

АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
AGROENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES
ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА
(ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)

Научная статья

УДК 621.791.3.004.67

ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА ЛЕМЕХОВ ПЛУГОВ МЕТОДОМ ПАЙКИ
МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ПЛАСТИН

¹Владимир Владимирович Гончаренко, ¹Юрий Алексеевич Кузнецов, ¹Наталья Александровна Березина, ²Игорь Николаевич Кравченко, ³Сергей Александрович Феськов,
³Игорь Игоревич Дириутин

¹Орловский государственный аграрный университет им. Н.В. Парахина, Орел, Россия,

²Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия,

³Брянский государственный аграрный университет, Брянская область, Кокино, Россия

Аннотация. Лемеха плугов работают в условиях интенсивного абразивного изнашивания, что быстро снижает их работоспособность и заставляет хозяйства часто менять детали. Один из путей решения - восстановление изношенных лемехов с одновременным наращиванием их ресурса. Предложен способ, основанный на пайке металлокерамических пластин непосредственно на рабочую поверхность детали. В качестве армирующего элемента выбраны пластины из твёрдого вольфрамкобальтового сплава ВК-8 (92% карбида вольфрама, 8% кобальта), обладающего высокой сопротивляемостью истиранию и хорошо зарекомендовавшего себя при контакте с почвой. Надежность паяного соединения «пластина - сталь лемеха» исследована с учётом влияния трёх технологических факторов: угла смачивания поверхности расплавленным припоем, площади растекания припоя и величины зазора между пластиной и деталью. Определены рациональные режимы пайки, обеспечивающие прочность сцепления около 120-121 МПа, что достаточно для восприятия эксплуатационных нагрузок. Проведены сравнительные испытания серийных лемехов заводского исполнения и опытных образцов, восстановленных пайкой пластин. Испытания включали лабораторные и эксплуатационные испытания. Установлено, что лемеха с припаянными пластинами значительно устойчивее к абразивному и коррозионно-механическому изнашиванию. Благодаря применению металлокерамики ресурс восстановленных деталей возрастает в 4,6-5,0 раз по сравнению с новыми серийными аналогами. Разработанная технология не требует сложного оборудования и может быть внедрена на ремонтно-технических предприятиях, специализирующихся на восстановлении почвообрабатывающей техники. Вместо частой замены лемехов - их долговременная работа с минимальными затратами.

Ключевые слова: металлокерамические покрытия, пайка, твердый сплав, соединение, лемех.

Для цитирования. Повышение ресурса лемехов плугов методом пайки металлокерамических пластин / В.В. Гончаренко, Ю.А. Кузнецов, Н.А. Березина и др. // Вестник Брянской ГСХА. 2026. № 3 (115). С. 64-71.

Original article

INCREASING THE LIFESPAN OF PLOWSHEARS BY SOLDERING METAL-CERAMIC PLATES

¹Vladimir V. Goncharenko, ¹Yury A. Kuznetsov, ¹Natal'ya A. Berezina, ²Igor' N. Kravchenko,
³Sergei A. Fes'kov, ³Igor I. Diryutin

¹Oryol State Agrarian University named after N.V. Parakhin, Oryol, Russia,

²Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia,

³Bryansk State Agrarian University, Bryansk region, Kokino, Russia

Abstract. Plowshares operate under conditions of intense abrasive wear, which quickly reduces their performance and forces farms to replace parts frequently. One solution is to restore worn shares while simultaneously extending their lifespan. A proposed method involves brazing metal-ceramic plates directly to the working surface of the part. The reinforcing element is VK-8 tungsten-cobalt alloy (92% tungsten carbide, 8% cobalt), which has high abrasion resistance and has proven itself in soil contact. The reliability of the brazed joint between the plate and the ploughshare steel was studied, taking into account the influence of three process factors: the contact angle of the molten solder, the solder spreading area, and the gap size between the plate and the component. Efficient brazing conditions were determined, ensuring an adhesion strength of approximately 120-121 MPa, which is sufficient to withstand operational loads. Comparative

tests were conducted between serial factory-made ploughshares and prototypes refurbished by brazing the plates. The tests included laboratory and operational trials. It was found that ploughshares with brazed plates are significantly more resistant to abrasive and corrosive-mechanical wear. Thanks to the use of metal ceramics, the service life of refurbished parts increases by 4.6-5.0 times compared to new serial analogues. The developed technology does not require complex equipment and can be implemented at repair and maintenance companies specializing in the restoration of tillage equipment. Instead of frequent ploughshare replacement, they are guaranteed to last for years with minimal costs.

