

ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет»

Институт механизации и технического сервиса

Кафедра эксплуатации и ремонта машин

Направление подготовки – 35.04.06 «Агроинженерия»

Магистерская программа – «Технический сервис в сельском хозяйстве»

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

ТЕМА: ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ
ДЕТАЛЕЙ СХМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Студент магистратуры _____ Мухаметзянов Ф.А.

Научный руководитель,

д.т.н., доцент

Калимуллин М.Н.

Рецензент

к.т.н., доцент _____ Халиуллин Д.Т.

Обсуждена на заседании кафедры и допущена к защите

(протокол №__ от _____ 2018 г.)

Зав. кафедрой, профессор _____ Адигамов Н.Р.

Казань-2018

ВВЕДЕНИЕ

Восстановление и упрочнение деталей сельскохозяйственных машин различными способами наплавки, при условиях того, что во многих не больших организациях есть ограниченность материальных и энергетических средств, ведет к экономии высококачественного металла, ГСМ, природных ресурсов и к охране окружающей среды, в результате продления срока эксплуатации изношенных или новых упрочнённых деталей [1].

В связи с развитием сельскохозяйственных предприятий, возникла проблема восстановления и упрочнения деталей, подверженных быстрому выходу из строя, из-за постоянного контакта с почвой. Основными агрегатами контактирующими с почвой в сельскохозяйственной технике являются: диски борон, стрельчатые лапы культиваторов, сошники, наральники, лемеха плуга и др. [1].

От интенсивного износа страдают не только землеобрабатывающие предприятия, но и льноперерабатывающие, мясоперерабатывающие, дорожно-строительные и др.

С помощью восстановления и упрочнения деталей различными способами, можно получить рабочие поверхности любой толщины, любого химического состава, высокого показателя твердости, износостойкости и т.д.

В России повышение ресурса рабочих органов почвообрабатывающей техники является острой проблемой. Это подтверждается следующим, в сельском хозяйстве РФ по данным министерства сельского хозяйства, имеется 607 тыс.ед. посевных комплексов в том числе, большое количество из которых иностранная техника. Если учесть, что за 2015 год зерновые сеялись на 1570980га, из них 1155850га посевными комплексами, получается, что 73% от всего посева, осуществлялось с использованием различных посевных комплексов. А рабочие органы (лапы) менялись по 3-6 раз в зависимости от условий работы и наработки за весь период посева, это приводит к очень большим финансовым расходам. При затуплении лезвий, производят заточку,

но это быстро приводит к полному их износу. Многие предприятия производящие рабочие органы сельскохозяйственных машин, применяют объемную закалку, но это ведет к уменьшению износостойкости деталей почвообрабатывающей техники и самозатачивания. Эту проблему можно решить увеличив срок службы деталей.

Повешение надежности и долговечности сельскохозяйственной техники, является одним из самых важных аспектов, для обеспечения страны продовольствием сельского производства [2,3,7,12-14,20-22,63-65].

Целью настоящей работы является повышение износостойкости стрелчатых лап посевного комплекса Morris Concept 2000 нанесением твердосплавных покрытий на режущих поверхностях рабочих органов.

Объектом исследования являются упрочненные рабочие органы посевного комплекса Morris Concept 2000.

Практическая ценность работы заключается в разработке и внедрении технологии восстановления рабочих органов почвообрабатывающих сельскохозяйственных машин, ориентированной на реальные условия эксплуатации техники, в получении покрытий с высокими физико-механическими характеристиками.

Основные положения диссертационной работы были доложены на научных конференциях профессорско-преподавательского состава и аспирантов Казанского ГАУ (2016-2018гг.).

Основное содержание диссертации, результаты исследований отражены в 2 статьях в трудах международной конференции.

Работа выполнена на кафедре «Эксплуатация и ремонт машин» ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет».

1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1 Условия работы рабочих органов почвообрабатывающих машин. Факторы, влияющие на износ рабочих органов почвообрабатывающих машин

Рабочие органы почвообрабатывающих и посевных машин, работают в тяжелых условиях. Характеристикой является то, что нагрузка достигает 7000...10000 Н на деталь и высокие удельные (износные) нагрузки. Данное значение на определенных поверхностях достигают 0,8 МПа [2].

Следует отметить, что на работоспособность рабочих органов почвообрабатывающих и посевных машин влияют такие факторы, как конструктивность, вид термообработки, технологичность.

Все три фактора, связаны между собой. Невозможно, например, создание работоспособных и тонких лезвий рабочего органа, без использования качественной стали и термомеханической обработки.

В условиях эксплуатации рабочих органов в каменистых почвах, важной характеристикой является так же показатели прочности.

Например, у стрельчатых лап культиваторов глубина эксплуатации 6...15 см. При обработке почвы эти рабочие органы проявляют себя с капризной стороной, поэтому необходимо соблюдать условие «скользящего резания». Когда выбираешь угол раствора лапы, нужно иметь в виду жесткие требования. Угол β (угол трения сорняка на лезвии) должна быть меньше величины $(90^\circ - \beta)$. Угол крошения культиваторных лап для различных конструкций культиваторов должна быть 11-20°[2].

При эксплуатации, носовая часть лапы подвергается в 2,5-4 раза большей нагрузке, по сравнению с лезвийной. При этом вызывает интенсивное изнашивание носка. Это приводит к тому, что большинство лап выбраковываются. Сопротивление лап, которые установлены на культиваторе в первом ряду, превышает сопротивление второго ряда при одинаковой ширине захвата примерно в 2 раза. Это объясняется тем, что лапы первого ряда

воздeйствуют на eще недеформированную почву, а лап второго ряда почва частично взрыхлена лапами первого ряда в зоне перекрытий [2]. Исходя из этого, можно сказать, что на лапы 1-го и 2-го ряда влияют разные изнашивающие нагрузки.

Особенностью культиваторных лап так же является то, что они симметричные и тем самым, боковые нагрузки на рабочие поверхности стабилизируются.

При обработке почвы, влияние различных факторов: эксплуатационных, установочных, геометрических параметров на нагрузки и работоспособность рабочих органов зависят от свойств почвы, и иногда носит неоднозначный характер, и определяется сложными зависимостями.

Величина нагрузки действующая на почвообрабатывающие орудия сельскохозяйственных машин, определяется по формуле академика В.П. Горячкина [3]:

$$P = G \cdot f + k \cdot a \cdot b + \xi \cdot a \cdot b \cdot V^2 \quad (1.1)$$

где $G \cdot f$ - сопротивление перемещению плуга;

$K \cdot a \cdot b$ - сопротивление резанию;

$\xi \cdot a \cdot b \cdot V$ - инерционное сопротивление отбрасываемого пласта;

G - приведенная масса плуга;

a и b - соответственно глубина обработки и ширина захвата.

Академик А.Н. Зеленин [4] выявил на кое-какие ограничения данной формулы. По его мнению, усилие резания не прямо пропорционально площади сечения обрабатываемого пласта («срезасмой стружки»). Также А.Н. Зеленин отметил, что рост скорости обработки приводит к росту сопротивления. При этом не только повышается сила отброс пласта, но и возрастает сопротивление резанию почвы. С его мнением согласен и А.Д. Далин. Им было написано: «чтобы сжать (как вариант сдвинуть, переместить, оторвать - прим.автора) известный объем грунта за более короткий промежуток времени, нужно приложить большее усилие» [4,7].

Таким образом, можно сделать вывод, что коэффициент «К» в формуле

В.П. Горячкина, не может являться постоянной величиной и зависит от множества факторов.

Рядом ученых выполнены аналитические расчеты по определению нагрузок, действующие на почвообрабатывающие орудия. В этих работах достаточно прозрачно объяснили, что нагрузка на рабочие органы меняется в зависимости от таких параметров, как глубина обработки, ширина обрабатываемого пласта, угла крошения (резания) и др. [2-10].

Одним из важнейших установочных параметров рабочих органов почвообрабатывающих машин, от которой изменяется нагрузка, является угол крошения почвы. Почти во всех видах почвообрабатывающих машин, при его увеличении, повышется нагрузка на рабочий орган, за исключением сферических дисковых рабочих органов [2,3,8].

При обработке почвы, важной характеристикой так же является задний угол резания (угол зазора). При снижении этого угла $3-5^\circ$ пропорционально увеличивается сопротивление резанию почвенного пласта, а когда этот угол достигает отрицательного значения, образовывается «затылочная фаска». А.Д. Далин отметил, что задний угол резания нельзя делать меньше $3 - 4^\circ$ у самых острых ножей. А если иметь в виду быстрое затупление, то этот угол должен быть не менее $8-10^\circ$ [2,5,6,9].

Увы, при разработке рабочих органов почвообрабатывающих машин, не всегда возможно при снижении угла резания «β» и оставить таким же значение заднего угла резания (угла зазора). Потому что они связаны между собой выражением [6]:

$$\epsilon = \beta - i, \quad (1.2)$$

где i — угол заострения лезвия.

При увеличении глубины обработки, пропорционально увеличиваются все силы на рабочий орган. Когда увеличивается глубина обработки почвы на 1 см, сопротивление примерно увеличивается на 5-12% [6,8,16,19-21,24].

