



УДК 669.1:66.04

DOI 10.17073/0368-0797-2026-4-374-380



Оригинальная статья

Original article

СОПРОТИВЛЕНИЕ ИЗНАШИВАНИЮ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

В. Н. Пустовойт, Ю. В. Долгачев

■ Донской государственный технический университет (Россия, 344003, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1)

✉ ydolgachev@donstu.ru

Аннотация. Долговечность машиностроительных деталей лимитируется допустимой степенью износа. При термической обработке деталей в магнитном поле отмечаются изменения в структуре и механических свойствах материалов, поэтому представляется актуальным оценить влияние данной технологии на сопротивление изнашиванию. Такую оценку можно провести с помощью лабораторных, стендовых и натурных испытаний. Целью настоящей работы являлась оценка изменения в показателях, характеризующих износ, при проведении операций термической обработки с наложением постоянного магнитного поля в сравнении со стандартными режимами обработки. Магнитные поля напряженностью порядка 1,5 МА/м получали в межполюсном зазоре электромагнита ФЛ-1. Исследуемые образцы изготавливались из стали У8 и ковкого ферритного чугуна КЧ 33-8, которые подвергались закалке от температуры нагрева в печи 1000 °С. Образцы испытывали при трении о закрепленные абразивные частицы под постоянной нагрузкой на машине трения Х4-Б по традиционной методике. Максимальный эффект в увеличении износостойкости наблюдается после закалки деталей в магнитном поле. Проведение низкого отпуска несколько снижает износостойкость, что вызвано повышением пластичности и изменениями в механизмах разрушения. После закалки в магнитном поле проведение отпуска также в магнитном поле позволяет сохранить износостойкость на более высоком уровне. После термообработки в магнитном поле имеет место уменьшение вырывов и выкрашиваний (хрупкого разрушения) по краям царапин от абразивных частиц. Статистический анализ профилограмм поверхностей трения свидетельствует о большей равномерности в расположении структурных барьеров для микроструктуры стали, обработанной с магнитным полем. Сравнительные стендовые и полевые испытания показали эффективность термической обработки в магнитном поле, которая обеспечивает прирост износостойкости деталей сельскохозяйственной техники до 1,4 раза.

Ключевые слова: износостойкость, долговечность, закалка, отпуск, магнитное поле, стали, чугуны, детали машин, почвообрабатывающие орудия

Благодарности: Авторы благодарят сотрудников кафедры «Материаловедение и технологии металлов» Донского государственного технического университета за помощь в получении и обсуждении результатов.

Для цитирования: Пустовойт В.Н., Долгачев Ю.В. Сопротивление изнашиванию деталей машин после термической обработки в магнитном поле. *Известия вузов. Черная металлургия.* 2026;69(4):374–380. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2026-4-374-380>

WEAR RESISTANCE OF MACHINE PARTS AFTER HEAT TREATMENT IN MAGNETIC FIELD

V. N. Pustovoyt, Yu. V. Dolgachev

■ Don State Technical University (1 Gagarina Sqr., Rostov-on-Don 344003, Russian Federation)

✉ ydolgachev@donstu.ru

Abstract. The durability of machine-building parts is limited by the permissible degree of wear. During the heat treatment of parts in magnetic field, changes in the structure and mechanical properties of materials are noted, therefore it seems important to evaluate the effect of this technology on wear resistance. Such an assessment can be carried out using laboratory, bench and field tests. The purpose of this work was to evaluate the changes in the indicators characterizing wear during heat treatment operations with the application of a permanent magnetic field in comparison with standard treatment modes. Magnetic fields of the order of 1.5 MA/m were obtained in the interpolar gap of the FL-1 electromagnet. The studied samples were made of U8 steel and ductile ferritic cast iron KCh 33-8, which were quenched at a furnace heating temperature of 1000 °C. The samples were tested by friction against fixed abrasive particles under constant load on Kh4-B friction machine according to the traditional method. The maximum effect in increasing wear resistance is observed after quenching the parts in a magnetic field. Low tempering slightly reduces wear resistance, which is caused by increased plasticity and changes in the fracture mechanisms. After quenching in magnetic field, tempering also in magnetic field allows one to maintain wear resistance at a higher level. After heat treatment in magnetic field, there is a decrease in breakouts and discoloration (brittle fracture) along the edges of scratches from abrasive particles. Statistical analysis

