ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. АГРОИНЖЕНЕРИЯ

DOI: 10.32786/2071-9485-2020-04-35

METALLOGRAPHICAL STUDIES OF THE ALLOYED CUTTING EDGE OF THE PLOW

D.S. Gapich¹, V. A. Motorin^{1,2}, A.E. Novikov², R.N. Oleinikov¹

¹*Volgograd State Agrarian University, Volgograd*

²*All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture, Volgograd*

Received 11.05.2020

Submitted 31.09.2020

*The research was conducted as a part of the grant of the President
of the Russian Federation MK-2870.2019.8*

Summary

A conclusion is made about the insufficient equilibrium of the nose and blade parts of the share under the given operating conditions. The issue of hardening of plowshares for the main tillage by alloying during casting is considered. As an alloying insert, we used a powder of an alloy of the Fe-C-Cr-Si PG-C27 system (GOST 21448-75), providing 3.7% C; 26.5% Cr; 1.6% Si; 1.1% Mn; 1.7% Ni; 0.25% by weight; 0.10% Mo, was poured onto the forming surface of the lower half of the mold with a free layer 2.3-2.5 mm thick.

Abstract

Introduction. Increasing the resource of replaceable parts of tillage machines is an urgent problem in the Agro-industrial complex. During the operation of soil-processing machines, their working parts, including cutting blades, are subjected to dynamic loads, abrasive and chemical effects of the external environment, which provokes their wear. A promising direction for increasing the wear resistance of the cutting blades of a bit is their alloying during the manufacture of casting. **Materials and methods.** In order to conduct research aimed at obtaining qualitative indicators of the efficiency of ploughshares made by casting, their experimental samples were produced and resource tests were conducted on the end friction machine. For the analysis of metallographic structure and thickness of the doped layer, the depth of the prepared micro-sections. The metallographic structure was observed using a NEOPHOT-32 microscope. Fe-C-Cr-Si PG-S27 alloy powder (GOST 21448-75) containing 3.7% C; 26.5% Cr; 1.6% Si; 1.1% Mn; 1.7% Ni; 0.25% W was used as an alloying insert; 0.10% Mo, which was poured on the mold-like surface of the lower half-form cavity with a free layer 2.3-2.5 mm thick. Steel 45 was poured into the mold at a temperature of 1560-1580°C, the melting point of the PG-S27 alloy is 1080-1180°C. The heat of steel poured on the surface of the PG-S27 powder, the powder was melted and welded with the base metal, forming a layer on the casting surface that differs sharply from the main mass in chemical composition, structure and properties. **Results and conclusions.** The alloyed layer of the plowshare obtained by casting has a significantly greater thickness and increased hardness compared to the deposited layer, which makes it possible to increase the service life of the product, and surface alloying in the casting mold does not require additional energy costs, equipment, and the consumption of expensive and scarce flux, since traditional surfacing parts «ploughshare» requires the organization of a special section for surfacing of parts and a section for preparation of fluxes with equipment for grinding, sieving, calcining, drying, mixing ingredients. To obtain the greatest thickness of the deposited layer and hardness, the particle size should be 0.4 ... 0.8 mm. When using larger or smaller powder particles, the thickness and hardness of the deposited layer are lower.

Key words: *ploughshare, strengthening of ploughshares during casting, alloying, alloying powder, increased wear resistance.*

Citation. Gapich D.S., Motorin V.A., Novikov A.E., Oleinikov R.N. Metallographical studies of the alloyed cutting edge of the plow. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2020. 4 (60) 369-378 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2020-04-35.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 621.785.5

МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛЕГИРОВАННОЙ РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ ЛЕМЕХА ПЛУГА

Д. С. Гапич¹, доктор технических наук, доцент
В. А. Моторин^{1,2}, кандидат технических наук, доцент
А. Е. Новиков², доктор технических наук, доцент
Р. Н. Олейников¹, аспирант

¹Волгоградский государственный аграрный университет, г. Волгоград

²Всероссийский НИИ орошаемого земледелия, г. Волгоград

Дата поступления в редакцию 11.05.2020

Дата принятия к печати 31.09.2020

Работа выполнена в рамках гранта Президента Российской Федерации МК-2870.2019.8.