Увеличение угла заострения лезвия и толщины лезвия в процессе эксплуатации (особенно при отрицательном угле зазора и соответствующем

возникновении «затылочной фаски»), нагрузка на почвообрабатывающий орган растёт. С повышением толщины лезвия увеличивает нагрузку на рабочий орган на 30..80% [2,9,32]. Бывают даже такие случаи, что нагрузка повышается до 160% [23]. Нужно ещё отметить, что затупление рабочих органов приводит к увеличению неравномерности хода по глубине до 70% и увеличивается расход ГСМ до 125%.

Бывает, что затупления лезвия не увеличивает нагрузку на рабочие органы, но при этом происходит процесс выглубления. А это приводит к ухудшению агротехнических показателей обработки почвы. Сравнение нагрузок по их удельным значениям (по отношению к глубине обработки) не является корректным, так как твердость почвы и его глубина между собой не пропорциональны [2].

1.2 Изнашивающая способность почв различных составов

Почва состоит из трехфазной дисперсной среды (рисунок 1.1): твердой, жидкой и газообразной, которые раздроблены и перемешаны между собой [18,23].

Фрикционные свойства (трение) проявляются при скольжении почвы относительно какого-либо тела, с ней соприкасающегося (внешнее трение), или при скольжении одних частиц одной и той же почвы относительно других (внутреннее трение). Таким образом, появляется сила трения, которая представляет собой силу сопротивления перемещению (скольжению).

Сила трения направлена в сторону, противоположную скорости относительного движения.

Максимальную силу трения при скольжении определяют по формуле [28]:

$$F_{\max} = fN = Ntg\varphi, \quad (1.3)$$

где f - коэффициент трения; N - нормальное давление, Н; φ - угол трения.

нюансы, касающиеся данного процесса остаются не раскрытыми.

Под абразивным изнашиванием понимают разрушение поверхности деталей в результате царапания абразивными частицами. Ф. Лоренц считает, что любое изнашивание есть абразивное, так как в продукты изнашивания являются твердыми частицами, которые способствуют изнашиванию [40]. М.М. Хрушев и М.А. Бабичев допускают, что термин "абразивное изнашивание", полностью не характеризует процессы, которые происходят при изнашивании, потому что кроме абразивных частиц на износ влияют также многие другие факторы [34,37].

Авторы по-разному толкуют процессы абразивного изнашивания. Наиболее распространено объяснение дается к представлению абразивного изнашивания, что это результат царапания металла абразивными частицами, которые вызывают царапание поверхности детали.

Подобной трактовки придерживается ряд известных исследователей. Так, В.Д. Кузнецов также указывает, что процесс абразивного изнашивания является предельно простым и легко объяснимым. Он сводится к сумме большого числа элементарных повторяющихся циклов царапания.

Вместе с изложенными точками зрения есть и другие гипотезы о механизме абразивного изнашивания. Например, И.В. Крагельский отметил, что внедрение абразивной частицы на достаточную глубину, может привести к микрорезанию материала [35].

Проверка этих положений на практике показала, что наиболее вероятным механизмом абразивного изнашивания при взаимодействии с частицами представляется многократное пластическое деформирование одних и тех же микрообъемов металла, в результате которого наблюдается усталостное разрушение поверхностного слоя металла.

Аналогичного мнения придерживается П.Н. Львов, но добавляет, что наряду с пластической деформацией металла при царапании абразивной частицы происходит отрыв хрупких структурных составляющих по мере изнашивания основы вокруг изолированного карбидного зерна. По мнению

П.Н. Львова, износостойкость металла определяется износостойкостью пластичной основы.

М.М. Хрущовым и М.А. Бабичевым установлен ряд важных закономерностей абразивного изнашивания при трении поверхности деталей о шлифовальное полотно и объяснен механизм этого явления. Абразивное изнашивание материалов при трении об абразивную поверхность исследователи представили, как царапание металла множественными твердыми частицами, которые оставляют пластически выдавленные следы, а относительно небольшая часть частиц с благоприятно расположенными гранями сдирает стружку [34].

При взаимодействии абразивных частиц с металлом на его поверхности развивается пластическая деформация, поэтому можно предположить, что износостойкость металла связана с его сопротивлением пластической деформации.

Многие исследователи пытались установить зависимость между износостойкостью и твердостью металла. Однако длительное время из-за несовершенства методик испытаний установить четкую зависимость между износостойкостью и твердостью не удавалось. Некоторые исследователи даже пришли к выводу, что подобная зависимость отсутствует. Так, В.Ф. Лоренц отмечал, что между износостойкостью металла лезвия и его твердостью по Роквеллу никакой закономерной связи не существует [42].

И.Ш. Белиничер, В.М. Гутерман, В.Г. Колесов, П.М. Серник, М.М. Кантор и другие ученые на основании экспериментов установили, что твердость как механическое свойство металла не достаточно надежный критерий, чтобы оценить износостойкость.

В работах зарубежных исследователей Спокерга, Розена, Веллингера, Уэтца и С.И. Розенберга также не было установлено четкой зависимости между твердостью и износостойкостью металла [42].

Немецкому ученому Тонну удалось установить гиперболическую связь между абразивным изнашиванием и твердостью чистых металлов. Тонн

получил более четкие результаты по изнашиванию образцов о шлифовальную шкурку.

М.М. Хруцов и М.А. Бабичев выявили прямо пропорциональную зависимость износостойкости деталей от твердости по Виккерсу при медленном истирании на корундовом полотне. Они выявили, что для термически обработанных деталей износостойкость с увеличением твердости также возрастает, но значительно менее интенсивно, чем для технически чистых металлов и отожженных сталей. Также отмечено, что при увеличении содержания легирующих карбидообразующих элементов в материале эффективность ее сопротивления абразивному изнашиванию повышается. Они исследовали также износостойкость деталей в зависимости от других механических свойств. Исходя из того, что при абразивном изнашивании основным процессом является микрорезание поверхности металла, они сопоставили сопротивление пластической деформации при небольших напряжениях с предельным сопротивлением при разрушении различных металлов и сплавов. В качестве критериев прочности приняли среднее напряжение в шейке при разрыве, являющееся предельной характеристикой прочности, временное сопротивление и пределы текучести, характеризующие сопротивление пластической деформации при сравнительно небольшой ее степени.

М.М. Тененбаум на основе анализа многочисленных работ сделал вывод, что изнашивание деталей абразивными частицами происходит путем среза, отрыва и усталостного разрушения при нарушении фрикционных контактов в упругой области и многократного деформирования, то есть образования тонкого хрупкого и непрочного слоя. При этом он также допускает химическое разупрочнение поверхности детали в результате его окисления [40].

Анализ существующих работ показывает, что для полного выяснения и раскрытия механизма абразивного изнашивания требуется провести дальнейшие теоретические и экспериментальные исследования.

1.4 Анализ существующих способов повышение ресурса рабочих органов почвообрабатывающих машин

Весомый вклад на процесс повышения долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин внесли такие ученые, как Селиванов А.И., Ульман И.Е., Львов П.Н., Бернштейн Д.Б., Рабинович А.Ш., Сидоров А.И., Сидоров С.А., Рылов О.И., Рыморов Е.В., Новиков В.С. и др. [26,27,30,52,53,60].

В мире имеется множество методов восстановления и упрочнения, но не все эти методы подходят для деталей, работающих в условиях динамических и статистических нагрузок, а так же в условиях тяжелых абразивных износов, из-за дороговизны и сложности использования материалов упрочнения и оборудования и т.д.

При производстве деталей на технику, производители используют наплавку плазмой, ТВЧ и электродуговым методом порошковыми проволоками и материалами высокой твердости содержащими карбид хрома, борид хрома, карбид бора и карбид вольфрама. Но нужно учесть тот факт, что при таких упрочняющих воздействиях разного рода материалами цены на рабочие органы возрастают примерно на 25-35% [38].

В зависимости условий применения и технологии реализации вышеизложенных методов, обеспечивает повышения износостойкости в среднем на 40-55%. Но для деталей машин, которые работают при условиях абразивного и коррозионного износа, увеличения работы до отказа в процентах не хватает, требуется увеличить срок службы в разы. Для этого, необходимо воспользоваться другими методами упрочнения.

На основании исследований ученых разных стран, получены материалы с уникальными свойствами, а также, разработаны весьма много методов нанесения этих материалов, что позволяет на высоком уровне решать, такие глобальные задачи, как создание деталей, которые будут изнашиваться очень медленно и самозатачиваться в процессе работы сельскохозяйственных машин.

поверхности [41].

Тугоплавкую порошковую присадку можно подавать в хвостовую часть сварочной ванны, для того чтобы образовать керамическое покрытие. Подача порошковой присадки в ванну жидкого металла может проводиться под действием собственного веса, с помощью различных подающих устройств, которые транспортируют струю газа [41].

Когда образуют композицию покрытия, нужно обратить внимание к порошковой присадке, температура должна превышать температуру жидкого металла в ванне. Нужно еще уделить внимание к подбору матричного сплава. Она должна быть прочной и при этом твердые частицы должны хорошо держаться в покрытии, а так же чрезмерное растворение присадки не допускается. При армированной наплавке коэффициенты расширения наполнителя и матрицы должны быть близки, для предотвращения возникновения напряжения на соединениях. В ином случае, в результате нагрева и охлаждения, может произойти растрескивание слоя [48-50]. Введением адгезионно-активных веществ, можно управлять прочностью. Связи частица-матрица.

