регрессии оценивали с помощью модуля «Фиксированная нелинейная регрессия» программы Statistica.

На рис. 6 представлено графическое изображение поверхности отклика от режимов

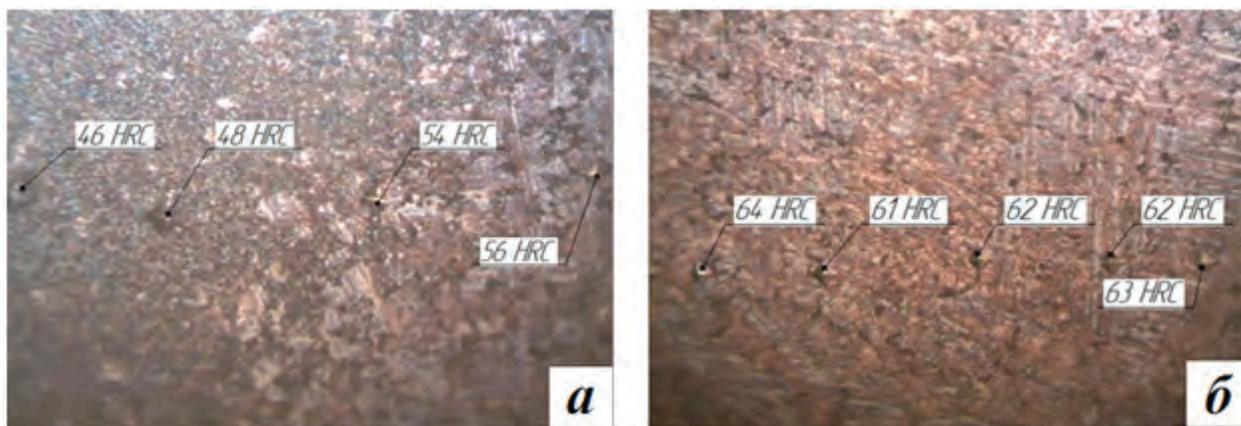


Рис. 4 - Микроструктура леме́ха ( $\times 320$ ) из стали Л65, обработанного ЭМЗ: а - переходная зона; б - закаленная зона

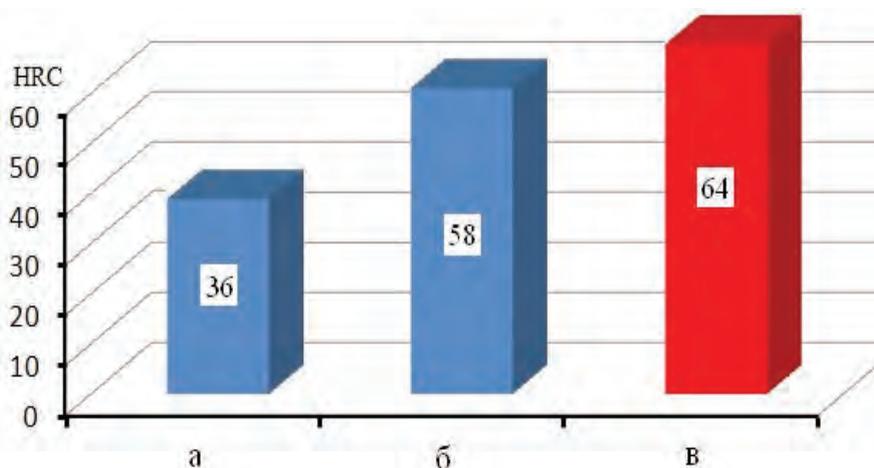


Рис. 5 - Твердость рабочих поверхностей леме́ха: а – после восстановления оттяжкой и нормализации; б - после восстановления оттяжкой и объемной закалки с последующим средним отпуском; в - после восстановления оттяжкой и ЭМЗ ( $I = 700 \text{ A}$ ;  $v = 99 \text{ мм/мин}$ ;  $P = 40 \text{ Н}$ )

Таблица 2

Значения исследуемых факторов

Уровень	Фактор		Твердость, HRC
	Сила тока, I, A	Скорость ЭМЗ, v, мм/мин	
Верхний (+1)	700	99	64
Средний (0)	600	66	57
Нижний (-1)	500	33	46
Кодовое обозначение	$X_1$	$X_2$	$Y$

