

ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС В АПК

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 539.53, 621.78, 793

DOI: 10.26897/2687-1149-2021-3-63-68

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕРМОУПРОЧНЕННОЙ СТАЛИ 65Г, ПОВЕРХНОСТНО-АРМИРОВАННОЙ НАПЛАВКОЙ ТВЕРДЫМ СПЛАВОМ

МИХАЛЬЧЕНКОВ АЛЕКСАНДР МИХАЙЛОВИЧ✉, д-р техн. наук, профессор
mihalchenkov.alexandr@yandex.ru ✉

УЛЬЯНОВА НАТАЛЬЯ ДМИТРИЕВНА, канд. экон. наук, доцент
ulyanova@bgsha.com

ФЕСЬКОВ СЕРГЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ, канд. техн. наук
feskovwork@gmail.com

ГУЦАН АЛЕКСАНДР АЛЕКСАНДРОВИЧ
gagauz0326@gmail.com

Брянский государственный аграрный университет; 243365, Российская Федерация, Брянская обл., Выгоничский р-н, с. Кокино, ул. Советская, 2а

Аннотация. Повышение ресурса деталей почвообрабатывающей техники применением наплавочного армирования рабочих поверхностей нашло достаточно широкое применение. Однако проведенные исследования были ориентированы на детали, металл которых не подвергался предварительному термоупрочнению. В последние годы почти все комплектующие рабочих органов сельхозорудий упрочняются термообработкой. Особенно это характерно для изделий импортного производства. Исследований по армированию деталей, прошедших подобного рода обработку, недостаточно. Поэтому в задачу исследований входило изучение свойств термоупрочненной стали 65Г после её наплавочного армирования. При проведении экспериментов в качестве основного металла использовались листы рессор из стали 65Г с твердостью около 45 HRC. В качестве наплавочного материала применялись электроды Т-590, предназначенные для наплавки деталей, эксплуатирующихся в абразивной среде. Исследовались три образца: без наплавки, с наплавкой одного валика, с наплавкой двух валиков. Достоверность полученных результатов гарантировалась большим количеством измерений. Механические свойства оценивались твердостью HRC. В результате экспериментов установлено, что значение твердости в 44...47 HRC у листов рессор, снятых с эксплуатации, даёт основание для их применения в качестве ремонтных материалов. При наплавке одного валика исходная твердость основного металла остается на прежнем уровне, наплавка же двух валиков приводит к снижению HRC на 9 ед. Участок между валиками характеризуется наличием трёх зон. Наличие армирующих валиков на поверхности термообработанной стали 65Г обеспечивает увеличение её служебных свойств за счет их высокой твердости, уменьшения пути контактирования абразивной частицы с рабочей поверхностью и образования между валиками «псевдосжиженного» слоя перемещающейся абразивной среды.

Ключевые слова: механические свойства, твердость, термоупрочнение, сталь 65Г, наплавочное армирование, твердые сплавы.

Формат цитирования: Михальченков А.М., Ульянова Н.Д., Феськов С.А., Гуцан А.А. Механические свойства термоупрочненной стали 65Г, поверхностно-армированной наплавкой твердым сплавом // Агроинженерия. 2021. № 3 (103). С. 63-68. DOI: 10.26897/2687-1149-2021-3-63-68.

© Михальченков А.М., Ульянова Н.Д., Феськов С.А., Гуцан А.А., 2021



ORIGINAL PAPER

MECHANICAL PROPERTIES OF HEAT-STRENGTHENED STEEL 65G SURFACE-REINFORCED WITH HARD-ALLOY SURFACING

ALEKSANDR M. MIKHALCHENKOV✉, DSc (Eng), Professor
mihalchenkov.alexandr@yandex.ru ✉

NATALIA D. ULYANOVA, PhD (Econ), Associate Professor
ulyanova@bgsha.com

SERGEY A. FESKOV, PhD (Eng)

feskovwork@gmail.com

ALEKSANDR A. GUTSAN

gagauz0326@gmail.com

Bryansk State Agrarian University; 243365, Russian Federation, Bryansk region, Vygonichi district, Kokino, Sovetov Str., 2A