Твердыми составляющими композиционных покрытий, можно использовать: карбиды, нитриды и бориды таких металлов, как вольфрам (W), титан (Ti), хром (Cr), ванадий (V). Нитриды и бориды являются твердыми, имеют высокую температуру плавления, но нитриды дефицитны, а бориды хрупкие и по прочности намного хуже карбидов. Именно поэтому когда создают композиционные износостойкие покрытия, часто применяют карбиды.

Индукционной наплавкой (рисунок 1.6) проводят армирование поверхностного слоя детали из порошкообразной шихты, которая состоит из связующего вещества (железный порошок) и тугоплавких частиц второй фазы, таких как карбид вольфрам, карбид бора и другие [39,61].

Контактная приварка дает большие возможности, чтобы получить керамические покрытия. Очень высокой износостойкостью обладают покрытия, которые образованы путем контактной наварки ленты, армированной

Разрабатываются также и другие перспективные технологии восстановления и упрочнения деталей контактной наваркой с использованием таких керамических материалов, как порошково-полимерные и спеченные ленты, сформированные заготовки и др.

Когда наносят покрытия на поверхность детали в режиме спекания, многие полезные свойства порошковых материалов сохраняются. Это важно, так как часто бывают случаи, когда доводят их до температуры плавления, полезные свойства теряются. Существует несколько способов припекания покрытий: шликерный, электроконтактный, магнитно-импульсный, вибрационный и другие [54,55,57].

Припекание широко используют чтобы восстановить и упрочнить детали сельскохозяйственной техники: посадочные места вал, диски сошников, шестерен гидронасосов и др. Процесс припекания открывает многие перспективные возможности, чтобы получить композиционные покрытия [47,49,54].

Для того чтобы процесс электроконтактного припекания протекал нормально, в шихте соотношение размеров частиц матрицы и наполнителя должно быть в пределах 0,25...0,5 [54].

Сложная установка сварочного оборудования и толщина наносимого твердого материала является главными недостатками данного метода.

1.5 Применение износостойких материалов для упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин

Износостойкое покрытие, является самым быстрым и дешевой путем создания машин нового поколения, которые более долговечны, энергосберегающие, экологически более чистые, а значит, более конкурентоспособные. Для повышения долговечности рабочих органов самым эффективным способом является наплавка режущей кромки износостойкими сплавами. Благодаря этому рабочие органы станут самозатачивающимися и

будут иметь более высокую износостойкость. К сожалению, у них высокая стоимость и это мешает распространению таких рабочих органов.

Большинство рабочих органов сельскохозяйственной техники, работают в условиях абразивного и коррозионного износа. В таких условиях эксплуатации, на первый план выходят керамические материалы, стойкие к абразивному изнашиванию и коррозии [59].

Металлокерамические сплавы, произвели переворот в металлообработке. Без этих материалов, невозможно представить не одно машиностроение. Многие ученые, изучая свойства керамических материалов, выявили, что они имеют колоссальную износостойкость, которая 100 раз выше, чем у некоторых сортов сталей.

В последнее время композиционные материалы используют в виде покрытий, чтобы восстановить и упрочнить рабочие органы почвообрабатывающей техники, которая является важным направлением для повышения ее ресурса.

Существует две перспективные пути у комбинированных материалов, которые усилены либо волокнами, либо диспергированными твердыми частицами. У первых в неорганическую металлическую или органическую полимерную матрицу введены тончайшие высокопрочные волокна из стекла, углерода, бора, бериллия, стали или нитевидные монокристаллы. В результате этого комбинирования максимальная прочность сочетается с высоким модулем упругости и небольшой плотностью. Именно такими материалами будущего являются композиционные материалы.

Практическое значение для упрочнения деталей почвообрабатывающей и другой техники имеют следующие многофазные и многофазные матричные высокодисперсные материалы: SiC, TiN, AlN, BN, SiN₄, TiC, Ti(C,N), TiB₂, WC, WB₄, Si₃N - SiC.

В таблице 1.4 приведены механические свойства некоторых высокодисперсных порошков [60].

Таблица 1.4 – Механические свойства высокодисперсных порошков

Состав	Относительная плотность	Размер зерна, нм	Твердость по Викктэсу, ГПа
TiN	0,98	30-50	29-31
TiN	0,98	-	34
Si ₃ N ₄	0,99	-	38
SiC	0,97	70	27
BN	0,96	25	43-80
TiB ₂	1,0	2-7	50-70
Ti(B,C,N)	1,0	1-5	60-70

Композиционные наплавочные сплавы (псевдосплавы) применяются с 30-х годов, чтобы упрочнить детали, которые подвергаются абразивному износу.

В ремонтном производстве применяют наплавочные металлокерамические электроды. Широкий ассортимент таких материалов выпускает фирма «Метко» (США). Наплавка металлокерамическими электродами рекомендуется для деталей, изготовленных из высоко - и среднелегированных сталей.

1.6 Выводы

На основании литературного обзора установлено, что:

1. У почвообрабатывающих и посевных машин, наиболее широко применяемыми рабочими органами являются стрельчатые лапы. В процессе обработки почвы, из-за взаимодействия режущих частей с различными свойствами почвы, их лезвия изнашиваются, а изношенные стрельчатые лапы, отрицательно влияют на качество обработки, приводит к расходу ГСМ и задержке сроков проведения посевных работ.

2. Повысить долговечность стрельчатых лап почвообрабатывающих машин можно за счет применения упрочняющих воздействий. На сегодняшний день, одним из перспективных материалов для упрочнения, являются металлокерамические материалы. Но процесс нанесения этих материалов имеет

низкую производительность, высокую трудоемкость и высокую себестоимость.

Целью настоящей работы является повышение износостойкости стрелчатых лап посевного комплекса Morris concept 2000 нанесением твердосплавных покрытий на режущих поверхностях рабочих органов.

Задачи исследования.

1. Установить аналитическую зависимость износостойкости наплавочных материалов от твердости.
2. Провести лабораторные исследования упрочненных рабочих органов для определения их твердости и износостойкости.
3. Провести сравнительные испытания неупрочненных серийных лап посевного комплекса Morris Concept 2000 и упрочненных твердосплавными наплавками.
4. Определить влияние давления абразива на машине трения 77МТ-1 на износостойкость наплавленных материалов.
5. Провести сравнительную оценку агротехнических показателей работы упрочненных и серийных рабочих органов посевного комплекса Morris concept 2000.
6. Провести экономическое обоснование наплавки износостойких материалов.

Для этого, требуется соблюдать соотношение [72]

$$HV_T / HV_0 = K_{HV} = (3...5), \quad (2.2)$$

где HV_T и HV_0 - твердость по Виккерсу соответственно у упрочненного материала и рабочего органа.

Для одних и тех же почв значения K_1 могут изменяться в широких пределах за счет изменения влажности, плотности и т.п., что нарушает нормальное течение процесса самозатачивания [72].

2.3 Определение рационального способа восстановления рабочих органов почвообрабатывающих машин

Существуют технические критерии оценивающие каждый способ восстановления, выбранный по технологическому критерию с точки зрения обеспечения качества поверхностей восстановленной детали.

Комплексную качественную оценку дают по значению коэффициента долговечности (K_d), которые определяют по формуле[50]:

$$K_d = K_i \cdot K_v \cdot K_c \cdot K_{\text{ш}}, \quad (2.3)$$

где K_i – коэффициент износостойкости,

K_v – коэффициент выносливости,

K_c – коэффициент сцепляемости,

$K_{\text{ш}}$ – поправочный коэффициент, учитывающий фактическую работоспособность восстановлений деталей в условиях эксплуатации ($K_d = 0,8...0,9$).

Рациональным по техническому критерию будут способы, у которых:

$$K_d = \max.$$

Технико-экономический критерий связывающий себестоимость восстановления детали с её долговечностью:

$$K_t = C_p / K, \quad (2.4)$$

где K_t – коэффициент технико-экономической эффективности;

рабочих органов сельскохозяйственных машин.

Изнашивание, происходящее в результате воздействия жидкости и газа, при взаимодействии с абразивными частицами, называется эрозионным изнашиванием.

Износ, возникающий под влиянием повторных нагрузок (знакопеременных), называется усталостным изнашиванием. При усталостном разрушении, на деталях образуются микротрещины, происходит выкрашивания металла.

Изнашивание при заедании и схватывании, в котором происходит молекулярное взаимодействие, называется молекулярным изнашиванием.

Механическое изнашивание с усиленной коррозией, называется коррозионно-механическим изнашиванием. Этот вид износа, подразделяется на окислительное, изнашиванием в результате воздействие агрессивных внешних сред и фреттинг коррозия.

Фреттинг коррозия является более сложным видом износа, этот вид характерен для деталей, находящихся под постоянной нагрузкой и для деталей подверженных вибрации.

Этот вид коррозии, чаще всего встречается на заклепочных и резьбовых соединениях, посадочных местах подшипников.

Изнашивание, обусловленное поглощением водорода на поверхность трения детали, называется водородным изнашиванием.