of the profiles of friction surfaces indicates a greater uniformity in the arrangement of structural barriers for the microstructure of steel treated with magnetic field. Comparative bench and field tests showed the effectiveness of heat treatment in magnetic field, which provides an increase in wear resistance of agricultural machine parts up to 1.4 times.

Keywords: wear resistance, durability, hardening, tempering, magnetic field, steel, cast iron, machine parts, tillage implements

Acknowledgements: The authors express their gratitude to the staff of the Chair of Materials Science and Metal Technology of the Don State Technical University for assistance in obtaining and discussing the results.

For citation: Pustovoi V.N., Dolgachev Yu.V. Wear resistance of machine parts after heat treatment in magnetic field. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2026;69(4):374–380. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2026-4-374-380>

ВВЕДЕНИЕ

Для многих машиностроительных деталей долговечность лимитируется допустимой степенью износа [1; 2]. Износ деталей может быть оценен различными способами [3; 4]: лабораторными методами, на стендовых установках и непосредственно в процессе эксплуатации. Реальные условия работы изделия не могут быть в полной мере достигнуты при исследованиях образцов в лаборатории, что затрудняет достоверную оценку долговечности деталей машин. Стендовые испытания позволяют учесть специфику конструкции, размеров детали и условий ее работы. Решающее значение для определения эксплуатационных характеристик деталей имеют полевые испытания [5]. Такой комплексный подход и применяли в настоящей работе для оценки износостойкости деталей машин после их термической обработки в магнитном поле (ТОМП). Результаты исследований оценивались с позиций данных ряда работ [6–9], в которых показано, что магнитное поле при термической обработке сталей приводит к значимым изменениям структуры и механических свойств.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сравнительные испытания износостойкости проводили на образцах диаметром 3 мм и длиной 15 мм после их термической обработки по традиционной схеме или по технологии ТОМП с наложением маг-

нитных полей напряженностью до 1500 кА/м, которые создавались в межполюсном пространстве электромагнитом ФЛ-1. Образцы для сравнительного анализа были изготовлены из стали У8 со структурой перлита и ковкого чугуна КЧ 33-8 с ферритной матрицей в лабораторных условиях. Закалку проводили от температуры нагрева в печи 1000 °С (время выдержки 10 мин). Такая температура выбиралась с целью получения у этих материалов одинакового размера действительного зерна аустенита и исключения влияния этого фактора на износостойкость. Образцы испытывали при трении о закрепленные абразивные частицы под постоянной нагрузкой на машине трения Х4-Б по традиционной методике [10]. Высоту неровностей рельефа поверхности износа определяли по данным записи профиля поверхности после испытания на износ с применением профилографа-профилометра «Калибр».

Натурные испытания проводили на примере деталей сельскохозяйственных машин и почвообрабатывающей техники на специальных стендах (рис. 1) с учетом назначения детали и реальных эксплуатационных нагрузок. Так, звездочки цепных передач комбайна и культиватора испытывали на износостойкость в сборе с элементами машины (валы, шпонки, цепь), составляющими соответствующий агрегат. Величину износа определяли на контурных рисунках изделия, полученных на большом проекторе БП-1 при пятикратном увеличении. Натурные испытания проводили также в условиях полевой эксплуатации комбайнов и культиваторов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 2 показаны изменения относительной износостойкости в зависимости от температуры отпуска, в которых можно усмотреть известную [11; 12] корреляцию с изменением твердости.