Abstract. Increasing the service life of soil-cultivating equipment parts by the use of surfacing reinforcement of working surfaces has found a fairly wide application. However, the studies carried out on this problem were focused on parts, the metal of which had not been subjected to preliminary heat hardening. Meanwhile, in recent years, the components of the working tools of agricultural implements are almost completely hardened by heat treatment. This is especially true for imported products. Information on the reinforcement of parts that have undergone this kind of processing is extremely scarce, and sometimes contradictory. Therefore, the research task was to study the properties of heat-strengthened steel 65G after its surface reinforcement. During the experiments, as the base metal, use was made of spring sheets made of 65G steel with a hardness of about 45 HRC. T-590 electrodes were used as the surfacing material, intended for surfacing of parts operated in an abrasive environment. The reliability of the results obtained was guaranteed by a large number of measurements. Mechanical properties were evaluated by HRC hardness. As a result of experiments, it was found that the hardness value of 44...47 HRC for leaf springs taken out of service makes them suitable for use as repair materials. When surfacing one roller, the initial hardness of the base metal remains at the same level; surfacing two rollers leads to a decrease in HRC by 9 units. Three zones are distinguished in the area between the rollers. The use of reinforcing rollers on the surface of heat-treated steel 65G increases its service properties due to their high hardness, a decreased contact path of the abrasive particle with the working surface and forms a "fluidized" layer of a moving abrasive medium between the rollers.

Key words: mechanical properties; hardness; thermal hardening; steel 65G; surfacing reinforcement; hard alloys.

For citation: Mikhalychenkov A.M., Ulyanova N.D., Feskov S.A., Gutsan A.A. Mechanical properties of heat-strengthened steel 65G surface-reinforced with hard-alloy surfacing. *Agricultural Engineering*, 2021; 3 (103): 63-68 (In Rus.). DOI: 10.26897/2687-1149-2021-3-63-68.

Введение. Армирование путем формирования наплавкой на рабочей поверхности деталей валков с определенным шагом нашло применение при упрочнении и восстановлении ряда деталей сельскохозяйственных орудий [1, 2]. Данный способ был широко апробирован применительно к углеродистым сталям без термоупрочнения [3] как в лабораторных, так и в полевых условиях [4, 5], поэтому его особенности изучены достаточно полно. Применение же наплавочного армирования для повышения служебных свойств сталей, прошедших термоупрочнение, требует проведения отдельных исследований, особенно если армирующие валки формировались наплавкой электродами, предназначенными для получения металла с высокими твердостью и абразивной износостойкостью.

Цель исследований: изучение влияния наплавки твердых армирующих валков на поверхность термоупрочненной стали 65Г на изменение твердости области технологических воздействий. (В данном случае твердость может являться комплексной оценкой механических свойств.)

Материал и методы. В качестве электродных материалов для наплавки применялись электроды Т-590, которые обеспечивают твердость металла валка около 61 HRC и в структуре которых присутствуют включения карбонидов.

Наплавка проводилась электродами диаметром 4 мм с силой сварочного тока 200...220 А на термоупрочненные образцы из стали 60С2, представляющие собой прямоугольные пластины толщиной 12 мм (рис. 1б). Термоупрочнение заключалось в закалке в масле и последующем среднем отпуске.

Темплеты со сформированными валками продемонстрированы на рисунках 2а' и 2б'.

Таким образом, исследовались три образца: без наплавки, с наплавкой одного валка, с наплавкой двух валков.

Для удобства измерений поверхность валков фрезеровалась на глубину 0,2 мм.

Эксперименты проводились в три этапа: первый этап – определение твердости пластины в исходном состоянии (рис. 1а, б); второй этап – определение твердости в поперечном сечении образца с одним валком (рис. 2а, б, а', б'); третий этап – контроль твердости на образце с двумя валками (имитация армированной поверхности).

Места измерений определялись пересечением сечений, обозначенных цифрами и буквами (рис. 1а, 2а, б).

Достоверность результатов гарантируется большим количеством измерений: от 35 до 77 отпечатков. Представляемые графические зависимости вычислялись как средние значения из всего объема данных.

Результаты и обсуждение. Наличие 35 отпечатков, нанесенных на поверхность опытного образца при отсутствии наплавки, позволило провести их статическую обработку. В результате удалось установить, что максимальные и минимальные HRC находятся несколько ниже твердости стали 65Г, прошедшей закалку со средним отпуском. Причиной установленного явилось использование для изготовления опытных образцов стали листов рессор, утративших свою жесткость в процессе эксплуатации. (Из источников известно применение вторичных материалов при восстановлении деталей машин [6, 7].)