После рассмотрения всех видов износа, можно сказать, что причиной нарушения работоспособности лезвийной части стрелчатых лап посевных машин, является: физический износ, остаточные деформации и коррозия, в результате которых в процессе эксплуатации они имеют следующие дефекты: изменение размеров рабочих поверхностей, их массы и объема; изменения пространственной геометрии детали из-за изгиба, скрученности, коробления; нарушение конструктивной целостности из-за обломов, трещин. Для восстановления и повышения работоспособности они могут подвергаться некоторым ремонтным воздействиям: заточке; правке; наплавке и другим

технологическим операциям.

Процесс истирание слоя (изнашивания) характеризуется скоростью или интенсивностью изнашивания.

Скорость изнашивания - это отношение значения износа к интервалу времени, в течении которого он возник и определяется по формуле [76]:

$$V_{\text{изн}} = I/\tau, \quad (2.6)$$

где V - интенсивность изнашивания, [мм/ч], [г/ч]; I - износ, [мм], [г]; τ - время изнашивания, [ч].

Износостойкость-это величина, обратная скорости изнашивания.

Износостойкость свойство материала оказывать сопротивление изнашиванию в определенных условиях трения.

$$W = \frac{1}{\tau} \quad (2.7)$$

Для сравнения материалов по их сопротивлению изнашиванию пользуются показателем относительной износостойкости. Она определяется из выражения:

$$\varepsilon = \frac{W}{W_{\text{эт}}} \quad (2.8)$$

где W - износостойкость исследуемого материала; $W_{\text{эт}}$ -износостойкость эталонного материала.

2.5 Закономерности абразивного изнашивания материалов о почву

Изнашивание деталей и рабочих органов почвой - это процесс, связанное с разрушением поверхностных слоев деталей незакрепленными минеральными зёрнами.

В создание теории абразивного изнашивания в СССР большой вклад внес М.М. Хрушев. [76] Его работу продолжили такие учёные, как И.В. Крагельский[77], Б.И. Костецкий [36], М.М. Тененбаума [14,40] и другие.

Имеются 2 основные направления, когда речь идёт о природе

абразивного изнашивания в почве.

М.М. Хрущев предложил такие фундаментальные закономерности абразивного изнашивания [76]:

1. Величина износа при постоянных условиях прямо пропорциональна пути трения;

2. Скорость изнашивания при прочих постоянных условиях прямо пропорциональна скорости трения:

$$\frac{dh}{dt} = C_p v, \quad (2.9)$$

где h - величина износа;

t - время;

C - коэффициент пропорциональности;

p - нагрузка;

v - скорость трения;

3. Величина износа при прочих постоянных условиях прямопропорциональна величине нормальной нагрузки:

$$\frac{dh}{dS} = C_p, \quad (2.10)$$

где S - длина пути трения;

4. Износостойкость технически чистых металлов в ненаклепанном состоянии прямо пропорциональна их твердости H , определенной до испытания:

$$W = bH, \quad (2.11)$$

где b - коэффициент пропорциональности;

H -твердость.

5. Для конструкционных и некоторых инструментальных углеродистых и легированных сталей, которые испытаны в состоянии после закалки и отпуска, относительная износостойкость возрастает линейно с

увеличением твердости и выражается соотношением:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + b(H - H_0), \quad (2.12)$$

где ε - износостойкость закаленной стали при твердости H ;

ε_0 - износостойкость стали в отожженном состоянии;

b - коэффициент пропорциональности для сталей разного химического состава;

H - твердость стали в закаленном состоянии;

H_0 - твердость стали в отожженном состоянии;

6. Износостойкость механически наклепанных металлов и сталей не зависит от твердости, определенной после наклепа (но до испытания на изнашивание) или немного снижается с ее повышением.

Умение внедряться абразивных частиц в поверхностный слой и разрушать его при движении приближенно оценивают по соотношению значений микротвердости испытуемого материала H_M и абразива H_A .

$$K_T = \frac{H_M}{H_A}, \quad (2.13)$$

Установлено, что критическое значение коэффициента $K_T = 0,5-0,7$. Прямое разрушение (то есть микрорезание) поверхностного слоя материала под действием абразивных частиц возможно при $K_T < 0,5$ (при соответствующей форме частиц и достаточной нагрузке P). При таких условиях абразивная частица показывает себя достаточно прочной, когда нужно довести материал до разрушения, при этом сохраняя её целостность.

Соединение частиц почвы в сравнительно не прочную массу является одной из особенностей изнашивания металлов в почве [79]. Отличительной чертой процесса трения металла о массу слабо связанных абразивных зерен почвы является то, что зерна сложно двигаются и могут скользить по поверхности, вращаться или перекатываться, пока не найдут устойчивое положение по сравнению с фиксированными частицами, которые занимают постоянные положения. В следствии, здесь меньшую вероятность имеет

случай снятия стружки по сравнению со случаем фиксации абразивных частиц. Поэтому при изнашивании в массе нефиксированных абразивных частиц микрорезание проходит медленнее, чем при трении о фиксированные частицы. Здесь также можно наблюдать более сильное проявление закономерностей, которые связаны с передеформированием и усталостным разрушением. Нужно иметь в виду, что фактором микрорезания пренебрегать нельзя, особенно когда твердости изнашиваемого материала низкая.

На интенсивность износа различных поверхностей рабочих органов плуга влияют режимы изнашивания, изнашивающие способности почвы, свойства изнашиваемой поверхности и многие другие факторы.

К ухудшению функционирования рабочих органов приводит обычно изменение размеров и форм рабочих поверхностей при изнашивании. В результате снижается их работоспособность. Предельный уровень работоспособности деталей и рабочих инструментов можно определить прочностью, агротехническими или технико-экономическими показателями. С их использованием можно устанавливать предельно допустимые значения износа.

2.6 Определение динамики изнашивания и долговечности

Для определения динамики изнашивания и долговечности стрелчатых лап посевных машин, введем понятие эталонного изнашивания образца материала эталонным абразивом в эталонных условиях [2].

Эталонным абразивным материалом примем кварц с относительной влажностью 1%, относительной изнашивающей способностью $m_{\text{эт}}=1$. В качестве эталонного материала, подвергающийся износным воздействиям примем Сталь 65Г, с твердостью HRC 55, с относительной износостойкостью $\varepsilon_{\text{эт}}=1$. Эталонными условиями изнашивания, примем следующие данные: давления кварца на поверхность $p_{\text{эт}}=1\text{Мпа}$; скорость части относительно

изнашиваемых образцов $v_{\text{отн.эт}}=1$ км/ч; площадь трения образца $S_{\text{эт}}=1\text{см}^2$; время продолжительности эксперимента $t_{\text{эт}}=1$ ч.

Зная что износ, пропорционален изнашивающей способности абразива, пути трения, давлению, площади трения, но обратно пропорциональна относительной износостойкости, износ в весовом измерении будет составлять:

$$w_{\text{эт}} = K \cdot \frac{m_{\text{эт}}}{\varepsilon_{\text{эт}}} \cdot p_{\text{эт}} \cdot v_{\text{отн.эт}} \cdot S_{\text{эт}} \cdot t_{\text{эт}} \quad (2.14)$$

где K-коэффициент пропорциональности.

Для определения коэффициента пропорциональности, требуется вычислить отношение износа, полученного при эталонных условиях, к эталонным параметрам и она представляет собой интенсивность изнашивания образца в эталонных условиях:

$$K = \frac{w_{\text{эт}} \cdot \varepsilon_{\text{эт}}}{m_{\text{эт}} \cdot p_{\text{эт}} \cdot v_{\text{эт}} \cdot S_{\text{эт}} \cdot t_{\text{эт}}} \quad (2.15)$$

При проведении испытаний эталонного образца из стали 65Г на стенде 77МТ-1, при эталонных условиях, износ образца составил $w_{\text{эт}}=124$ г. Подставив формулу, определим коэффициент пропорциональности.

При весовом измерении износа образца, $K_v=27,5 \frac{\text{г}}{\text{МПа} \cdot \text{км} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{ч}}$. Учитывая что плотность стали $\gamma_{\text{ст}}=7,8$ г/см³, коэффициент пропорциональности в линейном выражении будет составлять, $K_n=3,5 \frac{\text{см}}{\text{МПа} \cdot \text{км} \cdot \text{ч}}$.

Далее будем рассматривать расчет только линейного износа.

Закономерность изменения изнашивающей способности почвы и износостойкость материала зависит от давления абразива, введем поправочные коэффициенты η_1 и η_2 . Тогда линейный износ будет равен:

$$h = K_n \cdot \frac{m_{\text{эт}} \cdot \eta_1 \cdot p \cdot v_{\text{отн}} \cdot t}{\varepsilon_{\text{эт}} \cdot \eta_2} \quad (2.16)$$

где h -линейный износ, см;

η_1 -коэффициент учитывающий изменение изнашивающей способности почвы в зависимости от давления абразива;

η_2 -коэффициент, учитывающий изменение износостойкости материала в зависимости от давления абразива.