Keywords: metal-ceramic coatings, soldering, hard alloy, connection, share.

For citation. Increasing the service life of plowshares by soldering metal-ceramic plates / V.V. Goncharenko, Yu.A. Kuznetsov, N.A. Berezina, et al. // Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2026. No. 3 (115). pp. 64-71.

Введение. Среди всех полевых работ вспашка отвальным плугом остаётся одной из самых энергоёмких и ответственных операций [1-3]. По условиям работы и требованиям к качеству обработки почвы ей нет равных. Лемех подвергается наиболее интенсивному изнашиванию по сравнению с другими рабочими органами. Основными факторами, приводящими к его преждевременному выходу из строя, являются абразивное истирание, ударные нагрузки при контакте с камнями и коррозионное воздействие [4-6].

Лемеха изготавливают из качественных сталей - Л65, Л53. Но даже они быстро теряют остроту, покрываются трещинами, ломаются. Критический параметр - ширина затылочной фаски: как только она становится меньше 2,5 мм, деталь отправляют в брак. В условиях работы на плотных и каменистых почвах лемехи испытывают повышенные ударные и абразивные нагрузки. При этом закалённые рабочие органы чаще выходят из строя вследствие разрушения, а лемеха, упрочнённые наплавкой сормайтотом, склонны к пластической деформации, особенно в переходной зоне между носком и корпусной частью [7, 8]. Изучение состояния изношенных лемехов после эксплуатации даёт возможность установить наиболее нагруженные участки, где износ развивается наиболее интенсивно (рисунок 1), а также систематизировать основные виды эксплуатационных дефектов плужных лемехов (рисунок 2). Полученные данные показывают, что максимальная потеря материала характерна прежде всего для носовой части, непосредственно воспринимающей основное сопротивление почвы.

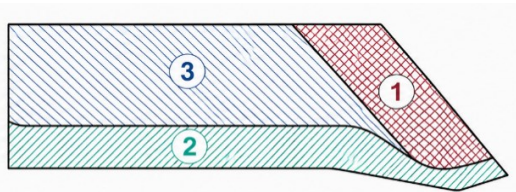


Рисунок 1 - Зоны износа лемеха:

- 1) - носовая часть; 2) - лезвие;
- 3) - средняя часть и пятка

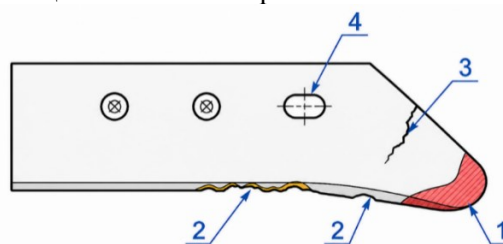


Рисунок 2 - Дефекты, возникающие при эксплуатации лемеха:

- 1 - затупление острия лезвия;
- 2 - выкрашивание лезвия; 3 - трещины;
- 4 - износ отверстий крепления

Существует ряд способов восстановить лемех и продлить срок его службы: заточка, наплавка твёрдыми сплавами, газопламенное напыление порошков, индукционная наплавка, оттяжка с последующей закалкой и др. [9, 10]. Однако на практике многие из этих методов дают либо недостаточную износостойкость, либо слабую адгезию покрытия, либо делают деталь хрупкой.

Поэтому всё чаще исследователи обращаются к материалам, которые способны кардинально увеличить ресурс рабочих органов. Среди них особое место занимают керамика и металлокерамика [11]. Материалы данного типа характеризуются высокой стойкостью при работе в условиях абразивного воздействия и коррозионно-механического изнашивания. Это делает их пригодными для защиты и упрочнения деталей, непосредственно контактирующих с почвенной средой. В зависимости от принятой технологии они могут применяться либо в виде порошковых покрытий, формируемых на поверхности детали, либо в виде отдельных износостойких пластин, закрепляемых клеевым способом или пайкой [12, 13].