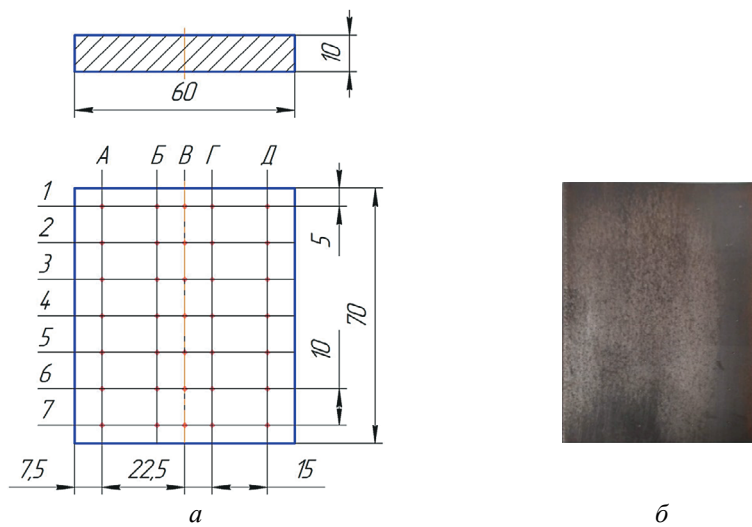


Рис. 1. Схема измерений твердости (а) и опытный образец (б)

Fig. 1. Hardness measurement scheme (a) and prototype (b)

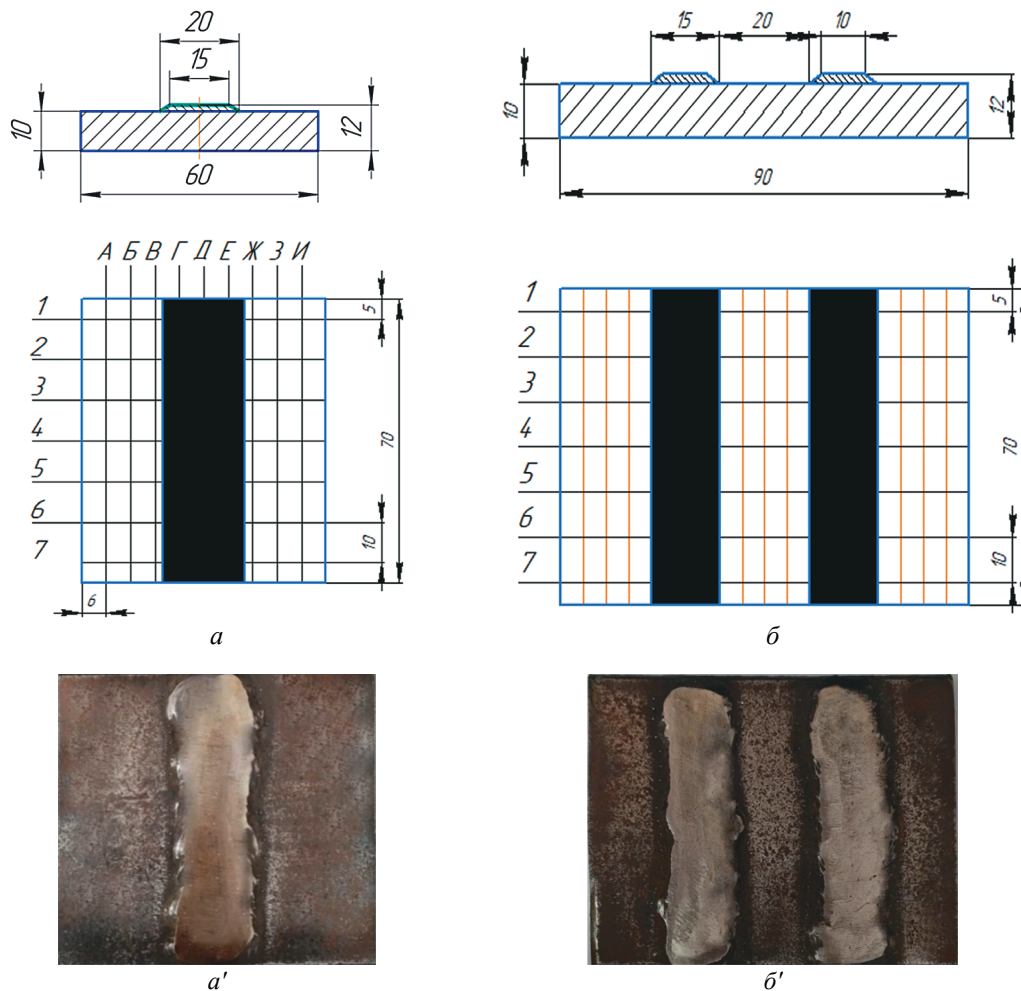


Рис. 2. Схема измерений HRC армированных образцов одним валиком (а) и двумя валиками (б); опытный образец с одним валиком (а') и с двумя валиками (б')