Зная состояние предельного износа, можно определить срок службы рабочих органов сельскохозяйственных машин по формуле:

$$T = \frac{\Delta h_{np} \cdot \varepsilon_{sm} \cdot \eta_2 \cdot \chi \cdot A}{K_{\lambda} \cdot m_{sm} \cdot \eta_1 \cdot p \cdot v_n} \quad (2.17)$$

где h_{np} -предельный износ рабочего органа, на наиболее изнашиваемом месте, см;

p -давления почвы, на наиболее изнашиваемый участок рабочего органа, Мпа;

K_{λ} -скорость движения рабочего органа, км/ч;

χ -отношения скорости движение рабочего органа к скорости перемещение почвы по рабочему органу;

A -производительность лапы культиватора, га/ч.

Так же важным коэффициентом влияющим на износ рабочих органов почвообрабатывающих машин, является влажность почвы, тогда формула примет следующий вид:

$$T = \frac{\Delta h_o \cdot \varepsilon_{sm} \cdot \eta_2}{K_{\lambda} \cdot m_{sm} \cdot \eta_1 \cdot p \cdot v_{smi} \cdot \eta_3} \quad (2.18)$$

Относительная скорость перемещения части для рабочих органов с трехгранным клином, определяется по формуле:

$$v_{smi} = v_n / \cos \gamma \cdot \cos \alpha \quad (2.19)$$

где v_n - скорость движения стрелчатой лапы;

γ -угол установки рабочей поверхности рабочего органа по направлению движения;

α -угол наклона рабочей поверхности клина к горизонту в плоскости, перпендикулярной режущей кромке.

2.7 Повышение эффективности использования материала рабочих органов за счет обеспечения их равностойкости

В качестве характеристики равностойкости стрелчатых лап посевных машин введем понятие «коэффициент равностойкости» K_p , определяющийся соотношением [80]:

$$K_p = T_{pi} / T_{pk} \quad (2.20)$$

где T_{pi} , T_{pk} – конструкционная долговечность i -го наиболее изнашиваемого и k -го наименее изнашиваемого участка рабочего органа.

Конструкционная долговечность отдельного участка рабочего органа вычисляется по формуле:

$$T_{pi} = H_{Hi} - H_{Ki} / I_i \quad (2.21)$$

где T_{pi} – конструктивная долговечность участка, га;

H_{Hi} , H_{Ki} – начальный и предельный размер участка;

I_i – скорость изнашивания участка, мм/ч, га.

При разработке технологии упрочнения и восстановления, необходимо обеспечить коэффициент равностойкости, близко единице. Для достижения данной цели, нужно иметь представления о характере изнашивания отдельных участков рабочего органа. В процессе анализа характеристик и коэффициента равностойкости, позволит подобрать износостойкие материалы, для упрочнения наиболее нагруженных участков рабочих органов почвообрабатывающих машин.

Самым важным параметром стрелчатых лап посевных машин, является

толщина лезвия, длина носка, ширина крыла.

Стандартными параметрами новой лапы посевного комплекса «Моррис» следующие: расстояние от места перегиба до конца носка $L_n=180$ мм; толщина лезвийной части $a=1,0$ мм; ширина крыла $H=270$ мм.

Предельная длина носка $L_{11}=130$ мм; предельная ширина крыла $h=230$ мм;

Исходя с экспериментальных исследований, рассчитаем среднюю интенсивность изнашивания носовой части и крыльев серийного рабочего органа.

Средняя интенсивность изнашивания носовой части стрелчатой лапы $I_1=1,25$ мм/га и средняя интенсивность изнашивания крыла $I_2=0,6$ мм/га.

Далее, определим конструкционную долговечность носовой части:

$$T_n = (180-130)/1,25=40 \text{ га.}$$

Конструкционная долговечность крыльев:

$$T_k = (270-230)/0,6=66,7 \text{ га.}$$

Коэффициент равностойкости стрелчатой лапы посевного комплекса Morris concept 2000:

$$K_p = 40/66,7=0,6$$

По расчетам можно увидеть, что конструкционные параметры серийных стрелчатых лап, не обеспечивает его равностойкость.

Так как при износе носка стрелчатой лапы, она не может обеспечить нужную глубину обработки почвы и таким образом, на лапу действует выталкивающая сила. В связи с этим, лапа выбраковывается при 120 га обработанной площади, при этом, долговечность крыльев составляет еще 26,7 га.

Для достижения равностойкости и увеличения ресурса рабочего органа, требуется повысить износостойкость носовой части, путем наплавки износостойких материалов.

Необходимую относительную износостойкость носка рабочего органа, можно получить из соотношения долговечности носовой части и крыла.

$$\frac{L_H \varepsilon_1 \eta_2}{\eta_1 P_1} = \frac{h \varepsilon_2 \eta_2}{\eta_1 P_2} \quad (2.22)$$

где L_H, h -предельный износ носовой части и крыла лапы, мм;

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$ -относительная износостойкость;

η_1, η_2 -поправочный коэффициент изменения относительной износостойкости в зависимости от давления;

P_1, P_2 -давления почвы.

Для определения требуемой износостойкости носовой части для обеспечения равностойкости стрелчатой лапы, выведем формулу:

$$\varepsilon_1 = \frac{h \varepsilon_2 \eta_2 \eta_1 P_1}{L_H \eta_2 \eta_1 P_2} \quad (2.23)$$

Приняв параметрами для суглинистой почвы:

-влажность 14...18%;

- $P_1=0,4$ Мпа, $P_2=0,2$ Мпа;

- $\eta_1=8,62, \eta_2=3,56, \eta_3=1,92, \eta_4=1,57$

η_1, η_2 -поправочный коэффициент изменения относительной износостойкости в зависимости от давления определяется по формуле:

$$\eta_1 = 9,6p + 0,04 \quad (2.24)$$

$$\eta_2 = 1,75p + 0,825 \quad (2.25)$$

- $\varepsilon_2=2,1$

$$\varepsilon_1 = \frac{40 \cdot 2,1 \cdot 1,57 \cdot 8,62 \cdot 0,4}{50 \cdot 1,92 \cdot 3,56 \cdot 0,2} = 6,6$$

Таким образом, для того, чтобы обеспечить равностойкость рабочего органа, требуется упрочнить носовую часть стрелчатой лапы наплавкой твердосплавных материалов и довести суммарную износостойкость до 6,6.

2.8 Выводы

При наплавке рабочих органов с тыльной стороны, будет наблюдаться эффект самозатачивания, в результате которого, лезвийная часть, будет оставаться острым, до наступления предельного износа носка по длине.

1. Для достижения абразивной износостойкости стрелчатых лап почвообрабатывающих машин, необходимо знать состав почвы, так как в почве могут содержаться минералы, намного тверже, чем материал рабочего органа. В ином случае, наплавленный материал будет изнашиваться и тем самым, эффекта самозатачивания не будет.

2. Перед наплавкой рабочих органов твердосплавными материалами, можно рассчитать его срок службы аналитическим методом, таким расчетом, можно определить долговечность наплавленного материала.

3. Важнейшим критерием долговечности стрелчатых лап почвообрабатывающих машин, является коэффициент ровностойкости, так как все лапы, выбраковываются из-за предельного износа носовой части, при этом боковые крылья, имеют еще половину ресурса.

3 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Расходные материалы для упрочнения

В соответствии с изложенным выше материалом, наша задача подобрать материалы, устойчивые к абразивному износу, для этого были подобраны электроды для электродуговой наплавки с высокими показателями износостойкости применяющиеся в разных отраслях производства[81-83,86]:

- ОК 83.65-это электрод, предназначенный для упрочняющей наплавки поверхностей, работающих в среде интенсивного абразивного износа. Наплавленный слой относительно хорошо противостоит образованию окалины при повышенных температурах. Применяются для наплавки деталей машин подверженных износу при добыче камня, угля, выемки грунта, песка и щебня. Обычно применяются для упрочняющей наплавки ковшей драг, подающих шнеков, дробилок и лезвий скребков трейдеров и экскаваторов, поверхностей деталей сельскохозяйственных агрегатов.

- ОК 84.80-это электрод с высочайшей стойкостью к износу благодаря большому количеству карбидов хром. Их область применения-лопаты вытяжных вентиляторов, очистители золы, конвейерные шнеки и рабочие органы сельскохозяйственных машин.

- ОК 84.84-это электроды дающие наплавленному слою мартенситную структуру металла, насыщенную большим количеством карбидов. Предназначены для наплавки защитного слоя на поверхности, подверженные интенсивному износу абразивному износу в комбинации со сдвигающими нагрузками, возникающими при контакте со щебнем, песком, цементом и почвой. Основной область применения: буровые инструменты, молоты, лезвия скребков, конвейерные шнеки, кромки землечерпильных ковшей и рабочие органы почвообрабатывающих машин.

- ОК 84.58-это электроды, обеспечивающие наплавку мартенситного слоя с высокими показателями твердости и относительно хорошей

коррозионной стойкостью. Они предназначены для наплавки поверхностей, подверженных интенсивному абразивному и умеренному ударному износу, например сельскохозяйственных инструментов, работающих в условиях умеренной влажности, деревообрабатывающий инструмент, погрузочные машины и миксеры.

- ОК 84.78-это электроды, обеспечивающий наплавку твердого слоя упрочненного крупными карбидами хрома. Они предназначены для наплавки рабочих поверхностей землечерпальных машин, сельскохозяйственного инструмента, работающего в условиях умеренной влажности, насосов для перекачки песка и т.д. Наплавленная поверхность обладает высокой стойкостью при контакте с агрессивной средой и высокой температурой.