Данные рис. 3 позволяют провести сравнение изменения износостойкости стали У8 (отпуск при 150 °С, в течение 1 ч) и ферритного ковкого чугуна (отпуск при 180 °С, в течение 1 ч) после обработки по стандартному режиму и с наложением магнитного поля. Анализ полученных результатов был направлен на оценку относительных изменений износа $1/\varepsilon$, вызванных влиянием ТОМП на протекание фазовых превращений. При этом не ставилась цель их обсуждения в аспекте фундамен-

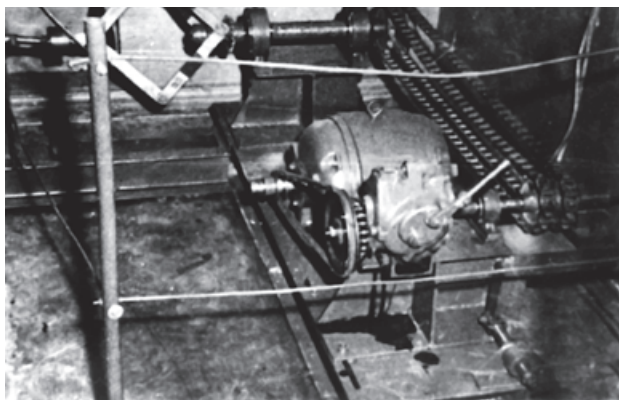


Рис. 1. Установка для стендовых испытаний звездочек цепных передач

Fig. 1. Installation for bench testing of chain drive sprockets

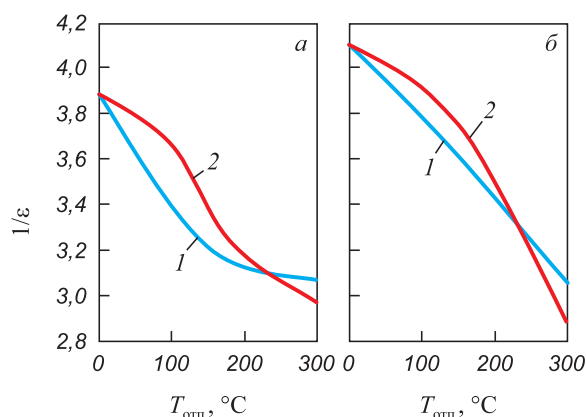


Рис. 2. Значения относительной износостойкости ковкого чугуна на ферритной основе после закалки без поля (а) и в магнитном поле (б):
1 – отпуск без поля; 2 – отпуск в магнитном поле

Fig. 2. Values of relative wear resistance of malleable cast iron on a ferritic base after hardening without magnetic field (a) and in it (b):
1 – tempering without magnetic field; 2 – tempering in magnetic field

тальных вопросов поверхностной прочности [13], многие из которых до сих пор остаются неясными. Целью настоящей работы является получение данных об износостойкости после термической обработки в магнитном поле на основе известных положений теории разрушения [14; 15], касающихся макроанализа типов повреждений, возникающих в результате воздействия абразива.

Повышение величины износа после низкотемпературного отпуска не было ожидаемым и, видимо, может объясняться ростом способности к пластической деформации и сменой механизма деструкции поверхности при трении. При этом наблюдается пластическая деформация (вытеснение) материала, которая приводит к образованию наплывов на кромке образца, подвергавшейся трению (рис. 4). В случае применения весового метода для оценки износа этот наплыв учитывается как не диспергированный, что ведет к малым отличиям в показателях износоустойчивости. В свою очередь, применяемая в настоящей работе методика предполагает измерение длины образца при износе и позволяет исключить из результатов анализа области с отесненным металлом.

Магнитное поле тормозит распад мартенситной фазы при низком отпуске, поэтому в этом случае наблюдается меньшая степень износа по сравнению с обычным отпуском. Наибольший эффект в снижении степени износа наблюдается после режима закалки с наложением магнитного поля. Примечательно, что в дальнейшем после проведения низкотемпературного отпуска высокая износостойкость сохраняется (рис. 2, 3). В случае же отпуска в магнитном поле этот эффект дополнительно возрастает.