Fig. 2. Scheme of HRC measurements of reinforced samples: with one roller (a), two rollers (b) and prototypes; with one roller (a'), with two rollers (b')

Результаты исследований показали следующее:
– твердость находится в пределах 44...47 HRC, что указывает на возможность применения отработавших ресурс листов рессор в качестве износостойких материалов (рис. 3);

– разброс значений HRC невелик, и это подтверждается малым значением коэффициента вариации ($V = 2\%$), свидетельствующим о стабильности термоупрочнения;

– распределение твердости не подчиняется нормальному закону и носит экспоненциальный характер;
 – наиболее вероятны ($P_i = 17\%$) максимальные значения HRC, также подтверждающие рациональность использования отработавших листов рессор в качестве абразивостойких ремонтных материалов.

Рекомендуемая рядом исследователей [8, 9] величина твердости должна составлять около 53 HRC. Поэтому проведение упрочняющего наплавочного армирования в этом случае является необходимой мерой для обеспечения износостойкости рабочих поверхностей деталей, эксплуатирующихся в среде с присутствием абразивных частиц.

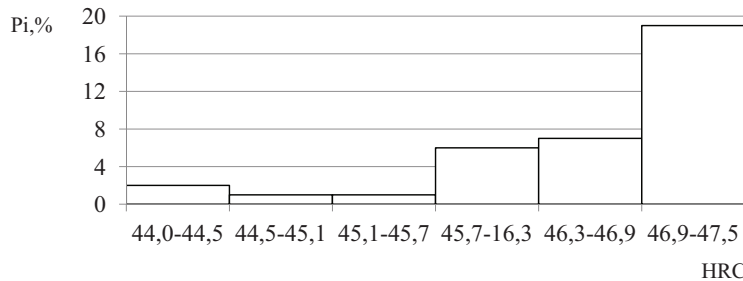


Рис. 3. Гистограмма распределения твердости образца без технологических воздействий
Fig. 3. Histogram of the sample hardness distribution without technological influences

Эпюры распределения твердости в поперечном сечении экспериментальных образцов с присутствием валиков носят «классический характер» по своей форме для подобного рода наплавов [9, 10]. В то же время они имеют некоторую специфику.

Изменение HRC по ширине образца с одним валиком (рис. 4) образует три участка: первый – область основного металла, второй – зона термического влияния, третий – металл валика. Наплавка фактически не влияет на твердость исходных образцов, которая составляет около 45 HRC.

Зона термического влияния характеризуется резким падением твердости относительно как основного металла, так и металла валика, обусловленным

структурно-деформационными процессами. Следует полагать, что на данном участке будут присутствовать разрушения на структурном уровне (межзёрненные разрушения).

Причиной образования межкристаллитных микротрещин являются растягивающие напряжения, возникающие при кристаллизации наплавленного металла и зоны термического влияния, когда основной металл остается твердым. HRC наплавленного металла равна твердости, оговоренной нормативными документами на электрод Т-590, и составляет 60...62 HRC (рис. 4). Незначительную неравномерность твердости валика следует отнести к некоторой структурной разнородности и погрешности измерений.