Актуальность. Повышение ресурса сменных частей почвообрабатывающих машин является актуальной проблемой в АПК. В процессе выполнения операций обработки почвы почвообрабатывающими машинами их рабочие органы, в частности режущие лезвия, испытывают динамические нагрузки, абразивное и химическое воздействие внешней среды, что провоцирует их износ. Перспективным направлением повышения износостойкости режущих лезвий долота является их легирование при изготовлении литьем. **Материалы и методы.** Для проведения исследований, направленных на получение показателей износостойкости лемехов, выполненных по литейной технологии, были изготовлены опытные образцы и проведены лабораторные испытания на износ с использованием машины трения. Для анализа металлографической структуры и толщины легированного слоя изготовлены микрошлифы исследуемых образцов. Металлографическую структуру наблюдали с помощью микроскопа НЕОРНОТ-32. В качестве легирующего слоя использовали порошок сплава системы Fe-C-Cr-Si ПГ-С27 (ГОСТ 21448-75), содержащий 3,7 % С; 26,5 % Cr; 1,6 % Si; 1,1 % Mn; 1,7 % Ni; 0,25 % W; 0,10 % Mo, который наносили на формообразующую поверхность полости нижней полуформы свободным слоем толщиной 2,3-2,5 мм. Сталь 45 заливали в форму при температуре 1560-1580 °С, температура плавления сплава ПГ-С27 составляет 1080-1180 °С. Тепло стали, залитой на поверхность порошка ПГ-С27, порошок расплавлялся и сваривался с основным металлом, образуя на поверхности отливки слой, резко отличающийся от основной массы по химическому составу, структуре и прочностным свойствам. **Результаты и выводы.** Легированный слой лемеха, получаемого литьем, имеет значительно большую толщину и повышенную твердость по сравнению с наплавленным слоем, что позволяет повысить ресурс изделия, а поверхностное легирование в литейной форме не требует дополнительных энергетических затрат, оборудования, расхода дорогостоящего и дефицитного флюса, так как традиционная наплавка деталей «лемех» требует организации специального участка наплавки деталей и участка подготовки флюсов с оборудованием по размолу, рассеву, прокатке, сушке, смешиванию ингредиентов. Для получения наибольшей толщины наплавленного слоя и твердости размеры частиц должны составлять 0,4-0,8 мм. При использовании более крупных или мелких частиц порошка толщина и твердость наплавленного слоя имеют меньшие значения.

Ключевые слова: лемех отвального плуга, упрочнение лемехов, легирование, легирующий порошок, повышение износостойкости.

Цитирование. Гапич Д.С., Моторин В.А., Новиков А.Е., Олейников Р.Н. Металлографические исследования легированной режущей кромки лемеха плуга. *Известия НВ АУК.* 2020. 4(60). 369-378. DOI: 10.32786/2071-9485-2020-04-35.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Одним из основных элементов рабочего органа плуга, определяющим

энергетические, качественные показатели процесса вспашки, а также продолжительность безотказной работы плуга, является лемех, т.е. от эффективности работы и состояния лемеха зависит объем ресурсов, затрачиваемых на почвообработку.

Для поддержания работоспособного состояния сельскохозяйственной техники ведущими заводами России ежегодно выпускается значительное количество запасных частей. Так, например, Рубцовский завод ежегодно выпускает более 600 тыс. шт. лемехов. Ежегодная потребность данного завода в стали 50Г составляет более 16 тыс. тонн.

Кроме того, увеличение массы применяемых в сельском хозяйстве машинно-тракторных агрегатов и рабочих скоростей движения привело к переуплотнению почвенного слоя и увеличению нагрузки на рабочие органы сельскохозяйственных машин. Это особенно обострило вопрос, связанный с недостаточной износостойкостью рабочих органов [1-3, 5, 8, 9, 11, 13, 14].