С целью выявления механизма воздействия термической обработки в магнитном поле на степень износа

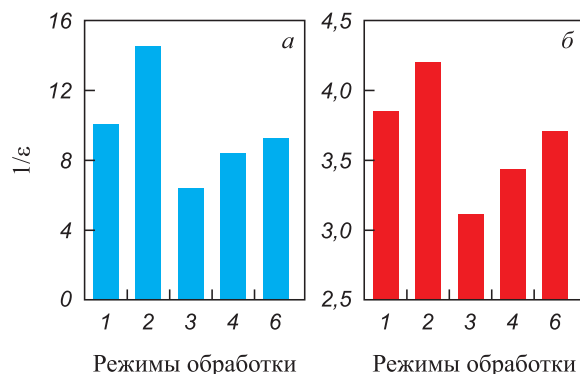


Рис. 3. Значения относительного износа после обработки стали У8 (а) и ферритного ковкого чугуна (б) при различных режимах:
1, 3 – обычная закалка; 2, 4, 5 – закалка с наложением магнитного поля; 3, 4 – обычный отпуск; 5 – отпуск с наложением магнитного поля

Fig. 3. Values of relative wear after treatment of U8 steel (a) and ferritic malleable iron (b) under various modes:
1, 3 – conventional quenching; 2, 4, 5 – quenching with the application of magnetic field; 3, 4 – conventional tempering; 5 – tempering with the application of magnetic field

было проведено исследование поверхности трения, которое показало, что имеет место обратная корреляция величины абразивной износостойкости и средней высоты неровностей R_z рельефа поверхности износа (рис. 5). Наблюдение макростроения поверхностей износа свидетельствует об уменьшении после ТОМП вырывов и выкрашиваний (хрупкого разрушения) по краям царапин от абразивных частиц.

На рис. 6 приведены фрагменты профилограмм, которые использовали как исходную информацию для вычисления по методике работ [16; 17] автокорреляционной функции (АКФ) отклонений профиля от

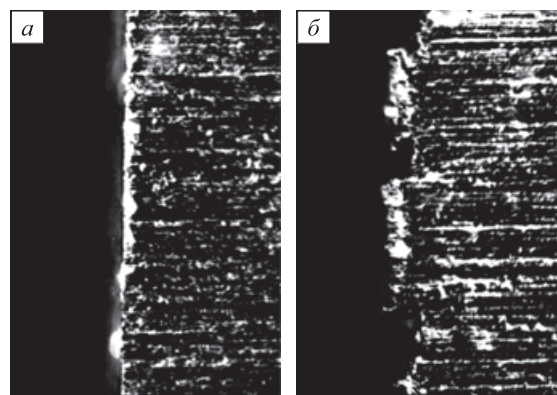


Рис. 4. Отеснение материала со стороны поверхности трения образца КЧ 33-8:
а – свежезакаленное состояние;
б – после закалки и низкого отпуска 180 °С

Fig. 4. Displacement of material from the friction surface of KCh 33-8 sample:
а – freshly quenched condition;
б – after quenching and low tempering (180 °С)

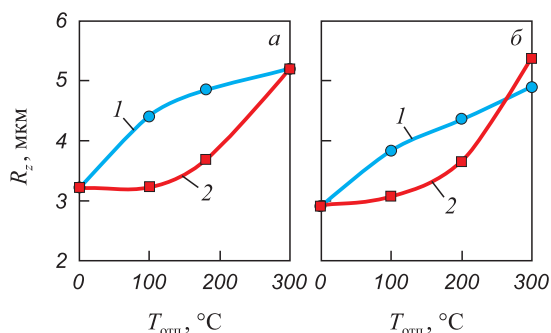


Рис. 5. Средняя высота неровностей рельефа поверхности износа после стандартного режима закалки (а) и ТОМП (б) образца КЧ 33-8:

1 – отпуск без магнитного поля; 2 – отпуск в магнитном поле

Fig. 5. Average height of unevenness of the wear surface relief after standard quenching mode (a) and heat treatment in magnetic field (HTMF) (б) of KCh 33-8 sample:

1 – tempering without magnetic field; 2 – tempering in magnetic field

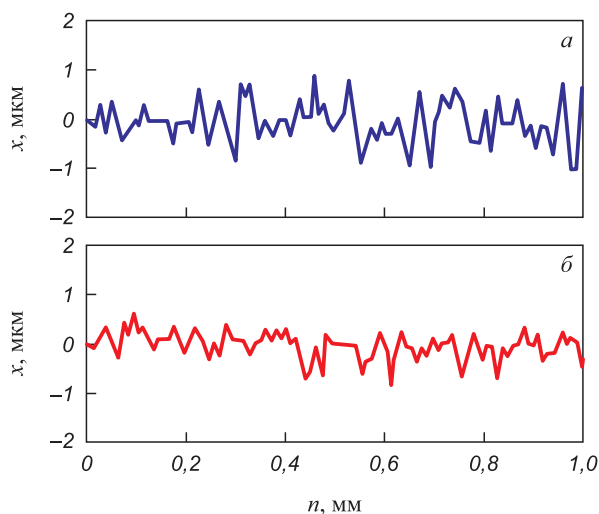


Рис. 6. Примеры профилей рельефа стали после абразивного износа:

а – стандартный режим закалки; б – ТОМП

Fig. 6. Examples of relief profiles of U8 steel after abrasive wear: а – standard quenching mode; б – HTMF

средней линии. При статистической обработке данных производилось усреднение по десяти реализациям полученных рельефов износа. Графики функций корреляции (корреллограммы) для поверхности образцов из стали У8, подвергшейся абразивному износу после закалки по стандартному режиму и ТОМП, приведены на рис. 7. В случае сталей после закалки АКФ имеют форму затухающих кривых, что говорит об отсутствии в профилях периодических составляющих. Затухающая форма кривых АКФ характерна для закаленной стали, подвергшейся износу; это свидетельствует об исчезновении периодической составляющей в профиле. При абразивном изнашивании рельеф поверхности образуется в результате ее многократного микро-резания последовательной чередой частиц абразива.

При этом неупорядоченные зерна различного размера формируют на поверхности шероховатость, которая имеет в своем профиле случайную составляющую. Величина АКФ $K_x(0)$ при нулевом значении аргумента представляет собой дисперсию случайного процесса абразивного изнашивания (то есть среднеквадратическое отклонение профиля от средней линии). А величина аргумента $m(0)$ при нулевом значении АКФ – это интервал корреляции функции отклонения профиля от его средней линии (то есть максимальное расстояние, на котором еще наблюдается их взаимосвязь).

На рис. 7 видно, что воздействие внешним магнитным полем в процессе закалки изменяет статистические параметры профиля $K_x(0)$ и $m(0)$ и, соответственно, спектр анализируемого стохастического процесса. Интервал корреляции уменьшается, что говорит о сокращении дистанции между структурными препятствиями, блокирующими развитие процессов резания абразивом на микроуровне. Это происходит за счет увеличения количества структурных барьеров из-за действия следующих факторов: повышения дисперсности мартенсита при закалке в магнитном поле, выделения мелких карбидов непосредственно в процессе закалочного охлаждения, увеличения сегрегации атомов углерода на дефектах кристаллического строения. Эти явления подробно описаны и обоснованы в ранее выполненных исследованиях [5 – 9]. Такие препятствия характеризуются «полупроницаемостью» [18], поэтому деформация может передаваться по эстафете в соседние объемы кристалла, что приводит к релаксации напряжений и уменьшению склонности к хрупкому выкрашиванию при контакте с абразивом [19; 20]. Экспериментальные данные подтверждают такие выводы тем, что наблюдается уменьшение