При ремонте лемехов плугов целесообразнее использовать пайку, так как она обеспечивает более надёжное соединение металлокерамической пластины с основой. В процессе нагрева припой переходит в жидкое состояние, растекается по поверхности и заполняет технологический зазор между сопрягаемыми элементами. После охлаждения формируется паяный шов, обладающий достаточной прочностью и некоторой пластичностью. Это важно для лемехов, поскольку при работе они воспри-

нимают не только абразивное воздействие почвы, но и ударные, вибрационные и переменные нагрузки. В связи с этим напайка металлокерамических пластин на изношенные участки лемеха может рассматриваться как технологически обоснованный способ восстановления и повышения долговечности рабочего органа. Эффективность такого подхода подтверждается данными [14], где отмечено многократное увеличение ресурса детали.

Цель исследования - провести экспериментальную оценку надежности соединения «металло-керамическая пластина - лемех плуга» (полученного пайкой с нагревом водородно-кислородным пламенем) при эксплуатации в полевых условиях и определить прирост ресурса эксплуатации относительно стандартного лемеха без упрочнения.

Реализация цели исследования включала выполнение комплекса задач: анализ микроструктуры паяных соединений, измерение прочности сцепления металлокерамических пластин с поверхностью лемеха, а также проведение стендовых испытаний на изнашивание и полевых эксплуатационных испытаний, предусматривающих сравнительную оценку характеристик опытных и серийных лемехов.

Материалы и методы. Методика экспериментальных исследований включала лабораторные (определение заполнения зазора припоем, контроль прочности сцепления покрытия, испытания на усилие отрыва) и эксплуатационные испытания.

В процессе пайки применяли пластины, изготовленные из твёрдого сплава ВК-8, а в качестве припоя использовали латунь марки Л63. Пайку выполняли с использованием электролизно-водного аппарата «Энергия-1,5 УХЛ4».

Для проведения сравнительных стендовых испытаний на изнашивание в качестве эталонного материала использовали лемешную сталь Л65, широко применяемую при изготовлении рабочих органов почвообрабатывающих машин. Оценку износостойкости выполняли на установке ИМ-01 по трибологической схеме «испытуемый образец - эластичный полимерный ролик» (рисунок 3). Такая схема позволяла моделировать контактное взаимодействие материала образца с абразивной средой при заданных нагрузочных и кинематических параметрах.

С целью ускорения процесса изнашивания в область контакта непрерывно подавался абразивный материал, в качестве которого использовали электрокорунд с размером частиц 0,16-0,32 мм. Испытания осуществляли при контактном давлении 0,33 МПа и расходе абразива 7,0 г/мин. Время одного испытательного цикла составляло 30 мин. При частоте вращения полимерного ролика 115 мин⁻¹ и диаметре 50 мм расчётный путь трения составлял 540 м. Количественную оценку износа проводили весовым методом, основанным на определении потери массы образцов после испытаний.

Плуги ПЛН-3-35 с опытными и серийными лемехами испытывали в полевых условиях на суглинистых почвах Орловской области (Россия).

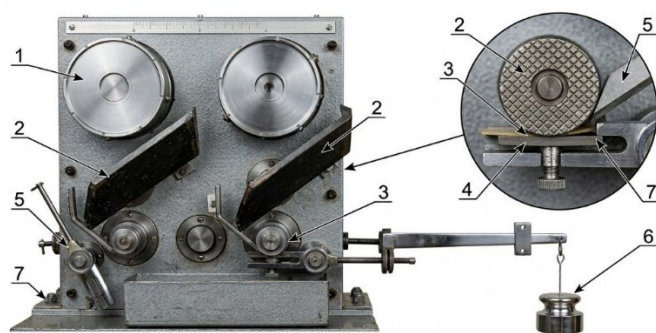


Рисунок 3 - Схема испытаний на изнашивание: 1 - барабан с абразивом; 2 - желоб; 3 - винт; 4 - испытуемый образец; 5 - эластичный полимерный ролик; 6 - груз; 7 - держатель

Результаты и их обсуждение. Проведённые исследования напаянных металлокерамических пластин показали, что увеличение площади их нахлёстки сопровождается ростом прочности соединения (рисунок 4). Установлено, что рациональное значение площади нахлёстки находится в пределах 285-324 мм². При таких параметрах прочность сцепления напаянных пластин составляет около 119-123 МПа.

