

На правах рукописи

ЗАЙЦЕВ СЕРГЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ  
ЛАП КУЛЬТИВАТОРА ГАЗОПЛАМЕННЫМ НАПЫЛЕНИЕМ С  
ПОСЛЕДУЮЩИМ ОПЛАВЛЕНИЕМ**

Специальность 05.20.03 – Технологии и средства технического  
обслуживания в сельском хозяйстве

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва, 2013

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Орловский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВПО ОрелГАУ)

- Научный руководитель: **Коломейченко Александр Викторович**  
доктор технических наук, доцент
- Официальные оппоненты: **Михальченков Александр Михайлович**  
доктор технических наук, профессор кафедры «Строительная механика, машины и оборудование» ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет сообщения» (МИИТ)
- Гладков Владимир Юрьевич**  
кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры «Эксплуатация и ремонт дорожно-строительной техники» Федерального государственного бюджетного высшего профессионального образования «Военно-технический университет» (ФГБОУ ВПО «Военно-технический университет»)
- Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина» Министерства сельского хозяйства Российской Федерации (ФГБОУ ВПО МГАУ имени В.П. Горячкина)

Защита состоится «19» декабря 2013 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 006.034.01 при ГОСНИТИ по адресу: 109428, г. Москва, 1-й Институтский пр., д.1, ГНУ ГОСНИТИ Россельхозакадемии.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГНУ ГОСНИТИ Россельхозакадемии.

Автореферат разослан «15» ноября 2013 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат технических наук, доцент



Соловьев Р.Ю.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Государственная программа развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013-2020 годы (утверждена постановлением Правительства Российской Федерации от 14 июля 2012 г. № 717) предусматривает инновационное развитие отрасли, ускоренный переход к использованию новых высокопроизводительных и ресурсосберегающих технологий. На современном этапе развития науки и техники для создания различных конструкций сельскохозяйственных машин, а также их ремонта требуется применять материалы, обладающие высокими физико-механическими свойствами, которые способны противостоять различным видам изнашивания. Однако известно, что при эксплуатации 85...90% сельскохозяйственных машин теряют работоспособное состояние вследствие изнашивания их рабочих поверхностей. В связи с выше изложенным для повышения их износостойкости необходимо на изнашивающихся поверхностях создавать упрочненные слои с высокими физико-механическими свойствами. Значительный вклад в разработку способов повышающих износостойкость рабочих поверхностей почвообрабатывающих машин внесли: В.Н. Винокуров, Д.Б. Бернштейн, В.П. Лялякин, П.Н. Львов, А.М. Михальченко, В.С. Новиков, Е.А. Пучин, А.Ш. Рабинович, О.И. Рылов, А.И. Сидоров, С.А. Сидоров, А.И. Селиванов, И.Е. Ульман, М.М. Хрущов, В.И. Черноиванов и др.

Одним из путей повышения ресурса сельскохозяйственных машин и снижения расходов сельхозтоваропроизводителей на запасные части является внедрение в производство технологий упрочнения рабочих органов с использованием газопламенного напыления порошковых материалов. Однако высокая стоимость порошков, недостаточная износостойкость или низкая прочность сцепления с металлической основой сдерживает широкое применение газопламенного напыления в производстве при упрочнении рабочих поверхностей лап культиваторов. В связи с этим разработка и внедрение технологии их упрочнения газопламенным напылением порошкового материала является актуальной задачей на решение которой направлена данная работа.

**Цель работы.** Повышение износостойкости рабочих поверхностей лап культиватора газопламенным напылением порошком экспериментального состава с последующим оплавлением покрытия.

### **Задачи исследований:**

1. Выполнить теоретические исследования по обоснованию повышения износостойкости лап культиватора упрочненных газопламенным напылением с последующим оплавлением.
2. Провести экспериментальные исследования по оценке физико-механических свойств покрытий полученных газопламенным напылением с последующим оплавлением.
3. Провести сравнительные эксплуатационные испытания новых и упрочненных лап культиватора.

4. Разработать технологический процесс упрочнения рабочих поверхностей лапы культиватора и определить экономическую эффективность от внедрения его в производство.

**Объект исследования.** Лапы культиваторов марки КППШ.

**Предмет исследования.** Числовые значения прочности сцепления, микротвердости и износостойкости покрытий, нанесенных газопламенным напылением с оплавлением экспериментальных порошков.