На сегодняшний день одними из самых совершенных лемехов являются выпускаемые серийно самозатачивающиеся лемехи, но и они имеют ряд недостатков: трудоемкость изготовления, сложность процесса равномерного нанесения биметаллической наплавки. В целом следует отметить, что стальные самозатачивающиеся лемехи практически исчерпали себя в плане повышения износостойкости. Работа по их дальнейшему усовершенствованию, без внедрения принципиально иных технологических приемов упрочнения с получением более совершенных материалов и применением их для изготовления лемехов, не дает возможности повысить их износостойкость [4, 7, 10, 12, 15].

Поэтому повышение надежности и долговечности орудий для почвообработки является важнейшей проблемой современного машиностроения. В связи с этим исследования, направленные на повышение ресурса лемехов плугов для основной обработки почвы, являются актуальными и имеют важное значение для народного хозяйства.

Целью данной работы является металлографическое исследование легированной режущей кромки лемеха плуга с целью увеличения ресурса лемехов плуга.

Материалы и методы. Корпус плуга обладает относительно большой площадью контакта с обрабатываемой поверхностью и испытывает довольно сильные нагрузки, которые на отдельных участках рабочей поверхности корпуса в существенной степени имеют различную величину.

В горизонтальной плоскости (рис. 1 а) в области лемеха основное давление приходится на зону носка, тогда как в зоне лезвия оно существенно меньше. В области отвала наибольшее давление оказывается на переднюю часть в области стыковки с носовой частью лемеха, а также в зоне режущей части полевого обреза груди отвала. В области полевой доски основные силы сосредоточены в задней части, постепенно уменьшаясь они приближаются к носовой части корпуса.

Рисунок 1 – Силы, действующие на корпус:

а – в горизонтальной плоскости; б – в вертикальной плоскости

Figure 1 – Forces acting on the body: a – in the horizontal plane; b – in the vertical plane

В вертикальной плоскости (рис. 1 б) основное давление приходится на зону лез-

вия, а именно на его режущую часть, при этом в области остова оно значительно меньше. В данной плоскости полевая доска испытывает давление реакции почвы, которое также максимально в задней части и сводится к минимуму в районе носка.

Итогом такой неравномерности приложения сил на участки деталей корпуса становится их неравномерный износ, приводящий к преждевременному выходу из строя всего элемента.

Серийно применяемые классические лемеха (рис. 2) имеют две основные области износа: носовая 1 и лезвийная 2.

Рисунок 2 – Области износа лемеха

Figure 2 – areas of wear of ploughshare

Неравномерность прилагаемых нагрузок на отдельные участки элементов рабочего органа приводит к их интенсивному износу, поэтому важным направлением в увеличении ресурсоемкости и эффективности работы является повышение износостойкости наиболее нагруженных участков для обеспечения более равномерного износа элемента в целом.

За обобщенную количественную характеристику равностойкости элемента можно принять коэффициент равностойкости K_p , который находится по формуле:

$$K_p = T_{pi} / T_{pt}, \quad (1)$$

где T_{pi} – конструктивная ресурсоемкость наиболее изнашиваемой области; T_{pt} – конструктивная ресурсоемкость наименее изнашиваемой области.

Конструктивная ресурсоемкость одной из областей элемента рабочего органа находится по формуле:

$$T_{pi} = \frac{L_{Hi} - L_{Ki}}{I_{и}} = \frac{L_i}{I_i}, \quad (2)$$

где T_{pi} – конструктивная ресурсоемкость i -ой области, га; L_{Hi} – начальный размер i -ой области; L_{Ki} – конечный размер i -ой области, мм; $I_{и}$ – интенсивность износа i -ой области, мм/ч на 1 га [6].