При дальнейшем увеличении площади нахлёстки сверх указанных значений прочность сцепления пластин с поверхностью лемеха заметно снижается. По-видимому, это обусловлено изменением условий растекания припоя и величины угла смачивания. Так, при использовании металлокерамических пластин из сплава ВК-8 уменьшение угла смачивания с 25 до 16° приводит к снижению площади растекания припоя с 397 до 313 мм² (рисунок 5).

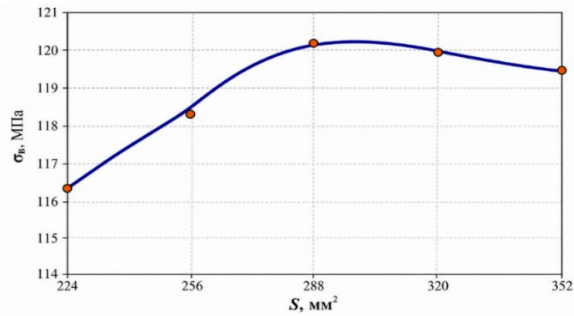


Рисунок 4 - Характер изменения адгезионной прочности σ_b паяных соединений металлокерамических пластин с лемешной сталью Л65 в зависимости от площади нахлестки S

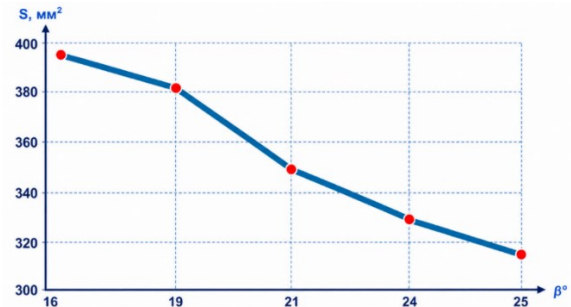
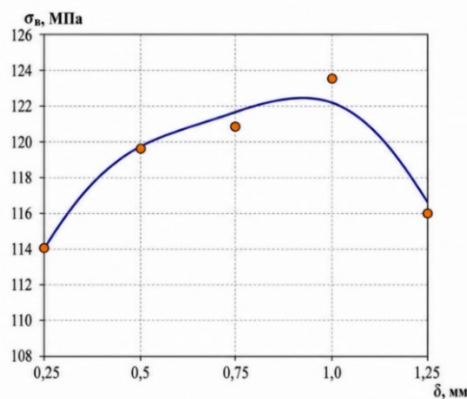


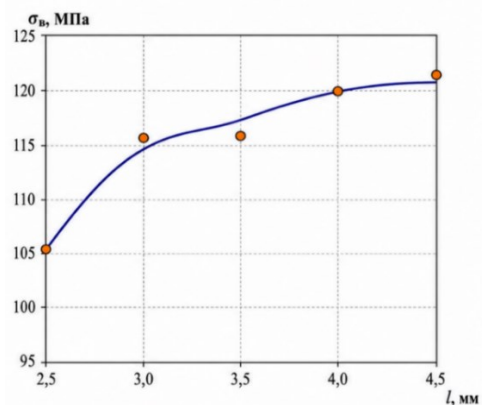
Рисунок 5 - Зависимость площади растекания припоя S от угла смачивания

На прочность паяного соединения существенное влияние оказывает величина технологического зазора между сопрягаемыми элементами (рисунок 6, а). Максимальная адгезионная прочность паяных соединений, составляющая 120-123 МПа, достигается при зазоре 0,9-1,2 мм. При этом чрезмерное увеличение зазора может приводить к изменению характера кристаллизации припоя. В частности, при значительных зазорах наблюдается послойная направленная кристаллизация, способствующая образованию трещин.

Увеличение глубины паза также сопровождается ростом адгезионной прочности соединения. Рациональное значение данного параметра составляет около 3,9-4,6 мм (рисунок 7, б). Такой диапазон глубины определяется, прежде всего, предельной толщиной лемеха.