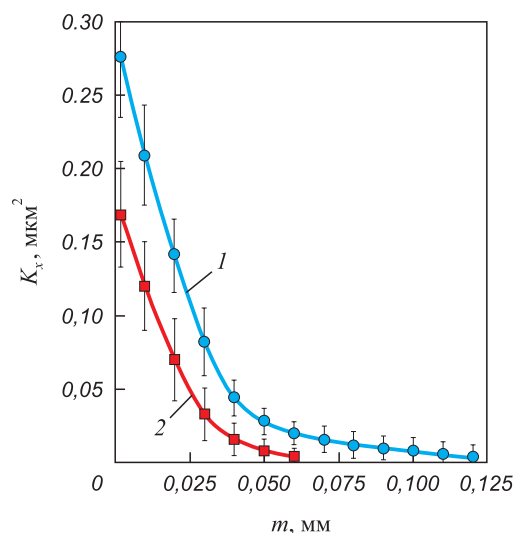


Рис. 7. Корреллограммы поверхностей износа для стали У8: 1 – стандартный режим закалки; 2 – ТОМП

Fig. 7. Corellograms of wear surfaces for U8 steel: 1 – standard quenching mode; 2 – HTMF

Результаты сравнительных испытаний деталей сельскохозяйственных машин

Results of comparative tests of agricultural machine parts

Машина	Деталь		Режим термической обработки	Износ профиля за 250 ч испытаний, мм
	Наименование	Материал		
Зерноуборочный комбайн	Звездочка узла привода элеватора	СЧ18	Закалка с нагревом токами высокой частоты, самоотпуск при 380 °С	$1,27 \pm 0,09$
			Закалка с нагревом токами высокой частоты, но с охлаждением при закалке в магнитном поле напряженностью 1,44 МА/м, самоотпуск при 380 °С	$0,84 \pm 0,09$
	Звездочка привода транспортера	сталь 40	Закалка с нагревом токами высокой частоты, после горячей прокатки, отпуск при 250 °С	$0,64 \pm 0,09$
			Закалка с нагревом токами высокой частоты, после горячей прокатки, но с охлаждением при закалке в магнитном поле напряженностью 1,44 МА/м, отпуск при 250 °С	$0,41 \pm 0,05$
Культиватор	Звездочка	СЧ18	Закалка с нагревом токами высокой частоты, самоотпуск при 380 °С	$1,44 \pm 0,11$
			Закалка с нагревом токами высокой частоты с охлаждением при закалке в магнитном поле напряженностью 1,44 МА/м, самоотпуск при 380 °С	$1,09 \pm 0,07$

значения среднеквадратического отклонения профиля от среднего положения. А снижение параметров $K_x(0)$ и $m(0)$ характеризует анализируемый спектр как более однородный, то есть свидетельствует, что для микро-структуры стали, обработанной по режиму ТОМП, характерна большая равномерность в расположении структурных барьеров.

Наряду с лабораторными были проведены сравнительные стендовые и полевые испытания деталей в условиях эксплуатации зерноуборочных комбайнов

и культиваторов различных типов. В таблице приведены данные о результатах сравнительных испытаний деталей после стандартной термической обработки и ТОМП. Данные испытаний являются среднестатистическими величинами соответствующих свойств, полученными в результате измерений на 20 – 35 деталях с вычислением доверительных интервалов при вероятности 0,95.

На рис. 8 представлены результаты измерения износа профиля зуба звездочки (максимальная вели-