3.1 Методика определения абразивной износостойкости в лабораторных условиях

Методика определения абразивной износостойкости наплавочных материалов состоит из нескольких последовательных этапов [84].

1. Изучение принципа действия и устройства машины трения 77 МТ-1 (рисунок 3.1). Техническая характеристика представлена в таблице 3.1

Установка (рисунок 3.2) имеет следующее устройство. Станина установлена на основании 1. На станине расположен электропривод, состоящий из двигателя постоянного тока 3 и редуктора 4.

Образцы приводятся в относительное возвратно-поступательное движение, скорость которого регулируется изменением частоты вращения электродвигателя посредством ручки регулятора 13.

1. Подготовка наплавленных материалов к испытанию.

2. Замера наплавленных образцов с точностью до 0,01 мм (рисунок-3.3). Размер «а» измеряем в сечения (I - I, II - II, III - III) и вычисляем среднее значение. Аналогичным образом определяем размеры «в» и «с».

3. Взвешиваем образцы с точностью до 0,01 г.

6. После окончания эксперимента и снятия образцов, определяем интенсивность линейного изнашивания

$$j_l = \frac{h_l}{S} = \frac{1000 \cdot (a - a_t)}{4 \cdot r \cdot n} \quad (3.1)$$

где h_l – величина линейного износа (толщина изношенного слоя), мм;

r – радиус эксцентрика (кривошипа), м;

a, a_t – высота образца до и после испытания, мм;

n – число двойных ходов ползуна за время испытания.

7. Определяем интенсивность изнашивания по массе

$$j_m = \frac{h_m}{S} = \frac{m - m_t}{S} \quad (3.2)$$

где h_m – величина износа по массе, мг;

m – масса образца до испытания, мг;

m_t – масса образца после испытания, мг.

8. Определяем скорость линейного изнашивания и скорость изнашивания по массе:

$$i_l = \frac{h_l}{t} = \frac{1000 \cdot (a - a_t)}{t} \quad (3.3)$$

$$i_m = \frac{h_m}{t} = \frac{m - m_t}{t} \quad (3.4)$$

где t – время испытания, ч.

3.2 Методика определения абразивной износостойкости в полевых условиях

При проведении эксплуатационных и ресурсных испытаний, количество серийных и упрочненных стрельчатых лап посевного комплекса «Моррис», должна обеспечить точность проведенных испытаний. Требуемое количество лап для испытания можно определить из выражения:

$$\frac{\gamma_L}{\nu} = \frac{t_{\alpha L}}{\sqrt{N}}, \quad (3.6)$$

где γ_L - относительная ошибка ($-0,10 \dots 0,20$);

ν - коэффициент вариации (при проведения испытаний на изнашивания он составляет $0,3$);

$t_{\alpha L}$ - коэффициент Стьюдента.

Подставляя в формулу 3.6 $\gamma_L=0,20$ и $\nu=0,30$ находим, что $\frac{t_{\alpha L}}{\sqrt{N}}=0,667$.

Тогда по таблице коэффициентов Стьюдента находим, что $N=5$.

Таким образом, установка пяти упрочненных лап и пяти серийных лап, обеспечить необходимую достоверность полученных результатов.

3.6 Определение ошибки экспериментов и их повторности опытов

Абсолютная погрешность отдельных измерений определяется по формуле [90]:

$$\Delta y_i = \bar{y} - y_i, \quad (3.7)$$

где $\bar{y}$ - среднее значение, определяемая по формуле [90]:

$$\bar{y} = \sum_{i=1}^n y_i / n, \quad (3.8)$$

Ошибка выборочной средней определяется по формуле [90]:

$$s_{\bar{y}} = \frac{s}{\sqrt{n}}, \quad (3.9)$$

где n – число опытов;

s – стандартное отклонение, определяемое по формуле:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}} \quad (3.10)$$

Относительная ошибка средней выборочной [90]:

$$s_{\bar{y}} \% = \frac{s_{\bar{y}}}{\bar{y}} \cdot 100 \quad (3.11)$$

Доверительный интервал для среднего значения определяли по формуле [90]:

$$\Delta y_i = \pm t_{\alpha} s_{\bar{y}} + \delta \quad (3.12)$$

где t_{α} – коэффициент Стьюдента для 95% уровня значимости и $n-1$ степени свободы;

δ – принимаемая погрешность прибора.

Повторность опытов рассчитывается по соотношению [90]:

$$\frac{\gamma_{\alpha}}{\nu} = \frac{t_{\alpha}(n)}{\sqrt{q}} \quad (3.13)$$

После ее преобразования получаем:

$$q = \left(\frac{t_{\alpha}(n) \nu}{\gamma_{\alpha}} \right)^2 \quad (3.14)$$

где γ_{α} – относительная ошибка;

ν – коэффициент вариации;

$t_{\alpha}(n)$ – коэффициент Стьюдента;

q - повторность опытов.

Принимая значения относительной ошибки и доверительной вероятности 85%, требуемое количество повторности опытов 5.

3.7 ВЫВОД

По описанным методикам, будут проводиться лабораторные и полевые испытания наплавленных материалов для выявления их износостойкости.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Результаты исследования твердости наплавленных слоев и определения износостойкости

Все электроды наплавляются на пластины и подвергаются проверке на твердость. Для этого, мы воспользуемся портативным ультразвуковым твердомером ТКМ-459. Перед проверкой, наплавленный слой подвергается шлифовке. Результате проверки на таблице 4.1.

Таблица 4.1-Твердость наплавленных образцов.

№	Название	Твердость после наплавки по Роквеллу (среднее значение)
1	ОК 83.65	62 HRC
2	ОК 84.80	59 HRC
3	ОК 84.84	61 HRC
4	ОК 84.58	57 HRC
5	ОК 84.78	61 HRC
6	Сталь 65Г	55 HRC

За последние годы, проведено многочисленное количество исследований, которые направлены на повышение износостойкости и ресурса рабочих органов почвообрабатывающих машин, методом поверхностного упрочнения наплавкой, подверженных к износу частей.

Важным параметром наплавочного материала, от которого зависит твердость и износостойкость наплавленного слоя на лезвие, является его химический состав [91].

Всем известно, что не все наплавочные материалы с высокими показателями твердости, обладают высокими показателями износостойкости, но при этом могут с успехом применяться в условиях абразивного износа. Высоких показателей твердости и износостойкости, можно достичь, когда в сплав вводится несколько легирующих элементов, которые разносторонне влияют на свойства сплава.

При добавлении в сплав различных химических элементов, степень упрочнения зависит от кристаллической структуры твердого раствора, от степени дисперсионности и температуры его плавления, от природы

образующихся фаз, а также от структурных факторов. Упрочняющие свойства сплава повысятся в том случае, если в него добавляются такие элементы, которые способствуют образованию мелкодисперсных фаз и препятствуют разупрочнению твердого раствора.

Для достижения этой цели и получения сплавов с показателями высокой износостойкости необходимо, чтобы соотношение количества легирующих элементов и углерода, обеспечивало получение карбидов высокой твердости. Если легирующий элемент связывает весь углерод в наиболее твердый карбид этого элемента, то дальнейшее его увеличение не способствует заметному росту износостойкости. При наличии нескольких карбидообразующих элементов в шихте сплавов, в первую очередь образуются карбиды элементов, обладающих наибольшим сродством к углероду. В связи с этим содержание легирующих компонентов в сплаве должно находиться в строгом соответствии с количеством углерода и регулироваться типом и количеством требуемых карбидов, способных обеспечить высокую износостойкость сплавов.

Важнейшими легирующими элементами сплавов, являются: кремний, хром, марганец, а также никель. Остальные легирующие элементы, вводятся совместно с основными, для улучшения некоторых свойств наплавочного материала (молибден, вольфрам, ванадий и т.д.) [92].

Для определения влияния элементов вводимых в состав наплавочного материала и выявления их влияния на износостойкость при абразивном изнашивании, были исследованы сплавы, состав которых приведен в таблице 4.2.

Увеличение соотношения кремния и углерода $Si/C > 0,5$ не повышают износостойкость, а даже несколько снижают ее. Кремний помогает повысить упругость стали, но в то же время склонна к обезуглероживанию. В связи с этим затрудняется применение сталей, которые содержат кремний. Это особенно касается деталей с тонкой режущей кромкой [93]. Содержание в стали марганца повышает прокаливаемость, прочность, текучесть, но несколько снижает износостойкость. Если марганец с углеродом находятся в соотношении 1:1, они благоприятно влияют на износостойкость.

изнашиванию, которое есть не что иное, как механическое изнашивание материала, происходящее в результате режущего и царапающего действия на него твердых частиц, находящихся в свободном и закреплённом состоянии.

Наплавленные твердосплавными электродами пластины устанавливаем в машину трения 77МТ-1 и снимаем все показания, далее данные вводятся в таблицу 4.3. Сила прижима абразива к наплавленной пластине 0,1 МПа.