а)



б)

Рисунок 6 - Изменение адгезии σ_b паяных соединений «металлокерамическая пластина-лемешная сталь Л65» от технологического зазора δ (а) и глубины паза l (б)

Данные, полученные при исследовании микроструктуры паяных соединений (рисунок 7), находятся в хорошем соответствии с результатами испытаний на адгезионную прочность соединяемых элементов. Металлографический анализ паяных образцов позволил установить, что структура зоны спая характеризуется мелкозернистым строением. Такая морфология свидетельствует о более равномерном формировании паяного шва и может рассматриваться как один из факторов, обеспечивающих высокую прочность сцепления металлокерамической пластины с основным материалом.

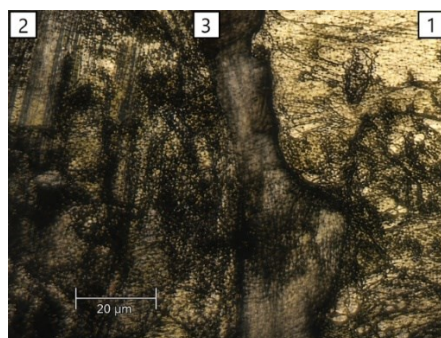


Рисунок 7 - Микроструктура паяного соединения «металлокерамическая пластина-лемешная сталь Л65»: 1 - пластина, 2 - сталь, 3 - припой

Результаты стендовых испытаний на абразивное изнашивание подтвердили более высокую износостойкость образцов, изготовленных из сплава ВК-8, по сравнению с лемешной сталью Л65, использованной в качестве эталона. Установлено, что сопротивление изнашиванию образцов из ВК-8 превышает соответствующий показатель стали Л65 в 4-6 раз. Такое различие обусловлено структурно-фазовым составом твёрдого сплава: материал на кобальтовой основе содержит около 92 % карбида вольфрама, что обеспечивает его высокую твёрдость, составляющую HV 17 ГПа, и повышенную сопротивляемость абразивному воздействию.

Результаты эксплуатационных испытаний лемехов приведены на рисунке 8. При наработке 10 га серийные лемехи имели выраженный износ как по массе, так и по основным геометрическим размерам. Потеря массы составляла 0,41-0,86 кг. Уменьшение расстояния от носка лемеха до центра первого крепёжного отверстия находилось в пределах 34-66 мм, износ по ширине составлял 6-15 мм, а по толщине - 1-1,5 мм.

У опытных лемехов после такой же наработки износ был значительно меньше. Массовая потеря составила около 0,2 кг. Расстояние от носовой части до центра первого крепёжного отверстия уменьшилось на 13,5 мм, износ по ширине находился в пределах 1-4 мм, а по толщине составил 0,15 мм. Таким образом, установка металлокерамических пластин позволила снизить изнашивание лемехов по всем контролируемым показателям.

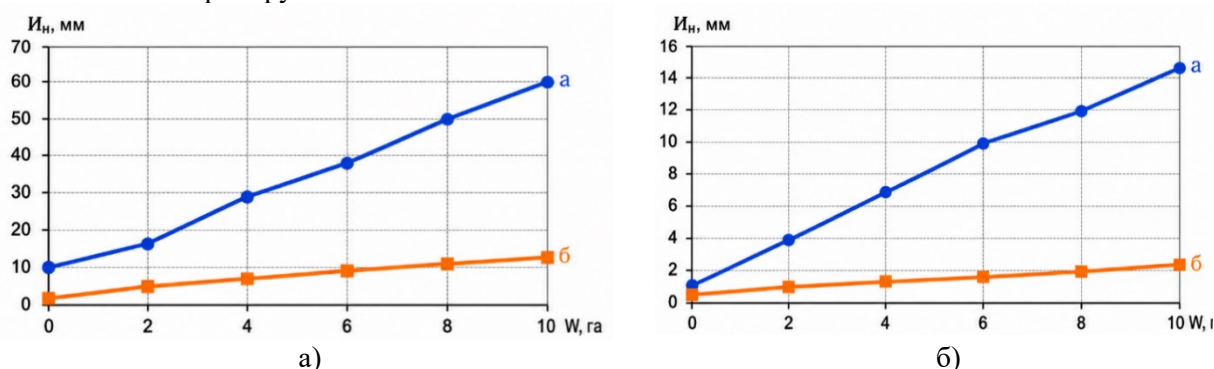


Рисунок 8 - Зависимость износа серийных и опытных лемехов по длине носка и ширине от наработки при работе на среднесуглинистой почве влажностью 14-17 % и твёрдостью 2,4 МПа:
а - серийный лемех; б - опытный лемех

Проведённые исследования показали, что установка металлокерамических пластин на рабочую часть лемеха заметно снижает его изнашивание по сравнению с серийными образцами, использованными в качестве эталона. Установлено, что по длине носовой части опытные лемехи превосходят серийные в 4,5-4,7 раза, а по износостойкости по ширине - в 4,9-5,2 раза.