**Методы исследования.** Экспериментальные исследования проводили с использованием известных, отработанных методов и современных приборов и оборудования, математической статистики и теории вероятности.

**Научная новизна работы** заключается в:

- определении оптимального соотношения компонентов экспериментального порошка, состоящего из порошков ПР-Х4ГСР и ПР-НХ17, предназначенного для нанесения износостойких покрытий газопламенным напылением с последующим оплавлением;
- выявлении взаимосвязи между составом порошка, температурой его оплавления и микротвердостью покрытия;
- установлении рациональных режимов нанесения порошка экспериментального состава на рабочие поверхности лап культиватора, позволяющих повысить износостойкость упрочненных рабочих поверхностей деталей в 3,4 раза в сравнении с неупрочненными серийными изделиями, изготовленными из стали 65Г.

**Практическая ценность работы** заключается в том, что:

1. Разработан новый состав порошкообразного материала, для нанесения износостойких покрытий газопламенным напылением;
2. Предложен технологический процесс, позволяющий повысить износостойкость рабочих поверхностей лап культиватора при их упрочнении газопламенным напылением с последующим оплавлением.

**Апробация работы.** Основные результаты исследований докладывались на:

- международных научно-технических и научно-практических конференциях: Орел, ОрелГАУ, 2005, 2010, 2011, 2012, 2013; ГОСНИТИ, 2003, 2012; Гагры, 2004, 2005; Свалява 2004; С.-Петербург, С.-П.ГАУ, 2005; Брянск, БГСХА, 2005.
- Всероссийских научно-практических конференциях: Орел, ОрелГАУ 2012;
- заседаниях кафедры надежности и ремонта машин ФГБОУ ВПО ОрелГАУ 2002-2013.

**Реализация результатов работы.** Разработанная технология упрочнения лап культиватора КППШ-6 принята к внедрению на предприятии ООО «З-д им. Медведева-Машиностроение» г. Орел.

**Публикации.** По материалам работы автором опубликовано 18 работы, в том числе 8 статей в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, получен 1 патент на изобретение.

**Структура и объем работы.** Работа состоит из введения, 5 глав, общих выводов, списка литературы, приложений. Изложена на 139 страницах, содержит 41 рисунок, 13

таблиц, библиографию из 160 наименований, 18 приложений.

### **На защиту выносятся:**

1. Теоретическое обоснование износостойкости покрытия от компонентов экспериментального порошка, применяемого для газопламенного напыления, и оптимальной температуры его оплавления ацетиленокислородным пламенем.
2. Состав экспериментального порошка для нанесения износостойкого покрытия газопламенным напылением.
3. Результаты экспериментальных исследований влияния режимов газопламенного напыления с последующим оплавлением на прочность сцепления покрытия с металлической основой, микротвердость и износостойкость, а также эксплуатационных испытаний новых и упрочненных лап культиватора и их агротехническая оценка.
4. Разработанная технология упрочнения рабочих поверхностей лапы культиватора КППШ-6 газопламенным напылением порошком экспериментального состава с последующим оплавлением покрытия.

### **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**В первой главе** было проанализировано влияние технического состояния рабочих органов почвообрабатывающих машин на качество выполняемых работ, условия их работы и причины, приводящие к потере ими работоспособности, способы их упрочнения и восстановления. Проведен анализ порошковых материалов, которые используются при газопламенном напылении для нанесения упрочняющих покрытий.

Анализ износов рабочих поверхностей лап культиватора КППШ-6 показал, что после наработки ими 30 га на один рабочий орган их максимальный износ колеблется от 8,1 мм до 10,9 мм. 100% продефектованных рабочих поверхностей деталей требуют восстановления. Поэтому для увеличения износостойкости целесообразно их упрочнять.

Была сформулирована цель работы и определены задачи исследований.

**Во второй главе** приводятся теоретические исследования по обоснованию износостойкости покрытия от состава экспериментального порошка применяемого при газопламенном напылении и определению оптимальной температуры оплавления покрытия. Применительно к абразивному изнашиванию интенсивность изнашивания прямо пропорциональна давлению и обратно пропорциональна микротвердости:

$$J = k \frac{Q_a}{H\mu}, \quad (1)$$

где J - интенсивность изнашивания, кг/м;

k - коэффициент пропорциональности, учитывающий условия трения, кг/м;

$H_{\mu}$  – микротвердость покрытия, Па;

$q_a$  - давление, Па.