Для определения интенсивности линейного изнашивания наплавленных материалов, воспользуемся формулой с 3 главы.

$$J_{L1}=1000 \times 0,78/4 \times 0,026/2700=2,77 \text{ мкм/м};$$

$$J_{L2}=4,05 \text{ мкм/м};$$

$$J_{L3}=2,88 \text{ мкм/м};$$

$$J_{L4}=5,34 \text{ мкм/м};$$

$$J_{L5}=2,95 \text{ мкм/м};$$

$$J_{L6}=6,41 \text{ мкм/м}.$$

Следующим этапом, определим интенсивность изнашивания по массе по формуле:

$$J_{m1}=0,54 \times 10^5/280,8=0,00192 \times 10^4 \text{ мг/м};$$

$$J_{m2}=0,00277 \times 10^4 \text{ мг/м};$$

$$J_{m3}=0,0021 \times 10^4 \text{ мг/м};$$

$$J_{m4}=0,00341 \times 10^4 \text{ мг/м};$$

$$J_{m5}=0,00217 \times 10^4 \text{ мг/м};$$

$$J_{m6}=0,00441 \times 10^4 \text{ мг/м}.$$

Скорость линейного изнашивания:

$$I_{L1}=780 \text{ мкм/ч};$$

$$I_{L2}=1140 \text{ мкм/ч};$$

$$I_{L3}=810 \text{ мкм/ч};$$

$$I_{L4}=1500 \text{ мкм/ч};$$

$$I_{L5}=830 \text{ мкм/ч};$$

$$I_{L6}=1800 \text{ мкм/ч}.$$

Таблица 4.8 - Лапы упрочненные электродом ОК 84.58

№ опыта	Наработка, га.	Износ крыльев, мм.		Износ носка, мм.
		X ₁	X ₂	
1	30	1,6	1,8	8,3
2	60	3,55	3,7	9,8
3	90	7,28	7,39	16,2
4	120	14,9	15,4	38,3
5	150	21	23,3	70

Таблица 4.9 - Лапы упрочненные электродом ОК 84.78.

№ опыта	Наработка, га.	Износ крыльев, мм.		Износ носка, мм.
		X ₁	X ₂	
1	30	1,6	1,82	7,94
2	60	3,32	3,5	9,7
3	90	7	7,2	15,9
4	120	14,5	15	37,9
5	150	19,8	22,67	65,4

Таблица 4.10 - Лапы без упрочняющих воздействий

№ опыта	Наработка, га.	Износ крыльев, мм.		Износ носка, мм.
		X ₁	X ₂	
1	30	2	2,2	10,3
2	60	4,2	4,3	16,1
3	90	8,8	9	22,5
4	120	16,3	16,3	50,1
5	150	32	32,1	86

По графику видно, что при наработке 150 га, носовая часть и крылья рабочего органа не достигли своих предельных размеров, вероятный срок службы до 200 га. В процессе эксплуатации, лезвие рабочего органа самозатачивалась. Аварийных поломок стрелчатой лапы обнаружено не было.

За время проведения испытаний, аварийных поломок рабочего органа не обнаружилось, при наработке 150 га, износ составил всего 30 мм.

При наработке рабочего органа 150 га, износ составил 36 мм, что значительно близко предельному износу носовой части 50 мм, дальнейшая эксплуатация этой лапы допустима.

При упрочнении рабочего органа таким видом наплавки, ресурс до

что намного ниже, чем на лапах упрочненных наплавочными материалами описанными выше.

4.5 Результаты сравнительных эксплуатационных испытаний рабочих органов

Проведенные эксплуатационные испытания позволили установить, что зависимость износа носовой части и крыльев лап посевного комплекса «Моррис» от наработки при работе на суглинистых почвах носит практически линейный характер. Причем данная зависимость имеет место для всех испытуемых лап. Полученные результаты хорошо согласуются с исследованиями многих ученых, изучающих изнашивание упрочненных стрельчатых лап почвообрабатывающих орудий в эксплуатации [8, 11, 63, 72, 76, 81, 88, 89, 91].

Результаты проведенных эксплуатационных испытаний стрельчатых лап посевного комплекса «Моррис» показали, что серийные неупрочненные лапы достигают своего предельного состояния (износ носка 50 мм) и должны быть заменены при наработке 120 га. В то же время стрельчатые лапы, упрочненные наплавкой с тыльной стороны, при такой же наработке имеют износ носка 14 мм, 17 мм, 22.1 мм, 38.3 мм, 20.7 мм соответственно (рисунок 4.11), что в 1,3 и 3 раза ниже, чем у серийной неупрочненной лапы.

4.6 Результаты агротехнической оценки

Агротехническая оценка стрельчатых лап посевного комплекса «Моррис», упрочненных твердосплавными материалами, заключалась в оценке их приспособленности: к подрезанию сорных растений и равномерности рыхления поверхностного слоя почвы на заданную глубину.

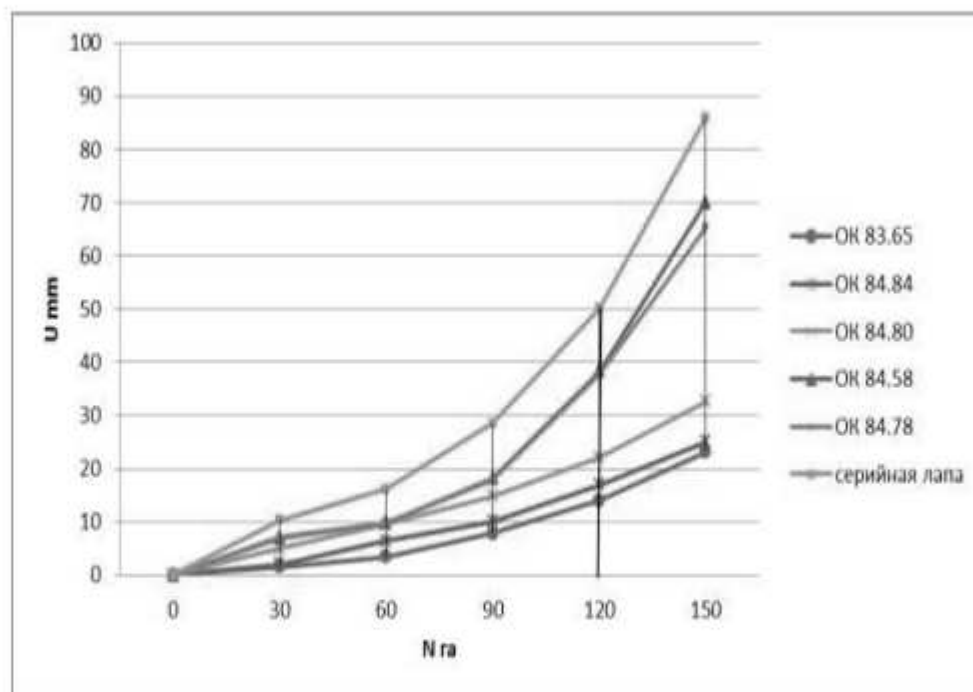


Рисунок 4.11- Износ носовой части стрелчатый лап в зависимости от наработки.

Проведенные исследования показали, что при обработке до 120 га, на поверхности поля не было сорняков, не потерявших связь с почвой. После наработки более 120 га, на некоторых местах замечались зарытые под землю сорные растения, которые остались не подрезанными. Во время осмотра экспериментальных рабочих органов, было обнаружено, что лезвийная часть серийного рабочего органа затуплена и в результате чего, качество подрезания значительно снизилось. На остальных стрелчатых лапах, лезвия были острыми, из-за эффекта самозатачивания. Аналогичная картина была на всех участках поля, обработанных экспериментальными и серийными лапами. Глубину корневой системы, превышающую или равную глубину обработки, имели не более 10...12 % сорной растительности (в основном это пырей ползучий, осот, полевой вьюнок).

При обработке почвы, соблюдались: равномерности обработки почвы и качество ее крошения.

Полученные результаты позволяют заключить, что степень подрезания сорных растений стрельчатыми лапами упрочненными марки ОК, удовлетворяет агротехническим требованиям обработки почвы.

4.7 Экономическая эффективность внедрения упрочнения стрельчатых лап почвообрабатывающих орудий

Экономическую эффективность упрочнение можно рассмотреть на примере упрочнения стрельчатых лап посевного комплекса Morris Concept 2000 с использованием упрочняющих наплавленных материалов. Когда определяем экономическую эффективность от внедрения упрочнения, применяем методики, которые содержатся в работах [86,87,88].

Экономическую эффективность от применения упрочнения лап можно найти по следующей формуле:

$$\mathcal{E}_y = \left(\frac{C_{\text{н}}}{P_{\text{н}}} - \frac{C_{\text{н}}' - C_{\text{ост}}'}{P_y} \right) P_y \cdot N, \quad (4.2)$$

где, $\mathcal{E}_y$ - экономическая эффективность от упрочнения лап, в руб.

$C_{\text{н}}$ C_y – цена на новые и упрочненные лапы, в руб.

$P_{\text{н}}$ P_y – наработка новой и упрочненной лапы, га.

$C_{\text{ост}}''$, $C_{\text{ост}}'$ - остаточная стоимость после эксплуатации новых и упрочненных лап, в руб.

N_R - годовой объем упрочняемых лап.