Для наглядной оценки состояния рабочего органа после испытаний на рисунке 9 приведён общий вид опытного лемеха, прошедшего эксплуатационную проверку.

Результаты выполненных исследований послужили основой для разработки технологического процесса восстановления плужных лемехов в условиях ремонтного производства. Предложенная технология предусматривает припаивание металлокерамических пластин к металлу лемеха с использованием водородно-кислородного пламени. Схема реализации данного технологического процесса представлена на рисунке 10.



Рисунок 9 - Внешний вид опытного образца, упрочнённого металлокерамическими пластинами, после эксплуатационных испытаний

Лемехи плугов, направляемые на восстановление и последующее упрочнение, должны предварительно проходить техническую оценку. К восстановлению допускаются детали, состояние которых обеспечивает возможность дальнейшей эксплуатации после проведения ремонтно-восстановительных операций. В первую очередь лемехи очищают от почвенных, коррозионных и иных загрязнений до уровня, позволяющего выполнить их визуальный осмотр, установить характер износа и выявить возможные дефекты.



Рисунок 9 - Структурная схема технологического процесса восстановления и упрочнения

Основными критериями пригодности лемехов к восстановлению являются остаточная толщина и ширина рабочей части. Толщина основы в зоне расположения отверстий под крепёжные болты должна быть не менее 8 мм. Ширина лемеха, измеряемая с тыльной, нерабочей стороны как расстояние от спинки до затылочной фаски, должна составлять не менее 100 мм. Соблюдение указанных требований необходимо для сохранения прочности детали после выполнения технологических операций и обеспечения надёжного крепления упрочняющих элементов.

Лемехи, имеющие износ по ширине и затупление режущей кромки, предварительно подвергают оттяжке в нагретом состоянии. Данная операция выполняется на пневматическом молоте с использованием специальных бойков. Для долотообразных лемехов, применяемых при обработке твёрдых почв, целесообразно выполнять небольшой отгиб носовой части в сторону дна борозды. Такая форма способствует лучшему заглублению рабочего органа в почву и повышает устойчивость хода плуга при выполнении технологической операции.

При кузнечной оттяжке режущую часть лемеха нагревают в горне по всей длине на ширину 60-70 мм до температуры 900-1100 °С. Нагрев рекомендуется проводить ступенчато: сначала медленно до 500-600 °С, затем с увеличением скорости нагрева. Такой режим позволяет уменьшить вероятность возникновения термических напряжений и образования трещин. После нагрева лемех укладывают на наковальню рабочей поверхностью и частыми ударами выполняют оттяжку. В первую очередь восстанавливают носовую часть, затем - лезвие по всей длине до достижения требуемых размеров. Операцию проводят при температуре выше 800 °С, поскольку снижение температуры металла в процессе деформирования может привести к появлению трещин. После завершения оттяжки восстановленную часть выравнивают гладилкой, а геометрические параметры лемеха контролируют по шаблону как в ходе операции, так и после её окончания.

Следующим этапом является сборка лемеха с металлокерамическими пластинами. Пластины устанавливают на подготовленную поверхность лемеха в прерывистом порядке. Такое расположение позволяет обеспечить требуемое распределение упрочняющих элементов по рабочей зоне детали. Между пластинами и поверхностью лемеха оставляют технологический зазор, предназначенный для размещения припоя и флюса. В качестве припоя используют латунный припой марки Л63, а в качестве флюса - Ф-100. Состав флюса включает фторборат калия KBF_4 - 46,5 %, буру $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ - 36,5 %, оксид вольфрама WO_3 - 13,5 % и оксид кобальта Co_2O_3 - 3,5 %.