При расчете конструктивной ресурсоемкости лемеха принимаем предельно допустимые геометрические параметры и среднюю интенсивность износа. Для носка допустимая длина $L_K = 150$ мм, при интенсивности износа $I_n = 6,5$ мм/га ресурсоемкость T_H составит:

$$T_H = \frac{270 - 150}{6,5} = 18,5 \text{ га}.$$

Для лезвия предельная ширина износа $I_{л} = 1$ мм/га, отсюда:

$$T_{л} = \frac{120 - 90}{1} = 30 \text{ га}.$$

Тогда коэффициент равностойкости $K_p = 18,5 / 30 = 0,6$.

Исходя из результата проведенного расчета делаем вывод о недостаточной рав-

ностойкости носовой и лезвийной частей лемеха при данных условиях эксплуатации. При довольно высоком остаточном ресурсе лезвия лемех приходится выбраковывать, так как износ носка достигает предельного значения, что приводит к потере работоспособности всего лемеха.

Однако добиться равностойкости лемеха и достичь ресурса до 30 га можно методом повышения износостойкости носовой части, что производится упрочнением необходимой зоны путем наплавки легирующего материала.

Результаты и обсуждение. Для проведения исследований, направленных на получение качественных показателей эффективности лемехов, изготовленных методом литья, были изготовлены их опытные образцы в литейной лаборатории ВолГТУ.

В качестве легирующей вставки использовали порошок сплава системы *Fe-C-Cr-Si ПГ-С27 (ГОСТ 21448-75)*, содержащий 3,7 % C; 26,5 % Cr; 1,6 % Si; 1,1 % Mn; 1,7 % Ni; 0,25 % W; 0,10 % Mo, который насыпали на формообразующую поверхность полости нижней полуформы свободным слоем толщиной 2,3-2,5 мм.

Сталь 45 заливали в форму при температуре 1560-1580 °С, тогда как температура плавления сплава ПГ-С27 составляет 1080-1180 °С. Теплом стали, залитой на поверхность порошка ПГ-С27, порошок расплавлялся и сваривался с основным металлом, образуя на поверхности отливки слой, резко отличающийся от основной массы по химическому составу, структуре и свойствам.

Ресурсные испытания проводили на торцевой машине трения. Для анализа металлографической структуры и толщины легированного слоя подготовлены микрошлифы. Металлографическую структуру наблюдали с помощью микроскопа НЕОРНОТ-32.

Для проведения исследований и полевых испытаний опытные экспериментальные лемеха были изготовлены в литейной лаборатории ВолГТУ с наплавкой легирующего слоя. Полученный в результате литья лемех без постобработки представлен на рисунке 3.

Рисунок 3 – Лемех, изготовленный методом литья

Figure 3 – Ploughshare made by casting

Образовавшийся на рабочей поверхности легированный слой имел структуру доэвтектического белого чугуна с эвтектикой, содержащей карбиды хрома, вольфрама и молибдена (рисунок 4).

Рисунок 4 – Микроструктура зоны сплавления наплавленного слоя с металлом отливки, x200: 1 – наплавленный слой; 2 – сталь 45

Figure 4 – Microstructure of the fusion zone of the deposited layer with casting metal, x200: 1 – deposited layer; 2 – steel 45

Для получения наибольшей толщины наплавленного слоя и твердости размеры частиц должны составлять 0,4-0,8 мм. При использовании более крупных или мелких частиц порошка толщина и твердость наплавленного слоя имеют меньшие значения. При наплавке крупными частицами порошка с поверхности слоя наблюдается выкрашивание отдельных зерен. Использование частиц порошка мелкой фракции может приводить к формированию газовых полостей в наплавленном слое.

При проведении эксперимента использовали наплавочный материал ПГ-С27 в виде порошка. В зоне сплавления порошка ПГ-С27 с металлом отливки практически не наблюдается литейных дефектов. Наличие в зоне соединения отдельных газовых раковин $< 0,05$ мм не влияет на эксплуатационные характеристики наплавленного слоя.

Заметного перемешивания основного металла стали 45 и лигатуры не наблюдалось, граница раздела была четкой и не имела выраженного диффузионного характера. Вместе с тем отслаивания легированного слоя, крупных пор и других дефектов сплошности не обнаружено.