Износостойкость оценивается величиной обратной интенсивности изнашивания:

$$\varepsilon = \frac{1}{J} = \frac{1}{kq_a} H_{\mu} , \quad (2)$$

где  $\varepsilon$  - износостойкость, м/кг.

Микротвердость покрытия  $H_{\mu}$ , полученного из механической смеси порошка ПР-НХ17 и порошка ПР-Х4ГСР, можно представить в виде:

$$H_{\mu} = \int \left( \frac{K_1}{K_2} \right), \quad (3)$$

где  $K_1$  – процентное содержание порошка ПР-Х4ГСР в экспериментальном составе;

$K_2$  – процентное содержание порошка ПР-НХ17 в экспериментальном составе.

Анализ источников научно-технической информации и собственные предварительные исследования показали, что на микротвердость покрытия будет действовать также коэффициент хрупкости- $\gamma$ . Коэффициент хрупкости при  $K_1 < 0,4$  равен нулю, а при  $K_1 \geq 0,4$  равен  $f(K_1)$ . Учитывая, что  $K_1 + K_2 = 1$  или 100% механической смеси, уравнение (3) примет вид:

$$H_{\mu} = \int \left[ \left( \frac{K_1}{K_2} \right) - \gamma \right]. \quad (4)$$

Принимая соотношение  $\frac{1}{kq_a}$  за постоянную величину  $b$ , которая

зависит от условий эксплуатации и используя формулу 4, приведем уравнение 2 к следующему виду:

$$\varepsilon = bH_{\mu} = b \int \left[ \left( \frac{K_1}{K_2} \right) - \gamma \right]. \quad (5)$$

Наибольшая износостойкость покрытия нанесенного экспериментальным порошком, состоящим из механической смеси двух порошков, будет наблюдаться при их соотношении 40 % (ПР-Х4ГСР) на 60 % (ПР-НХ17). Использование предлагаемого состава порошка согласно теоретических расчетов, должно увеличить износостойкость покрытия в 3,2 раза.

Установлено, что при температуре оплавления меньше 1000 °С энергии Гиббса становится больше или равна нулю ( $\Delta G_{x.p} \geq 0$ ) и химическая реакция восстановления железа, содержащегося в порошке ПР-Х4ГСР, не будет протекать. Покрытие будет окисляться с образованием большого количества оксида железа (ржавчины). При температуре выше 1100°С пламя будет становиться окислительным, что будет также способствовать протеканию окис-

лительного процесса. Таким образом, при температуре оплавления 1000...1100°C (1273...1373 °K) величина свободной энергии Гиббса становится меньше нуля ( $\Delta G_{x.p} < 0$ ), то есть при взаимодействии металла основы, продуктов сгорания газовой смеси ацетиленокислородного пламени и порошка экспериментального состава происходит самопроизвольный процесс восстановления железа водородом, приводящий к повышению физико-механических свойств наносимого упрочняющего покрытия.