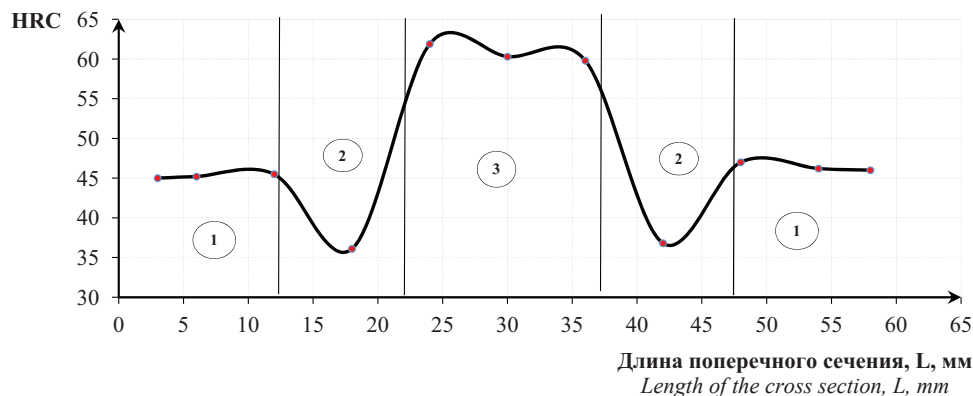


Рис. 4. Эпюра значений твердости в поперечном сечении образца с одним валиком:
 1 – основной металл; 2 – зона термического влияния; 3 – металл валика
Fig. 4. Plot the values of hardness in the cross section of the sample with one roller:
 1 – base metal; 2 – heat affected zone; 3 – roller metal

По своей форме эпюра HRC для образцов с двумя армирующими валиками фактически не отличается от рассмотренной выше, однако она имеет ряд особенностей (рис. 5).

После проведения наплавки твердость основного металла снижается до 37...42 HRC, что ниже показателей у образцов без наплавки на 9...4 ед. Безусловно, это является отрицательным моментом, так как снижение твердости влечет за собой уменьшение абразивной износостойкости.

В то же время присутствие твердых валиков нивелирует падение HRC. Кроме того, уменьшение пути контактирования абразивных частиц с рабочей поверхностью и образование псевдосжиженного слоя на обратном обрезе валика будут способствовать снижению их влияния на процесс износа [11]. Такое падение твердости обусловлено более высокой продолжительностью процесса охлаждения образца, чем при наплавке одного валика (отжигающий эффект).

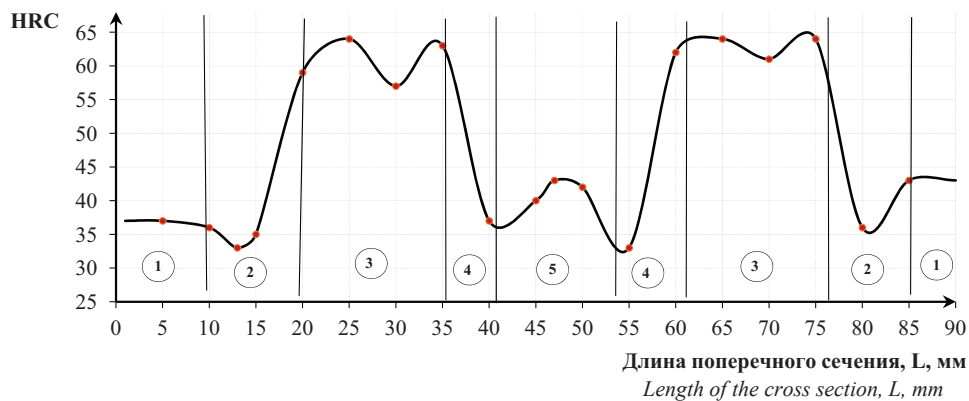


Рис. 5. Эпюра значений твердости в поперечном сечении образца с двумя армирующими валиками:

1 – основной металл; 2 – зона термического влияния «Основной металл образца-металл валика»;
3 – металл валика; 4 – зона термического влияния «Шов металл валика-основной металл промежуточной области»;
5 – металл промежуточной области

Fig. 5. Plot the hardness values in the cross section of the sample with two reinforcing rollers:

1 – base metal; 2 – zone of thermal influence of the “basic pattern metal – roller metal”; 3 – metal roller;
4 – heat affected zone “roller metal seam – primary metal staging area”; 5 – intermediate zone metal

Снижение твердости в зоне термического влияния по отношению к основному металлу составляет 4 HRC против 10 HRC для образцов с одним валиком, что обусловлено более высоким значением степени переохлаждения при кристаллизации в условиях наплавки двух валиков. В свою очередь, разность между твердостью валика и зоны термического влияния составляет соответственно 26 HRC и 29 HRC для образцов с одним и двумя валиками.

Промежуточный участок между валиками представлен тремя зонами: двумя областями – зоны термического влияния «Валик – основной металл промежуточной области»; областью 5 – основной металл промежуточной области. При этом промежуточная область имеет твердость 44 HRC, что укладывается в диапазон значений, полученных на образцах в исходном состоянии.