Было исследовано влияние гранулометрического состава порошка на основные характеристики легированного слоя – его толщину и твердость (рисунок 5).

Рисунок 5 – Кривые зависимости толщины наплавленного слоя, h , и его твердости HRC от величины частиц порошка ПГ-С27

Figure 5 – Curves of the dependence of the thickness of the deposited layer, h , and its hardness HRC on the size of the PG-S27 powder particles

Кривые зависимостей, приведенные на рисунке 5, свидетельствуют, что лучшие результаты и по толщине слоя, и по его твердости получены при использовании порошка с величиной частиц в диапазоне от 4 до 8 мм.

При эксплуатации почвообрабатывающий инструмент воспринимает как абразивное изнашивание, так и ударные нагрузки. Для повышения механических свойств лемех плуга подвергается термообработке: нормализация при 920-960 °С, которая не снижает твердости наплавленного слоя. Механические испытания показали, что при предельной разрушающей нагрузке 30 нормализованных деталей лемеха не выявлено ни одного случая отслаивания наплавленного слоя от основного металла.

Выводы. Легированный слой лемеха, получаемого литьем, имеет значительно большую толщину и повышенную твердость по сравнению с наплавленным слоем, что позволяет повысить ресурс изделия, а поверхностное легирование в литейной форме не требует дополнительных энергетических затрат, оборудования, расхода дорогостоящего и дефицитного флюса, так как наплавка деталей «лемех» требует организации специального участка наплавки деталей и участка подготовки флюсов с оборудованием по размолу, рассеву, прокатке, сушке, смешиванию ингредиентов. Дополнительные затраты на приобретение дорогостоящих компонентов наплавочного флюса могут превышать цену наплавочного порошка ПГ-С27 в 1,1-1,5 раза.

Библиографический список

1. Дорошенко В. С., Гнатуш В. А. Мировой рынок литья чугуна с шаровидным графитом. Состояние и перспективы развития // Вестник арматуростроителя. 2017. № 5. С. 112-119.
2. Костылева Л. В., Гапич Д. С., Моторин В. А. Комплексное влияние химического состава чугуна на структуру отбеленного слоя долота чизельного плуга // Известия Нижневолж-

ского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2016. № 2. С. 221-228.

3. Сильман Г. И., Макаренко К. В., Зенцова Е. А. Бейнитный высокопрочный чугун с шаровидным графитом // *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2013. № 4. С. 3-8.

4. Формирование износостойких зонально-распределенных структур деталей орудий для почвообработки из высокопрочного чугуна / В. А. Моторин, Д. С. Гапич, Л. В. Костылева, А. Е. Новиков // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2018. № 4. С. 269-276.

5. Al-Sayed S. R., Elshazli A. M., Hussein A. H. A. Laser surface hardening of Ni-hard white cast iron // *Metals*. 2020. V. 10 (6). P. 1-19.

6. An investigation on the stability of austenite in Austempered Ductile Cast Iron (ADI) (Article) / S. Panneerselvam, C. J. Martis, S. K. Putatunda, J. M. Boileau // *Materials Science and Engineering*. 2015. Vol. 626. P. 237-246.

7. Composition and Tribological Properties of Hardened Cutting Blades of Tillage Machines under Abrasive Deterioration / A. E. Novikov, V. A. Motorin, M. I. Lamskova, M. I. Filimonov // *Journal of Friction and Wear*. 2018. Vol. 39. No. 2. P. 158-163.

8. Effect of the starting microstructure in the formation of austenite at the intercritical range in ductile iron alloyed with nickel and copper / H. D. Machado, R. Aristizabal-Sierra, C. Garcia-Mateo, I. Toda-Caraballo // *International Journal of Metalcasting*. 2020. V. 14 (3). P. 836-845.

9. Influence of cooling rate on the microstructure and properties of a new wear resistant carbide austempered ductile iron (CAD) / Y. Ch. Peng, H. J. Jin, J. H. Liu, G. L. Li // *Materials Characterization*. 2012. Vol. 72. P. 53-58.