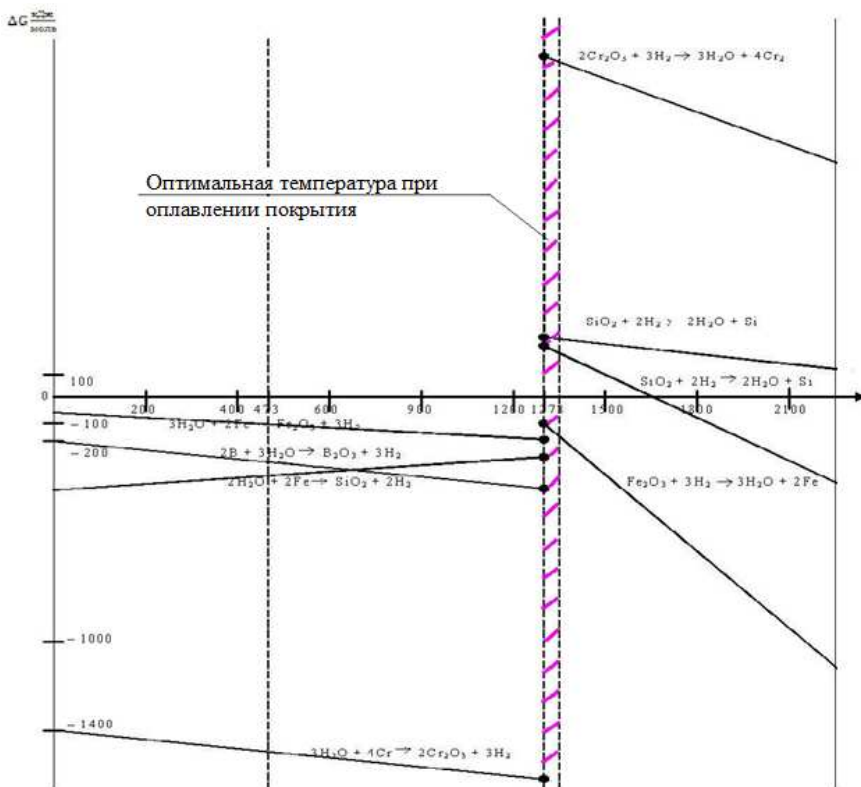


Рисунок 1 - График изменения энергии Гиббса  $\Delta G$  в зависимости от температуры оплавления покрытия

В третьей главе приведены программа и методики экспериментальных исследований.

Для проведения исследований использовали углеродистую качественную конструкционную сталь 65Г ГОСТ 1542. При выборе материала исходили из того, что указанная сталь применяется для изготовления лап культиваторов комбинированных КПШ-6. В качестве материала, напыляемого на сталь

65Г, использовали механическую смесь порошка ПР-НХ17 (55...65%) на основе никеля, и порошка ПР-Х4ГСР (35...45%) на основе железа. Выбор смешиваемых порошковых материалов для газопламенного напыления покрытий обусловлен необходимостью их последующего оплавления для обеспечения требуемой прочности сцепления с металлом основы и износостойкости, а также снижением себестоимости упрочнения.

Сушку порошка проводили в шкафу сушильном СНОЛ-3,5 при температуре  $t=120...150^{\circ}\text{C}$  в течение 1...1,5 часа, просев - на вибросите 028М.

Для нанесения покрытий использовали порошковую газопламенную горелку фирмы «ТЕРМІКА» марки «Искра-1» и следующие материалы: кислород баллонный по ГОСТ-5583, ацетилен баллонный по ГОСТ-5457. В качестве горючего газа использовался ацетилен, транспортирующего газа - кислород.

Наибольшая прочность сцепления порошкового материала с металлом основы достигается оплавлением покрытия после его нанесения на поверхность детали. Поэтому в наших исследованиях использовалось газопламенное напыление с последующим оплавлением.

Технология напыления: зажечь горелку и подвести ее к напыляемой поверхности, передвигая ее со скоростью 2...3 мм вдоль напыляемой поверхности. Режимы: давление кислорода 0,4...0,45 МПа, ацетилена 0,07...0,1 МПа, угол атаки  $90^{\circ}$ . Фракция порошка изменялась в интервале 20...100 мкм, дистанция напыления 100...300 мм.

После напыления порошка экспериментального состава покрытие оплавлялось той же горелкой с использованием ацетиленокислородного пламени, но без подачи порошка. Участок, напыленный порошком нагревали до полного расплавления всех зерен металла в покрытии. В результате получалась блестящая поверхность.

Измерения силы сдвига производили на универсальной разрывной машине ГМС-50 по ГОСТ 7855 путем продавливания образцов сквозь матрицу.

Микротвердость покрытия и металлической основы определили на компьютеризированном микротвердомере ПМТ-3М-01. Металлографические исследования микроструктуры металла основы и покрытия с фотографированием проводили на микроскопах МИМ-7, ММР-2, МЕТАМ ЛВ и сканирующем электронном микроскопе Hitachi ТМ-1000.

В качестве математической модели, описывающей зависимость микротвердости покрытия от влияющих факторов, выбрана статистическая регрессионная модель. Для получения адекватной модели был поставлен и проведен полный 2-уровневый 4-факторный эксперимент.

Износостойкость упрочненных и неупрочненных образцов в лабораторных условиях исследовали на машине ИМ-01 конструкции ВИСХОМА.

Для эксплуатационной проверки в реальных условиях были выбраны лапы культиваторов комбинированных КППШ-6. Перед испытаниями на них наносили газопламенным напылением с последующим оплавлением такие же



покрытия, что и при проведении испытаний на износостойкость на машине трения.

Определение ударной вязкости покрытия проводили по методу твердости, используемом в ГНУ ГОСНИТИ Россельхозакадемии.