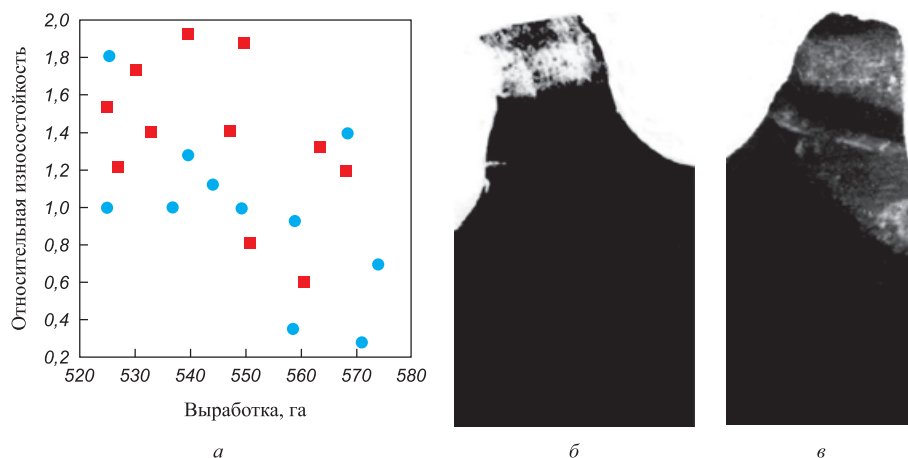


Рис. 8. Относительная износостойкость (а), профиль зуба звездочки из серого чугуна, термически обработанной по серийному режиму (б) и режиму ТОМП (в) после полевых испытаний:

● – серийный режим; ■ – ТОМП

Fig. 8. Relative wear resistance (a), tooth profile of a sprocket made of gray cast iron, heat-treated in the serial mode (b) and HTMF mode (c) after field tests:

● – serial mode; ■ – HTMF

чина в направлении, нормальном образующей зуба). Наблюдения проводили за работой семи комбайнов (на один комбайн устанавливали две звездочки: одну после обработки по стандартному режиму, другую после ТОМП), отработавших за сезон в среднем по 550 га, и восьми культиваторов, отработавших от 260 до 285 га. Несмотря на малое количество и неизбежную вариабельность данных, что характерно для постановки эксплуатационных испытаний на долговечность, эффективность термической обработки в магнитном поле, обеспечивающей прирост износостойкости на 35 – 40 %, вполне очевидна.