10. Influence of solidification conditions on the microstructure of laser-surface-melted ductile cast iron / D. Janicki, J. Górka, W. Kwaśny, W. Pakiel, K. Matus // *Materials*. 2020. V. 13 (5). P. 1174.

11. Neutron diffraction monitoring of ductile cast iron under cyclic tension-compression / S. Harjo, S. Kubota, W. Gong, T. Kawasaki, S. Gao // *Acta Materialia*. 2020. V. 196. P. 584-594.

12. Non-single bionic coupling model for thermal fatigue and wear resistance of gray cast iron drum brake / D. Yu, T. Zhou, H. Zhou, H. Bo, H. Lu // *Optics and Laser Technology*. 2019. Vol. 111. P. 781-788.

13. Probabilistic Low Cycle Fatigue criterion for nodular cast-irons / F. Szmytka, E. Charkaluk, A. Constantinescu, P. Osmond // *International Journal of Fatigue*. 2020. V. 139.

14. Pyndak V. I., Novikov A. E. Tribotechnical and Energy Assessment of Parts of Working Members of Cultivating Machines After Carburizing and Laser Hardening // *Metal Science and Heat Treatment*. 2016. Vol. 58. No. 3-4. P. 226-230.

15. Surface alloying of gray cast iron with chromium by high current pulsed electron beam treatment / C. Li, Q. Guan, J. Cai, P. Lv, Y. Jin // *Materials Research Express*. 2018. Vol. 5. Iss. 6. No. 066518.

Conclusions. The alloyed layer of the ploughshare obtained by casting has a significantly greater thickness and increased hardness compared to the deposited layer, which allows to increase the product life, and surface alloying in the foundry form does not require additional energy costs, equipment, expensive and scarce flux consumption, since the surfacing of parts "ploughshare" requires the organization of a special section of surfacing parts and a section of flux preparation with equipment for grinding, sieving, piercing, drying, mixing of ingredients. Additional costs for the purchase of expensive components of surfacing flux may exceed the price of surfacing powder PG-S27 by 1.1-1.5 times.

References

1. Doroshenko V. S., Gnatush V. A. World market for nodular cast iron. State and development prospects // *Bulletin of the valve-constructor*. 2017. No. 5. P. 112-119.

2. Kostyleva L. V., Gapich D. S., Motorin V. A. Complex influence of the chemical composition of cast iron on the structure of the bleached layer of a chisel plow chisel // *News of the Nizhnevolsky*

agro-university complex: Science and higher professional education. 2016. No. 2. P. 221-228.

3. Silman G. I., Makarenko K. V., Zentsova E. A. Beinitny high-strength cast iron with spherical graphite // Metallurgy and heat treatment of metals. 2013. No. 4. P. 3-8.

4. Formation of wear-resistant zonal-distributed structures of details of tools for soil treatment from high-strength cast iron / V. A. Motorin, D. S. Gapich, L. V. Kostyleva, A. E. Novikov // Izvestiya nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka I vyshe vocational education. 2018. No. 4. P. 269-276.

5. Al-Sayed S. R., Elshazli A. M., Hussein A. H. A. Laser surface hardening of Ni-hard white cast iron // Metals. 2020. V. 10 (6). I. 795. P. 1-19.

6. An investigation on the stability of austenite in Austempered Ductile Cast Iron (ADI) (Article) / S. Panneerselvam, C. J. Martis, S. K. Putatunda, J. M. Boileau // Materials Science and Engineering. 2015. Vol. 626. P. 237-246.

7. Composition and Tribological Properties of Hardened Cutting Blades of Tillage Machines under Abrasive Deterioration / A. E. Novikov, V. A. Motorin, M. I. Lamskova, M. I. Filimonov // Journal of Friction and Wear. 2018. Vol. 39. No. 2. P. 158-163.

8. Effect of the starting microstructure in the formation of austenite at the intercritical range in ductile iron alloyed with nickel and copper / H. D. Machado, R. Aristizabal-Sierra, C. Garcia-Mateo, I. Toda-Caraballo // International Journal of Metalcasting. 2020. V. 14 (3). P. 836-845.