Приспособленность лап культиваторов выполнять свои рыхлительные и полольные функции оценивали по ОСТ 70.4.2-80 «Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и орудия для поверхностной обработки почвы. Программа и методы испытаний».

**В четвертой главе** представлены результаты экспериментальных исследований и их анализ.

На основании проведённых исследований и анализа литературных данных в качестве основных факторов, влияющих на микротвердость покрытия, были выбраны следующие:  $X_1$  – содержание в механической смеси порошка на основе никеля ПР-НХ17 и порошка на основе железа ПР-Х4ГСР, %;  $X_2$  – температура оплавления  $t$ , °С;  $X_3$  – фракция порошка  $D$ , мкм;  $X_4$  – дистанция напыления  $L$ , мм. Для установления влияния выбранных факторов на микротвердость покрытия был проведен регрессионный анализ. Окончательно уравнение регрессии приняло следующий вид:

$$Y = 7674,79 + 87,87X_1 + 42,21X_4 - 29,46X_1X_4 - 31,04X_2X_3 - 23,67X_3X_4 - 23,33X_1X_2X_4 \quad (6)$$

Его анализ показал, что на изменение микротвердости покрытия доминирующее влияние оказывает процентное содержание в механической смеси двух порошков порошка ПР-НХ17 и дистанция напыления. Наряду с линейными эффектами, значимыми оказались эффекты взаимодействия  $X_1X_2$ ,  $X_2X_3$ ,  $X_3X_4$ ,  $X_1X_2X_4$ , подбор которых также обеспечивает достижение высокой микротвердости покрытия.

Результаты исследований по планированию эксперимента показали, что при выборе режимов нанесения газопламенных покрытий целесообразно использовать процентное содержание в механической смеси порошка ПР-НХ17 равное 60% и дистанцию напыления - 200 мм (рисунки 2, 3). Структура покрытия, полученного из порошка экспериментального состава, после оплавления представляет собой главным образом твердый раствор никеля с хромом, в котором образовались сложные эвтектические структуры. Происходит соединение бора и углерода с хромом, что приводит к образованию карбидов и боридов хрома. В структуре эти соединения рассеяны в виде кристаллов, что является основной причиной высокой микротвердости и износостойкости покрытия (рисунок 4,5).

Изучение упрочненных поверхностей и их отдельных фрагментов под микроскопом позволяет сделать заключение о хорошей прочности сцепления, как по всему периметру упрочненной зоны, так и его отдельных участков.

Ее наибольшее значение (218 МПа) достигается при газопламенном напылении, когда процентное содержание в механической смеси двух порошков порошка ПР-НХ17 составляет 60%, фракция порошка  $D = 40...60$

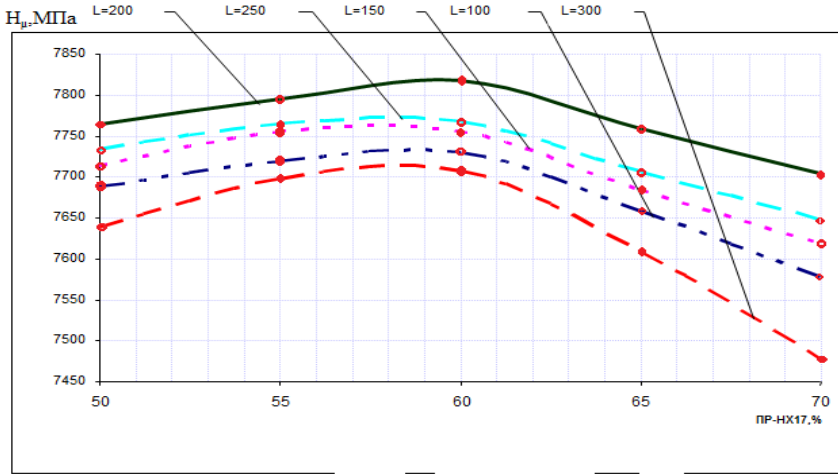


Рисунок 2 - Зависимость микротвердости покрытия при фракции порошка  $D = 40 \dots 60$  мкм и температуре оплавления  $t = 1000^{\circ}\text{C}$  от процентного содержания в экспериментальной смеси порошка ПР-НХ17 и дистанции напыления  $L$ , мм.