Наличие «провалов» в области 5 также объясняется микроразрушениями и изменением структуры. Небольшая ширина (5...8 мм) зоны падения HRC не является причиной, отрицательно сказывающейся на величине абразивной износостойкости. Кроме того, увеличив расстояние между валиками согласно [3] до 30...40 мм, можно избежать падения HRC.

Библиографический список

1. Крюковская Н.С. Аналитическое моделирование взаимодействия частиц почвы с рабочей поверхностью стрелчатых лап, упрочненных наплавочным армированием // Инновации в сельском хозяйстве. 2019. № 4 (33). С. 38-45.
2. Козарез И.В., Тюрёва А.А., Мелешенко А.А. Влияние наплавочного армирования различными электродами на изменение твердости долот глубоких литей «вадерштадт» // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. 2018. № 1 (17). С. 93-99.
3. Денисов В.А., Кожухова Н.Ю., Орехова Г.В. и др. Влияние конструкции лемеха и наплавочного армирования на твердость его носовой части // Тракторы и сельхозмашины. 2016. № 7. С. 36-40.
4. Крюковская Н.С. Определение режимных параметров упрочнения стрелчатых лап наплавкой отдельных

Выводы

1. Наличие твердости 44...47 HRC у листов рессор, снятых с эксплуатации, указывает на возможность их применения в качестве ремонтных материалов при условии проведения дополнительного упрочнения наплавочным армированием электродами, обеспечивающими твердость металла валика около 60...62 HRC.
2. Наплавка одного валика на термоупрочненную сталь 65Г не сказывается на величине исходной твердости основного металла и на твердости наплавленного металла.
3. Наплавка двух армирующих валиков отрицательно сказывается на твердости основного металла, когда происходит снижение HRC на 9 ед. Промежуточный участок характеризуется наличием трех зон (две из них – зона термического влияния, одна зона – область основного металла).
4. Применение наплавочного армирования при упрочнении термобработанной стали 65Г обеспечивает увеличение её служебных свойств за счет высокой твердости металла валиков, уменьшения пути контактирования абразивной частицы с рабочей поверхностью и образования между валиками «псевдосжиженного» слоя, перемещающейся абразивной среды.

References

1. Kryukovskaya N.S. Analiticheskoe modelirovanie vzaimodeystviya chastits pochvy s rabochey poverkhnost'yu strel'chatykh lap, uprochnennykh naplavochnym armirovaniem [Analytical modeling of the interaction of soil particles with the working surface of duckfoot sweep hardened by surfacing reinforcement. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*, 2019; 4 (33): 38-45.
2. Kozarez I.V., Tyureva A.A., Meleshenko A.A. Vliyanie naplavochnogo armirovaniya razlichnymi elektrodami na izmenenie tverdosti dolot glubokorykhlyteley “Vadershtadt” [Influence of surfacing reinforcement with various electrodes on the hardness change of the bits of the “Waderstadt” subsoiler]. *Konstruirovaniye, ispol'zovaniye i nadezhnost' mashin sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya*, 2018; 1 (17): 93-99.
3. Denisov V.A., Kozhukhova N.Yu., Orekhova G.V., Mikhalchenkova M.A. Vliyanie konstruktssii lemehka

валиков // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2020. № 8 (190). С. 130-135.

5. Михальченков А.М., Козарез И.В., Дьяченко А.В. и др. Изнашивание и ресурс восстановленных по различным технологиям отвалов сельскохозяйственного назначения // Технология металлов. 2021. № 1. С. 47-51. DOI: 10.31044/1684-2499-2021-0-1-47-51.

6. Новиков А.А., Михальченкова М.А., Исаев Х.М. Некоторые вопросы использования термообработанных рессорно-пружинных сталей из вторичного сырья для упрочняющего восстановления лемехов // Труды инженерно-технологического факультета Брянского государственного аграрного университета. 2017. № 1 (1). С. 21-35.

7. Михальченков А.М., Козарез И.В., Орехова Г.В. и др. К обоснованию упрочняющего восстановления отечественных лемехов с применением вторичного сырья // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30. № 7. С. 105-112.

8. Михальченков А.М., Новиков А.А., Купреенко А.И. Изнашивание термоупрочненной стали 65Г в среде с незакрепленным абразивом // Материаловедение. 2017. № 8. С. 20-23.

9. Аулов В.Ф., Ишков А.В., Иванайский В.В. и др. Влияния легирования бором на структуру сварочных швов для стали 65Г // Технология машиностроения. 2018. № 11. С. 5-8.