Цена реализации упрочненной с использованием разработанной технологии стрельчатой лапы обычно должна быть на 30% выше, чем себестоимость её упрочнения. Если посмотреть по формуле, выглядит так:

$$C_y = 0,3 \cdot C_y + C_y, \text{ руб.} \quad (4.3)$$

где C_y – себестоимость упрочнения лапы культиватора, руб.

C_y находят по следующей формуле:

$$C_y = 311 + C_{\text{м}} + C_{\text{из}} + \text{ОНУ}, \text{ руб.,} \quad (4.4)$$

где ЗП – основная и дополнительная заработная плата производственных рабочих с начислениями, руб.

C_M – стоимость ремонтных материалов, в руб.

$C_{из}$ – стоимость изношенных деталей (ремонтный фонд), в руб.

ОПУ – расходы, которые направлены создание производства и управление, в руб.

Заработная плата производственных рабочих определяется по формуле:

$$ЗП = \left(\frac{T_{н1} \cdot C_{р1}}{60} + \frac{T_{н2} \cdot C_{р2}}{60} + \dots + \frac{T_{ни} \cdot C_{рi}}{60} \right) \cdot K_p \cdot K_d \cdot K_c, \quad (4.5)$$

где $T_{н1}, T_{н2} \dots T_{ни}$ – нормы времени на проведение операции наплавки в расчёте на 1 лапу культиватора, мин.

$C_{р1}, C_{р2} \dots C_{рi}$ – часовые тарифные ставки необходимых разрядов работ на выполнение наплавки, руб.

K_n – коэффициент, который учитывает доплату по премиям ($K_n = 1,1-1,4$);

K_d – коэффициент, который учитывает заработную плату (дополнительную) ($K_d = 1,1-1,5$);

K_c – коэффициент, который учитывает отчисления на социальное страхование ($K_c = 1,301$).

Сводные данные представлены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Заработная плата производственных рабочих при упрочнении лапы культиватора

Ном ер операции	Наименован ие операции	Норма времени на выполнение, мин	Часовая тарифная ставка, руб.	Заработная плата на операцию, руб.
05	Слесарная	4,6	49	4,0
10	Подготовительная	13	54	11,0
15	Нанесение пасты	2,5	52	2,4
20	Сушильная	9,1	51	7,4
25	Упрочнение	14	63	15,5
30	Контрольная	1,3	58	1,4
Итого:				41,7

Итак, заработная плата производственных рабочих:

$$ЗП = 41,7 \cdot 1,3 \cdot 1,3 \cdot 1,302 = 91,8 \text{ руб.}$$

Стоимость ремонтных материалов можно найти по формуле:

$$\sum_m = \sum_{i=1}^{\lambda} g_i \cdot \Pi_i, \text{ в руб.} \quad (4.6)$$

где G_i - норма расхода i -го материала на одну лапу при упрочнении;

λ - количество материалов, которые применяются при упрочнении, шт.

Π_i - цена 1 кг i -го материала, руб

Облегченный вид данных для расчетов представлен в таблице 4.12.

Таблица 4.12 – Стоимость ремонтных материалов.

Наименование материала	Норма расхода, кг (шт.)	Цена 1 кг (шт.) материала, руб.	Затраты на материалы, руб.
1. ОК 83.65	0,68	160	108,8
2. ОК 84.80	0,72	165	118,8
3. ОК 84.84	0,63	143	90,09
4. ОК 84.58	0,67	170	113,9
5. ОК 84.78	0,67	168	112,6

Стоимость изношенной стрелчатой лапы (ремонтного фонда) определяют по цене металлолома:

$$C_{из} = \Pi_{л} \cdot M, \text{ в руб.} \quad (4.7)$$

где $\Pi_{л}$ - цена 1 кг металлолома, руб $\Pi_{л} = 13$

M - масса изношенной детали, кг $M=0,9$

$$C_{из} = 13 \cdot 0,9 = 11,7 \text{ руб}$$

Расходы, направленные на создание производства и его управление, находят из соотношения

$$\text{ОПУ} = (2..3) \cdot 3П, \text{ руб.} \quad (4.8)$$

$$\text{ОПУ} = 2 \cdot 91,8 = 183,6 \text{ руб.}$$

Возвращаясь к формуле (4.4), будем иметь:

$$C_y = 91,8 + 108,8 + 11,7 + 183,6 = 395,9 \text{ руб.}$$

Возвращаясь к формуле (4.3), получим:

$$\Pi_y = 0,3 \cdot 395,9 + 395,9 = 514,67 \text{ руб.}$$

Таким образом, эффективность внедрения наплавки стрелчатых лап в расчете на одну лапу составит:

$$\mathcal{E}_y = \left(\frac{1240 - 11,7}{40} - \frac{1339,3 - 11,7}{90} \right) \cdot 90 = 1431 \text{ руб}$$

По данным Министерства сельского хозяйства на территории Заволжья находится не менее 6 посевных комплексов Mottis. Таким образом, годовая программа упрочнения стрелчатых лап твердосплавным электродом ОК 83.65, составит более 644 шт.

Таким образом, внедрения упрочнения твердосплавным электродом ОК 83.65, в расчете на данное количество упрочняемых лап, составит:

$$C_y = 1431 \cdot 644 = 921564 \text{ руб}$$

Срок окупаемости капитальных вложений можно определить по формуле:

$$T_{ок} = \frac{K}{\mathcal{E}_y}, \quad (4.9)$$

где K-капитальные вложения на оборудование, включая: наладку, монтаж и доставку, руб.

$$T_{ок} = 310500 / 921564 = 0,3 \text{ года.}$$

4.8 Вывод

1. Представленная технология упрочнения отличается возможностью упрочнения стрелчатых лап большой номенклатуры практически без ограничения по их конфигурации и массе и может быть реализована как на специализированных сервисных предприятиях, так и в небольших мастерских фермерских хозяйств.

2. Износ рабочих органов прямо пропорционален изнашивающей способности почвы и давлению почвы на рабочий орган. Если почва переуплотнена, повышется нагрузка на рабочий орган, и тем самым, увеличивается его изнашивающая способность.

3. Стрельчатые лапы посевного комплекса Morris Concept 2000, имеют очень низкий ресурс, в наших экспериментах, наработка до предельного состояния составила 120 га, в то время как, рабочий орган, упрочненный твердосплавным материалом ОК 83.65, при той же наработке, износ носка составлял всего лишь 14 мм.

4. При наработке 120 га, качество подрезания сорных растений у оригинальных стрельчатых лап снизилось, в то время при обработке почвы с использованием упрочненных рабочих органов, при наработке 120, агротехнические требования соблюдались.

5. Ожидаемый расчетный годовой экономический эффект от внедрения разработанной технологии в масштабах Заволжья составит 921564 рублей при упрочнении 644 лап посевных комплексов Моррис, что подтверждает целесообразность ее внедрения в производство. Срок окупаемости капитальных вложений – 0,3 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В научно-квалификационной работе, представлено решение актуальной научно-практической задачи, повышение износостойкости стрельчатых лап посевного комплекса Morris Concept 2000, наплавкой износостойких покрытий.

Проведенные экспериментальные и теоретические исследования позволили сделать следующие выводы:

1. Упрочнение рабочих органов почвообрабатывающих и посевных машин электродуговой наплавкой, является самым доступным методом упрочнения для сельскохозяйственных предприятий, этим методом можно упрочнить рабочие органы любой формы и конфигурации, не требуется специализированное оборудование.

2. За счет правильного подбора наплавочного материала для лезвийной части рабочего органа, стрельчатые лапы самозатачивались за весь срок эксплуатации (до 150 га), это было достигнуто за счет разности твердости упрочняющей наплавки и твердости материала изготовленной лапы.

3. Важным параметром при подборе упрочняющих материалов, является критерий твердости K_T , так как, если твердость абразивных частиц почвы превышает твердости наплавочного материала, будет происходить процесс разрушения слоя металла и тем самым, произойдет преждевременный выход из строя стрельчатой лапы, что и произошло с серийной лапой без упрочняющих воздействий. В процессе эксплуатации, происходит преждевременный износ носовой части и затупление лезвия.

4. Проведя сравнительные лабораторные испытания на машине трения наплавленных пластин, была выявлена износостойкость этих материалов, наибольшей износостойкостью обладает наплавленный электрод ОК 83.65, в то же время как, износ за 60 мин стали 65Г, при тех же условиях был больше в 2 раза.

5. При проведении испытаний на машине трения, была выявлена

зависимость интенсивности изнашивания образцов от давления абразива, с увеличением давления абразива, износ увеличивался по линейной зависимости.

6. Эксплуатационные испытания, проведенные на полях ВЗП «Заволжье», показали, что серийные неупрочнённые стрельчатые лапы посевного комплекса Morris Concept 2000, достигли своего предельного состояния (износа носовой части 50 мм) при наработке 120 га, а стрельчатые лапы упрочненные наплавочным электродом ОК 83.65, при такой же наработке, имели износ носовой части всего 14 мм. Таким образом, материал ОК 83.65, хорошо зарекомендовал себя, для упрочнения стрельчатых лап посевного комплекса «Моррис».

7. Упрочнение стрельчатых лап посевных машин электродами ОК 83.65 внедрена ВЗП «Заволжье» в Зеленодольском районе Республики Татарстан. Годовой экономический эффект от внедрения составит 921564 руб и срок окупаемости составит 0,3 года.