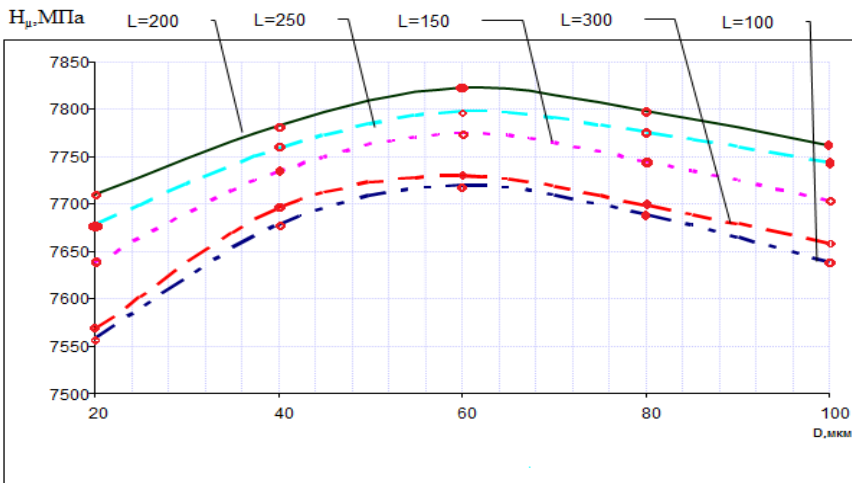


Рисунок 3 - Зависимость микротвердости покрытия при содержании в экспериментальной смеси порошка ПР-НХ17 = 60% и температуре оплавления  $t = 1000^{\circ}\text{C}$  от фракции порошка  $D$  и дистанции напыления  $L$ , мм.

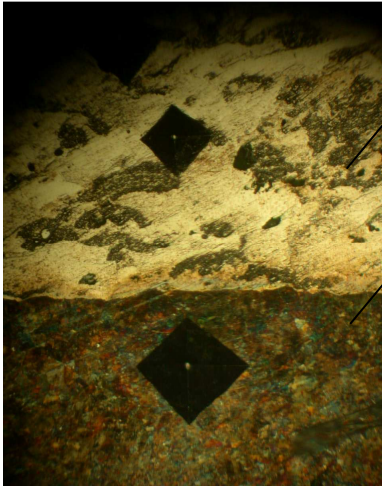


Рисунок 4 - Микротвёрдость покрытия и металлической основы x500: 1 – покрытие, механическая смесь двух порошков ПР-НХ17 и ПР-Х4ГСР; 2 - металлическая основа, сталь 65Г

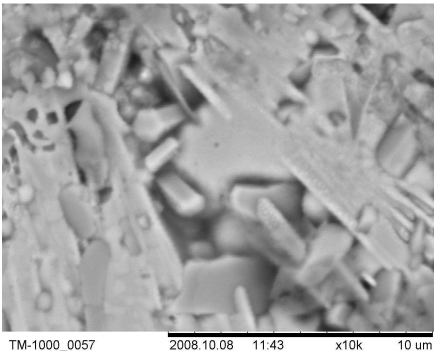


Рисунок 5 - Микроструктура напыленного и оплавленного покрытия

мкм, температура плавления  $t = 1000^{\circ}\text{C}$ , дистанции напыления  $L = 200$  мм.

Лабораторными испытаниями установлено, что покрытие, нанесенное газопламенным напылением порошка экспериментального состава с последующим оплавлением, обладает износостойкостью в 4 раза превышающей этот показатель у стали 65Г, из которой изготовлены серийные изделия (рисунок 6).

Эксплуатационные испытания подтвердили выдвинутые теоретические предположения и позволили сделать вывод об эффективности упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин. Экспериментальные детали упрочненные покрытиями порошком экспериментального состава показали износостойкость в 3,4 раза выше, чем серийно выпускаемые изделия из стали 65Г (рисунок 7).

Ударная вязкость экспериментального покрытия на 6% выше, чем у материала серийного изделия. Однако, при соударении упрочненного рабочего органа с твердым предметом, повреждение покрытия не происходит.

Результаты агротехнической оценки позволяют сделать вывод, что степень подрезания сорняков лапами культиваторов упрочненных порошком экспериментального состава, удовлетворяет агротехническим требованиям обработки почвы.