Выводы

Применение технологии термической обработки в магнитном поле позволяет эффективно реализовать резервы долговечности деталей машин. Увеличение показателей износостойкости характеризует ТОМП как перспективный комбинированный метод упрочнения. Свойства, определяющие долговечность деталей машин, повышаются в 1,3 – 1,5 раза, что обусловлено положительным влиянием ТОМП на процессы структурных и субструктурных изменений при фазовых переходах с воздействием внешнего магнитного поля. И хотя наблюдаемый эффект от применения технологии ТОМП не дает значительного повышения эксплуатационных показателей, все же фиксируемый их прирост определяет техническую и экономическую целесообразность ее применения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Trukhanska O. Technological methods of increasing wear resistance and durability of details. *Machinery, Energy, Transport of Agro-Industrial Complex*. 2020;(4(111)): 109–115. <https://doi.org/10.37128/2520-6168-2020-4>
2. Yakovleva A.P. Improving the durability of machine parts using a combined method. *Materials Science Forum*. 2019; 946:37–41. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.946.37>
3. Neale M.J., Gee M. A Guide to Wear Problems and Testing for Industry. William Andrew; 2001:157.
4. Bayer R.J. Mechanical Wear Fundamentals and Testing, Revised and Expanded. CRC Press; 2004:416.
5. Full-Scale Fatigue Testing of Components and Structures. Marsh K.J. ed. Butterworth-Heinemann; 2013:346.
6. Пустовойт В.Н., Долгачев Ю.В. Магнитная гетерогенность аустенита и превращения в сталях. Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет; 2021:198.
7. Пустовойт В.Н., Долгачев Ю.В. О природе мест зарождения мартенсита при закалке стали. *Известия вузов. Черная металлургия*. 2019;62(2):109–114. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2019-2-109-114>
8. Pustovoit V.N., Dolgachev Y.V., Aref'eva L.P. Changes in the structure of steel during quenching in a magnetic field. *Materials Science Forum*. 2020;989:79–84. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.989.79>
9. Pustovoit V.N., Dolgachev Yu.V. Structural state of martensite and retained austenite in carbon steels after quenching in magnetic field. *Metal Science and Heat Treatment*. 2023;64:688–692. <https://doi.org/10.1007/s11041-023-00873-7>
10. Хрущев М.М., Бабищев М.А. Абразивное изнашивание. Москва: Наука; 1970:251.
11. Анцупов А.В., Анцупов А.В., Анцупов В.П. Теория и практика обеспечения надежности деталей машин по критериям кинетической прочности и износостойкости материалов. Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова; 2015:308.
12. Повышение надежности, долговечности и износостойкости рабочих органов дорожно-строительных машин / А.П. Щербаков, О.В. Кузьмин, А.А. Абросимова, А.А. Петров. Санкт-Петербург: Петрополис; 2022:343.
13. Зинченко В.М. Основы технологического обеспечения стабильности, прочности и долговечности деталей машин. Москва: Московский государственный индустриальный университет; 2014:217.
14. Разрушение конструкционных сталей / А.М. Токмин, О.А. Масанский, Л.А. Свечникова, В.И. Темных. Красноярск: Сибирский федеральный университет; 2023:228.
15. González-Velázquez J.L. Fractography and Failure Analysis. Switzerland: Springer International Publishing; 2018:165.
16. Табенкин А.Н., Тарасов С.Б., Степанов С.Н. Текстура поверхности и ее измерение. Шероховатость, волнистость, профиль, топография. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого; 2018:265.
17. Gohar R., Rahnejat H. Fundamentals of Tribology. World Scientific; 2018:520.
18. Бернштейн М.Л. Прочность стали. Москва: Металлургия; 1974:199.
19. Wang Y., Yuan L., Zhang S., Sun C., Wang W., Yang G., Li Q., Wei Y. The influence of combined gradient structure with residual stress on crack-growth behavior in medium carbon steel. *Engineering Fracture Mechanics*. 2019;209: 369–381. <https://doi.org/10.1016/j.engfractmech.2019.01.037>
20. Sánchez-Huerta D., López-Perrusquia N., García E., Hile-rio-Cruz I., Flores-Martínez M., Doñu-Ruiz M.A., Muhl S. Micro-abrasive wear behavior by the ball cratering technique on AISI L6 steel for agricultural application. *Materials Letters*. 2021;283:128904. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2020.128904>

Сведения об авторах

Information about the Authors

Виктор Николаевич Пустовойт, д.т.н., профессор кафедры «Материаловедение и технологии металлов», Донской государственный технический университет
ORCID: 0000-0001-6999-3520
E-mail: pustovoyt45@gmail.com

Юрий Вячеславович Долгачев, д.т.н., профессор кафедры «Материаловедение и технологии металлов», Донской государственный технический университет
ORCID: 0000-0002-8558-1136
E-mail: ydolgachev@donstu.ru

Viktor N. Pustovoyt, Dr. Sci. (Eng.), Prof. of the Chair of Materials Science and Metal Technology, Don State Technical University
ORCID: 0000-0001-6999-3520
E-mail: pustovoyt45@gmail.com

Yuri V. Dolgachev, Dr. Sci. (Eng.), Prof. of the Chair of Materials Science and Metal Technology, Don State Technical University
ORCID: 0000-0002-8558-1136
E-mail: ydolgachev@donstu.ru

Вклад авторов

Contribution of the Authors

В. Н. Пустовойт – формирование основной концепции, цели и задач исследования; научное руководство, доработка текста, формирование выводов.
Ю. В. Долгачев – подготовка образцов для исследования, получение экспериментальных данных, проведение расчетов, подготовка и корректировка текста.

V. N. Pustovoyt – formation of the main concept, goal and objectives of the research; scientific guidance, revision of the text, formation of conclusions.
Yu. V. Dolgachev – preparation of the samples, obtaining experimental data, performing calculations, writing and correcting the text.

Поступила в редакцию 02.09.2025
 После доработки 23.10.2025
 Принята к публикации 01.04.2026

Received 02.09.2025
 Revised 23.10.2025
 Accepted 01.04.2026