10. Скаков М.К., Увалиев Б.К., Чинахов Д.А. и др. Микроструктура и микротвердость многослойных сварных соединений стали 30ХГСА // Вестник Национального ядерного центра Республики Казахстан. 2008. № 2. С. 110-114.

11. Кожухова Н.Ю., Синяя Н.В. Влияние армирования поверхности лемехов на их изнашивание по толщине // Тракторы и сельхозмашины. 2016. № 9. С. 31-34.

i naplavochного armirovaniya na tverdst' ego nosovoy chasti [Influence of the ploughshare design and surfacing reinforcement on the hardness of its nose]. *Traktory i sel'khoz mashiny*, 2016; 7: 36-40.

4. Kryukovskaya N.S. Opredelenie rezhimnykh parametrov uprochneniya strel'chatykh lap naplavkoy otdel'nykh valikov [Determination of mode parameters of hardening duckfoot sweeps by surfacing of separate rollers]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2020; 8 (190): 130-135.

5. Mikhalkhenkov A.M., Kozarez I.V., Dyachenko A.V., Tyureva A.A. Iznashivanie i resurs vosstanovlennykh po razlichnym tekhnologiyam otvalov sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya [Wear and life of agricultural dumps recovered using various technologies]. *Tekhnologiya metallov*, 2021; 1: 47-51. DOI: 10.31044/1684-2499-2021-0-1-47-51

6. Novikov A.A., Mikhalkhenkova M.A., Isaev Kh.M. Nekotorye voprosy ispol'zovaniya termoobrabotannykh resurno-pruzhinnykh staley iz vtorichnogo syr'ya dlya uprochnyayushchego vosstanovleniya lemekhov [Some issues of using heat-treated spring steels from secondary raw materials for hardening restoration of plowshares]. *Trudy inzhenerno-tekhnologicheskogo fakul'teta Bryanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2017; 1(1): 21-35.

7. Mikhalkhenkov A.M., Kozarez I.V., Orekhova G.V. et al. K obosnovaniyu uprochnyayushchego vosstanovleniya otechestvennykh lemekhov s primeneniem vtorichnogo syr'ya [To substantiation of the hardening restoration of domestic plowshares with the use of secondary raw materials]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2016; 30(7): 105-112.

8. Mikhalkhenkov A.M., Novikov A.A., Kupreenko A.I. Iznashivanie termouprochnennoy stali 65G v srede s nezakreplennym abrazivom [Wear of heat-strengthened steel 65G in an environment with a loose abrasive]. *Materialovedenie*, 2017; 8: 20-23.

9. Aulov V.F., Ishkov A.V., Ivanaisky V.V. et al. Vliyanie legirovaniya borom na strukturu svarochnykh shvov dlya stali 65G [Influence of boron alloying on the structure of welded seams for steel 65G]. *Tekhnologiya mashinostroeniya*, 2018; 11: 5-8.

10. Skakov M.K., Uvaliev B.K., Chinakhov D.A. et al. Mikrostruktura i miktrotverdst' mnogoslonykh svarnykh soedineniy stali 30KHGSA [Microstructure and microhardness of multilayer welded joints of steel 30HGSA]. *Vestnik Natsional'nogo yadernogo tsentra Respubliki Kazakhstan*, 2008; 2: 110-114.

11. Kozhukhova N.Yu., Sinyaya N.V. Vliyanie armirovaniya poverkhnosti lemekhov na ikh iznashivanie po tolshchine [Influence of surface reinforcement of plowshares on their wear in thickness]. *Traktory i sel'khoz mashiny*, 2016; 9: 31-34.

Критерии авторства

Михальченков А.М., Ульянова Н.Д., Феськов С.А., Гуцан А.А. выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов провели эксперимент и подготовили рукопись. Михальченков А.М., Ульянова Н.Д., Феськов С.А., Гуцан А.А. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 03.03.2021

Одобрена после рецензирования 22.03.2021

Принята к публикации 26.03.2021

Contribution

A.M. Mikhalkhenkov, N.D. Ulyanova, S.A. Feskov, A.A. Gutsan performed theoretical studies, and based on the results obtained, conducted the experiment and wrote the manuscript. A.M. Mikhalkhenkov, N.D. Ulyanova, S.A. Feskov, A.A. Gutsan have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received 03.03.2021

Approved after reviewing 22.03.2021

Accepted for publication 26.03.2021