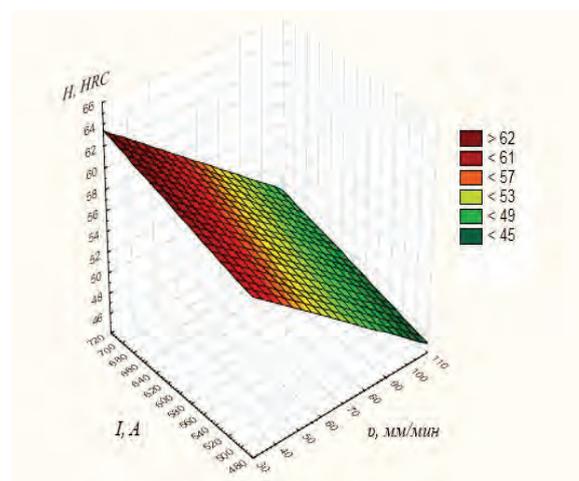


Рис. 6 - Графическое изображение поверхности отклика от силы тока и скорости обработки при ЭМЗ плужных леме́хов

ЭМЗ лемеха из стали Л65.

Уравнение (4) в кодированных значениях факторов имеет следующий вид:

$$Y = 55,055 + 5,667X_1 - 1,95X_2 \quad (5)$$

Из уравнения следует, что большее влияние на твердость оказывает сила тока  $X_1$ , причем её увеличение приводит к увеличению твердости материала плужного лемеха.

Исследования показали, что время работы до затупления лемеха из стали Л65 после восстановления геометрии и упрочнения ЭМЗ увеличилось в 1,7...1,9 раза по сравнению со временем работы лемеха, восстановленного его оттяжкой и нормализацией.

#### Выводы

1. Исследования микроструктуры упрочненной рабочей поверхности лемеха показали, что после ЭМЗ микроструктура металла состоит из мелкодисперсного мартенсита с наличием остаточного аустенита (до 15...20 %), значительно повышающего износостойкость лемеха при абразивном изнашивании.

Сталь Л65 после ЭМЗ имеет твердость на 5...7 единиц больше по сравнению с объемной закалкой и в 1,7...1,9 раза большую твердость, чем после нормализации.

#### Библиографический список

1. Износ и коррозия сельскохозяйственных машин / М.М. Севернев, Н.Н. Подлекарев, В.Ш. Сохадзе, В.О. Китиков; под ред. М.М. Севернева. - Минск: Беларус. навука, 2011. - 333 с.

2. Трение, изнашивание и смазка: справочник / под ред. И.В. Крагельского, В.В. Алишина. - М.: Машиностроение, 1979. - 358 с.

3. Морозов, А.В. Характер изнашивания лемехов плугов / А.В. Морозов, Е.А. Токмаков // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения. - Ульяновск, 2017. - С. 200-203.

4. Аскинази, Б.М. Упрочнение и восстановление деталей электромеханической обработкой / Б.М. Аскинази. - Л.: Машиностроение, 1977. - 184 с.

5. Электромеханическая обработка: технологические и физические основы, свойства,

реализация / В.П. Багмутов, С.Н. Паршев [и др.]. - Новосибирск: Наука, 2003. - 318с.

6. Федорова, Л.В. Повышение износостойкости втулки балансира трактора МТЗ-80.1 избирательной электромеханической закалкой / Л.В. Федорова, А.В. Морозов, В.А. Фрилинг // Известия ТулГУ. - 2012. - Выпуск 9. - С. 18-21.

7. Морозов, А.В. Повышение послеремонтного ресурса сопряжения привода вытальквателя штампа станка ПШ-2 применением процессов электромеханической обработки / А.В. Морозов, Г.Д. Федотов // Научное обозрение. - 2012. - № 4. - С. 230-236.

8. Морозов, А.В. Избирательная электромеханическая закалка деталей подверженных двустороннему износу / А.В. Морозов, В.А. Фрилинг, Н.И. Шамуков // Вестник Саратовского государственного аграрного университета им. Н.И. Вавилова. - 2013. - № 11. - С. 52-55.

9. 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.

10. 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.

11. Farrow, M. Wear resistant coating / M. Farrow, C. Gleave // Trans. Inst. Met. Finish. - 1984. - Vol. 62, pt. 2. - P. 74 -80.

12. Методы исследования материалов / Л.И. Тушинский, А.В. Плохов, А.О. Токарев, В.И. Синдеев. - М.: Мир, 2004. - 384 с.

13. Самохоцкий, А.И. Технология термической обработки металлов / А.И. Самохоцкий, Н.Е. Парфеновская. - М.: Машиностроение, 1976. - 311 с.

14. Ebert, L.J. Behavioral Model for the Fracture of Surface Hardened Components. / L.J. Ebert, F.T. Krotine, A.R. Troiano. // Trans. ASME. Ser. D: Journal of Basic Engineering. - 1965. - P. 87.

15. Методика выбора и оптимизации контролируемых параметров технологических процессов: методические указания. - М.: Изд. Стандартов, 1978. - 112 с.