9. Influence of cooling rate on the microstructure and properties of a new wear resistant carbide austempered ductile iron (CADI) / Y. Ch. Peng, H. J. Jin, J. H. Liu, G. L. Li // Materials Characterization. 2012. Vol. 72. P. 53-58.

10. Influence of solidification conditions on the microstructure of laser-surface-melted ductile cast iron / D. Janicki, J. Górka, W. Kwaśny, W. Pakiel, K. Matus // Materials. 2020. V. 13 (5). P. 1174.

11. Neutron diffraction monitoring of ductile cast iron under cyclic tension-compression / S. Harjo, S. Kubota, W. Gong, T. Kawasaki, S. Gao // Acta Materialia. 2020. V. 196. P. 584-594.

12. Non-single bionic coupling model for thermal fatigue and wear resistance of gray cast iron drum brake / D. Yu, T. Zhou, H. Zhou, H. Bo, H. Lu // Optics and Laser Technology. 2019. Vol. 111. P. 781-788.

13. Probabilistic Low Cycle Fatigue criterion for nodular cast-irons / F. Szmytka, E. Charkaluk, A. Constantinescu, P. Osmond // International Journal of Fatigue. 2020. V. 139.

14. Pyndak V. I., Novikov A. E. Tribotechnical and Energy Assessment of Parts of Working Members of Cultivating Machines After Carburizing and Laser Hardening // Metal Science and Heat Treatment. 2016. Vol. 58. No. 3-4. P. 226-230.

15. Surface alloying of gray cast iron with chromium by high current pulsed electron beam treatment / C. Li, Q. Guan, J. Cai, P. Lv, Y. Jin // Materials Research Express. 2018. Vol. 5. Iss. 6. No. 066518.

Authors Information

Gapich Dmitry Sergeevich, head of the Department "Operation and technical service of machines in agriculture», Volgograd State Agrarian University (400002, Volgograd, pr. Universitetsky, 26), Associate Professor, e-mail: gds-08@mail.ru.

Motorin Vadim Andreevich - associate Professor of the Department "Operation and technical service of machines in agriculture», Volgograd State Agrarian University (400002, Volgograd, pr. Universitetsky, 26), Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: vmotorin001@yandex.ru.

Novikov Andrey Evgenievich, director of FGBNU VNIIOZ (400002, Volgograd, Timiryazeva str., 9). e-mail: ae_novikov@mail.ru.

Oleynikov Roman Nikolaevich - post-graduate student of the Department "Operation and technical service of machines in agriculture», Volgograd State Agrarian University (400002, Volgograd, pr. Universitetsky, 26), e-mail: olejnikov.rom@yandex.ru.

Информация об авторах

Гапич Дмитрий Сергеевич – заведующий кафедрой «Эксплуатация и технический сервис машин в АПК» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет» (400002, г. Волгоград, пр-т. Университетский, 26), доктор технических наук, доцент, e-mail: gds-08@mail.ru.

Моторин Вадим Андреевич – доцент кафедры «Эксплуатация и технический сервис машин в

******* ИЗВЕСТИЯ *******

**НИЖНЕВОЛЖСКОГО АГРОУНИВЕРСИТЕТСКОГО КОМПЛЕКСА:
НАУКА И ВЫСШЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ**

№ 4 (60), 2020

АПК» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет» (400002, г. Волгоград, пр-т. Университетский, 26), кандидат технических наук, доцент, e-mail: vmotorin001@yandex.ru

Новиков Андрей Евгеньевич, директор ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия» (400002, г. Волгоград, ул. Тимирязева, 9). e-mail: ae_novikov@mail.ru.

Олейников Роман Николаевич, аспирант кафедры «Эксплуатация и технический сервис машин в АПК» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет» (400002, г. Волгоград, пр-т. Университетский, 26). e-mail: olejnikov.rom@yandex.ru.