После предварительной сборки лемех с установленными металлокерамическими пластинами подвергают нагреву горелкой, работающей на водородно-кислородном пламени. Основная задача на данном этапе заключается в равномерном прогреве пластины и участка лемеха, с которым она соединяется. Горелку перемещают и удерживают в зоне пластины до расплавления припоя. Появление

расплава указывает на достижение температуры, достаточной для формирования паяного соединения. В такой же последовательности выполняют пайку остальных пластин.

После завершения пайки лемех помещают в печь, нагретую до 580-620 °С. Дальнейшее охлаждение проводят вместе с печью до комнатной температуры. Такой режим позволяет уменьшить температурные напряжения, возникающие в зоне контакта металлокерамической пластины, припоя и основного металла лемеха.

При газопламенной пайке важно соблюдать порядок введения флюса и режим нагрева. Флюс наносят до начала нагрева, так как он защищает соединяемые поверхности от окисления и улучшает растекание припоя. Нагрев выполняют на расстоянии 20-25 мм от конца ядра пламени. В момент подачи припоя пламя отводят от зоны шва на 35-50 мм, чтобы не перегреть припой и не ухудшить условия его растекания по поверхности соединяемых элементов.

Расчёт экономической эффективности показал, что восстановление лемехов с припаиванием металлокерамических пластин водородно-кислородным пламенем позволяет использовать остаточный ресурс основы детали и дополнительно упрочнить наиболее нагруженную рабочую зону. По сравнению с покупкой новых серийных лемехов применение данной технологии снижает затраты сельскохозяйственных предприятий на 30-35 %.

Выводы. Основным видом износа лемехов является абразивное истирание, возникающее при взаимодействии рабочей поверхности с почвенными частицами. Наиболее интенсивно изнашивается носовая часть лемеха, так как именно этот участок первым входит в почву и воспринимает наибольшие контактные нагрузки.

1. Для восстановления изношенных лемехов предложен способ припаивания металлокерамических пластин из сплава ВК-8 к рабочей поверхности детали. Нагрев при пайке выполняется водородно-кислородным пламенем, что позволяет проводить упрочнение без сложного специализированного оборудования.

2. Испытания показали, что паяное соединение типа «металлокерамическая пластина - лемех» имеет достаточный запас прочности. Его несущая способность превышает расчётные нагрузки, возникающие при полевой работе, в 3,8-4,9 раза. Применение такого способа восстановления увеличивает ресурс лемеха в 2-3 раза, а затраты на восстановление снижаются на 30-35 % по сравнению с приобретением новой детали. Дополнительное преимущество технологии связано с использованием недорогой водородно-кислородной газовой смеси, получаемой из воды.

3. Предложенная технология может быть внедрена в действующие ремонтные процессы предприятий АПК. Она не требует существенного изменения производственной базы и может применяться в сервисных центрах и ремонтных мастерских, занимающихся восстановлением почвообрабатывающей техники. Использование данного способа позволяет перейти от регулярной замены изношенных лемехов к их восстановлению с одновременным упрочнением рабочей зоны.

Список источников

1. Темиров И.Г. Агротехнические показатели двухъярусного плуга для вспашки почв из-под хлопчатника // *Academy*. 2021. № 2 (65). С. 9-11.
2. Нуралин Б.Н., Олейников С.В., Галиев М.С. Обоснование конструктивной схемы поворотного плуга для гладкой вспашки // *Наука и Образование*. 2019. Т. 2, № 4. С. 243.
3. Анализ особенностей конструкции плугов для скоростной вспашки отечественного производства / А.М. Михальченков, М.А. Гужанская, К.Д. Дашков, В.А. Солодухин // *Труды инженерно-технологического факультета Брянского ГАУ*. 2022. № 1. С. 7-17.
4. Плужный рабочий орган поворотного плуга для гладкой вспашки / Б.Н. Нуралин, С.В. Олейников, Ш.Ж. Махмудова и др. // *Новости науки Казахстана*. 2021. № 2 (149). С. 155-165.
5. Износы правого ножа скоростного плуга ПСку и технологические мероприятия по увеличению его долговечности / А.М. Михальченков, Н.В. Синяя, А.М. Случевский, Н.Ю. Кожухова // *Технический сервис машин*. 2021. № 3 (144). С. 122-129.
6. Козарез И.В., Гуцан А.А., Тюрёва А.А. Некоторые особенности методики определения остаточных размеров и линейных износов остовов составных лемехов производства компании «КУН» // *Вестник Брянской ГСХА*. 2023. № 3 (97). С. 41-45.
7. Характеристика лемехов импортного производства и приобретённые дефекты / И.В. Козарез, М.А. Михальченкова, А.А. Гуцан и др. // *Труды инженерно-технологического факультета Брянского ГАУ*. 2021. № 1. С. 70-84.
8. Марков Б.А., Седых О.В., Бондаренко В.В. О влиянии упрочнения на эксплуатационные свойства почворезущего инструмента // *Тракторы и сельхозмашины*. 2021. Т. 88, № 2. С. 45-51.