## ELECTROMECHANICAL HARDENING OF WORK SURFACES OF PLOUGHSHARES

**Morozov A.V., Fedotov G.D., Shamukov N.I.**  
**FSBEI HE Ulyanovsk SAU**  
**432017, Ulyanovsk, Novyy Venets Boulevard, 1; tel.: 8 (8422) 55-95-97,**  
**e-mail: alvi.mor@mail.ru**

*Keywords: agricultural tools, working bodies, plowshares, wear, electromechanical hardening, microstructure, hardness.*

*The paper analyzes the factors which affect wear of plowshares. The mechanism of soil impact on the plowshare during plowing is considered. The effect of the material hardness of the plowshare on its service life is theoretically justified. The analysis of ways to restore and harden the working surfaces of the plowshare was carried out. An alternative method of hardening the working surfaces of plowshares using electromechanical hardening (EMP) is proposed. Laboratory studies on the effect of current rate and the tool speed of movement during an EMP on the change in microstructure and hardness of the working surfaces of plowshares were carried out. It has been established that the hardness of the working surfaces of the plowshare after the EMP is 6 Rockwell units higher than the hardness of the plowshare strengthened by bulk quenching. The regression equations are obtained that establish the influence of the technological factors of the EMP on the surface hardness of the plowshare.*

### *Bibliography*

1. *Wear and corrosion of agricultural machinery / M.M. Severnev, N.N. Podlekarev, V.Sh. Sokhadze, V.O. Kitikov; ed. by M.M. Severnev. - Minsk: Belarus. Navuka, 2011. - 333 p.*
2. *Friction, wear and lubrication: a handbook / ed. by I.V. Kragelsky, V.V. Alisin - M.: Mashinostroenie, 1979. - 358 p.*
3. *Morozov, A.V. The nature of plowshare wear / A.V. Morozov, E.A. Tokmakov // Agrarian science and education at the present stage of development: experience, problems and solutions. - Ulyanovsk, 2017. - P. 200-203.*
4. *Askinazi, B.M. Hardening and restoration of parts by electromechanical processing / B.M. Askinazi - L.: Mashinostroenie, 1977. - 184 p.*
5. *Electromechanical processing: technological and physical bases, properties, implementation / V.P. Bagmutov, S.N. Parshev [et al.]. - Novosibirsk: Nauka, 2003. - 318p.*
6. *Fedorova, L.V. Improving the wear resistance of MTZ-80.1 tractor balance bar bushing by selective electromechanical hardening / L.V. Fedorova, A.V. Morozov, V.A. Freeling // Izvestiya of TULSU. - 2012. - Issue 9. - P. 18-21.*
7. *Morozov, A.V. Increase of the post-repair resource of mating the drive of the pusher of the stamp of the machine PSh-2 using the processes of electromechanical processing / A.V. Morozov, G.D. Fedotov // Scientific Review. - 2012. - № 4. - P. 230-236.*
8. *Morozov, A.V. Electromechanical hardening of parts subject to dual wear / A.V. Morozov, V.A. Freeling, N.I. Shamukov // Vestnik of Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. - 2013. - № 11. - P. 52-55.*
9. *Jutas, A. Electromechanical apdirbimo (EMA) įtaka plieno 45 maiaklio deformavimo ciklinems charakteristikoms ir ilgaamfiškumui / A. Jutas, M. Daunys // Mechanika, Kaunas. - 2000. - No. 25 (25). - P. 5-10.*
10. *Shabashov, V.A. Deformation-induced phase transitions in highcarbon steel / V.A. Shabashov, L.G. Korshunov, A.G. Mukoseev // Materials Science and Engineering. - 2003. - Vol. A346. - P. 196-207.*
11. *Farrow, M. Wear resistant coating / M. Farrow, S. Gleave // Trans. Inst. Met. Finish. - 1984. - Vol. 62, pt. 2. - P. 74-80.*
12. *Methods of material research / L.I. Tushinsky, A.V. Plokhov, A.O. Tokarev, V.I. Sindeev. - M.: Mir, 2004. - 384 p.*
13. *Samokhotsky, A.I. Technology of heat treatment of metals / A.I. Samokhotsky, N.E. Parfenovskaya. - M.: Mashinostroenie, 1976. - 311 p.*
14. *Ebert, L.J. Behavioral Model for the Fracture of Surface Hardened Contemporaries. / L.J. Ebert, F.T. Crotine, A.R. Troiano. // Trans. ASME. Ser. D: Journal of Basic Engineering. - 1965. - P. 87.*
15. *Methods of selection and improvement of controlled parameters of technological processes: guidelines. - M.: Publishing house of Standards, 1978. - 112 p.*