9. . Оценка долговечности тяжело нагруженных деталей почвообрабатывающих машин с оптимизацией их размеров и модификацией структуры / А.А. Канаев, И.М. Косанова, Т.Е. Сарсембаева и др // Сталь. 2024. № 7. С. 36-43.

10. Gulyarenko A., Bembenek M. The Method of Calculating Ploughshares Durability in Agricultural Machines Verified on Plasma-Hardened Parts // Agriculture. 2022. N 12. P. 841.

11. Коняева Н.И., Коняев Н.В. К обзору способов восстановления изношенных органов почвообрабатывающих машин // Современные материалы, техника и технологии. 2023. № 1 (46). С. 60-65.

12. Коршунов В.Я. Обзор и анализ некоторых технологий по увеличению долговечности и производительности восстановления плужных лемехов // Вестник Брянской ГСХА. 2022. № 4 (92). С. 60-65.

13. Бирюков В.П., Принц А.Н., Якубовский А.А. Повышение триботехнических свойств композиционных металлокерамических материалов лазерной наплавкой // Journal of Advanced Research in Technical Science. JARiTS. 2021. N 25. С. 23-27.

14. Разработка способа восстановления и упрочнения лемехов плугов методом пайки металлокерамических пластин / Ю.А. Кузнецов, И.Н. Кравченко, В.В. Гончаренко и др. // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2023. № 1. С. 3-11.

Информация об авторах:

В.В. Гончаренко - кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры надежности и ремонта машин, Орловский государственный аграрный университет им. Н.В. Парахина, vovaniiii@bk.ru.

Ю.А. Кузнецов - доктор технических наук, профессор, профессор кафедры надежности и ремонта машин, Орловский государственный аграрный университет им. Н.В. Парахина.

Н.А. Березина - доктор технических наук, проректор по цифровизации, научной и инновационной деятельности, профессор, профессор кафедры земледелия, селекции и растениеводства, Орловский государственный аграрный университет им. Н.В. Парахина.

И.Н. Кравченко - доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технического сервиса машин и оборудования, Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева.

С.А. Феськов - кандидат технических наук, доцент, проректор по научной работе и инновациям, Брянский государственный аграрный университет.

И.И. Дирютин – студент, Брянский государственный аграрный университет.

Information about the authors:

V.V. Goncharenko - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Reliability and Repair of Machines, Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin, vovaniiii@bk.ru.

Yu.A. Kuznetsov - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Reliability and Repair of Machines, Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin.

N.A. Berezina - Doctor of Technical Sciences, Vice-Rector for Digitalization, Research, and Innovation, Professor in the Department of Agriculture, Breeding, and Crop Production, Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin.

I.N. Kravchenko - Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Technical Service of Machines and Equipment, Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy.

S.A. Fes'kov - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Vice-Rector for Research and Innovation, Bryansk State Agrarian University.

I.I. Diryutin – student Bryansk State Agrarian University.

Все авторы несут ответственность за свою работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в эту научную работу. Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

All authors are responsible for their work and the data provided. All authors have made an equal contribution to this scientific work. The authors were equally involved in writing the manuscript and are equally responsible for plagiarism. The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 06.05.2026, одобрена после рецензирования 11.05.2026, принята к публикации 23.05.2026.

The article was submitted 06.05.2026, approved after reviewing 11.05.2026; accepted for publication 23.05.2026.

© Гончаренко В.В., Кузнецов Ю.А., Березина Н.А., Кравченко И.Н., Феськов С.А., Дирютин И.И.