**В пятой главе** на основании теоретических и экспериментальных исследований разработан технологический процесс упрочнения лап культиваторов КППШ-6 газопламенным напылением порошка экспериментального состава,

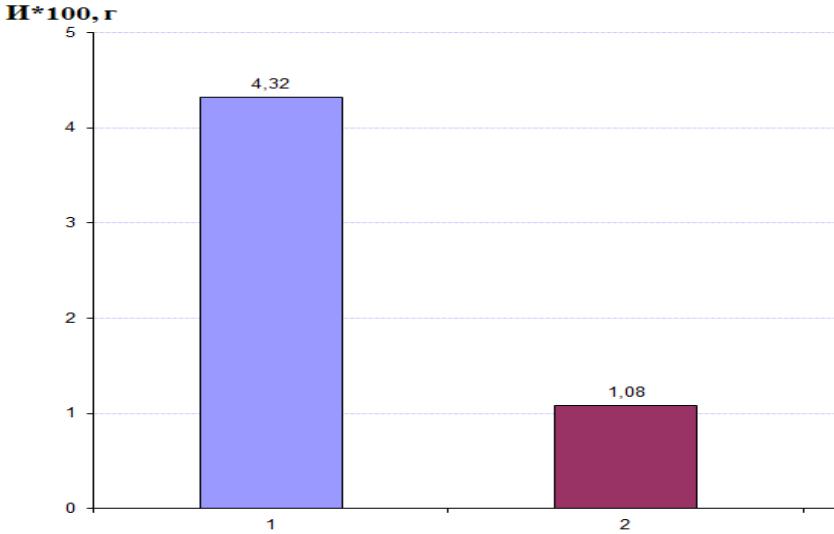


Рисунок 6 – Результаты лабораторных исследований на изнашивание: 1 - сталь 65Г; 2 – образец напыленный порошком экспериментального состава.

**Износостойкость, ε, м/кг**

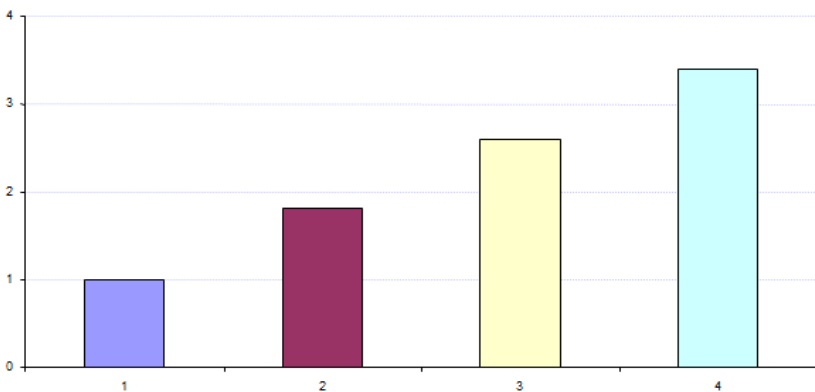


Рисунок 7 – Результаты эксплуатационных испытаний лап культиватора: 1 - серийная из стали 65Г; 2 – напыленная порошком ПР-НХ17; 3 – напыленная порошком ПР-Х4ГСР; 4 – напыленная порошком экспериментального состава ПР-НХ17(60%) и ПР-Х4ГСР(40%)

содержащего механическую смесь двух порошков ПР-НХ17=60% и ПР-Х4ГСП=40% с последующим оплавлением (рисунок 8). На состав порошка получен патент на изобретение РФ № 2337178 С23С 4/08 Бюл. №30 от 27.10.08 г.



Рисунок 8 – Упрочненная лапа культиватора КППШ-6

Технологический процесс включает следующие операции: очистка, подготовка поверхности под напыление, газопламенное напыление с последующим оплавлением, термическая обработка (закалка и отпуск), механическая обработка (заточка лезвия лапы культиватора), контроль.

Предложенная технология принята к внедрению на ООО «З-д им. Медведева-Машиностроение» г. Орла.

Ожидаемый расчетный годовой экономический эффект от внедрения предлагаемой технологии в масштабах Орловской области составит более 1500 тыс. рублей, при программе упрочнения 6000 шт. лап культиваторов КППШ-6, что подтверждает целесообразность ее внедрения в производство.

### ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Теоретически обосновано, что наибольшая износостойкость покрытия напыленного порошком экспериментального состава, состоящим из механической смеси двух порошков, будет обеспечиваться их соотношением 40 % ПР-Х4ГСП и 60 % ПР-НХ17 и температурой оплавления 1000°C

2. Прочность сцепления покрытия с металлом основы по всему периметру упрочненной зоны составляет 218 МПа. Она обеспечивается процентным содержанием в механической смеси порошка ПР-НХ17=60%, фракцией порошка 40...60 мкм, температурой оплавления 1000°C, дистанцией напыления 200 мм и шероховатостью металла основы  $Rz = 120...60$  мкм. Микротвердость покрытия 7,8 ГПа, что в 2 раза превышает этот показатель у стали 65Г, из которой изготовлены серийные изделия.

3. Лабораторными испытаниями на изнашивание установлено, что износостойкость покрытия, нанесенного газопламенным напылением с последующим оплавлением порошком экспериментального состава, в 4 раза превышает этот показатель у стали 65Г, из которой изготовлены серийные лапы культиватора.

4. Сравнительные эксплуатационные испытания показали, что упрочнение газопламенным напылением разработанным составом порошка

уменьшило износ лап культиватора на 8,2 мм. После наработки экспериментальными деталями 30 га на одну лапу износостойкость упрочненных лап культиватора в 3,4 раза превысила этот показатель у серийных изделий, изготовленных из стали 65Г. Расхождение теоретических и опытных данных составило 6%. Степень подрезания сорняков удовлетворяет агротехническим требованиям обработки почвы.

Ударная вязкость экспериментального покрытия на 6% выше, чем у материала серийного изделия. Однако, при соударении упрочненного рабочего органа с твердым предметом, повреждение покрытия не происходит.

5. Разработан и предложен производству технологический процесс упрочнения лапы культиватора КППШ-6 газопламенным напылением порошком экспериментального состава содержащим механическую смесь двух порошков ПР-НХ17=40% и ПР-Х4ГСР=60% с последующим оплавлением. Предложенная технология принята к внедрению на ООО «з-д им. Медведева-Машиностроение» г. Орел. Ожидаемый расчетный годовой экономический эффект от внедрения предлагаемой технологии в масштабах Орловской области составит более 1500 тыс. рублей, при программе упрочнения 6000 шт. лап культиватора КППШ-6, что подтверждает целесообразность ее внедрения в производство.

**Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:  
публикации в изданиях, включенных в перечень ВАК:**

1. **Зайцев С.А.** Влияние дистанции напыления на физико-механические свойства при упрочнении газопламенным напылением рабочих поверхностей лап культиваторов [Текст] / Коломейченко А.В., Зайцев С.А. // Ремонт, восстановление, модернизация -2013.-№5.- С. 32-34.
2. **Зайцев С.А.** Влияние фракции экспериментального порошка на физико-механические свойства покрытий при газопламенном напылении [Текст] / Коломейченко А.В., Зайцев С.А. // Техника и оборудование для села. -2013.-№3(189).
3. **Зайцев С.А.** Агротехническая оценка упрочненных газопламенным напылением лап культиваторов [Текст] / Коломейченко А.В., Зайцев С.А. // Труды ГОСНИТИ. Доклады молодых ученых на 1 Конференции молодых ученых и специалистов Отделения механизации, электрофикации и автоматизации РАСХН, прошедшей 6-7 июня 2012 года в ГНУ ГОСНИТИ г. Москва по тематике «Научное обеспечение инновационных процессов в агропромышленной сфере»– 2013. - Том 111. Часть 1. - С.99-103.
4. **Зайцев С.А.** Технология упрочнения лап культиватора газопламенным напылением [Текст] / Хромов В.Н., Зайцев С.А. // Известия ОрелГТУ. Серия Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. - 2009. - №4/276(575). - С. 37-42.
5. **Зайцев С.А.** Теоретическое обоснование повышения износостойкости покрытия упрочненных лап культиватора газопламенным напылением механической смесью порошков [Текст] / Зайцев С.А // Известия ОрелГТУ.

Серия Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2009. - №2/274(560). - С. 46-49

6. **Зайцев С.А.** Свойства газонапыленных покрытий укрепленных лап культиватора [Текст] / Хромов В.Н., Зайцев С.А. // Упрочняющие технологии и покрытия. -2008. - №4.-С. 16-19.

7. **Зайцев С.А.** Факторы, влияющие на сцепляемость покрытий при газопламенном напылении лап культиватора [Текст] / Хромов В.Н., Зайцев С.А., Храпоничев Д.Н., Коняев К.А. // Известия ОрелГТУ. Серия Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2007. - №2/266 (532).- С. 56-60.

8. **Зайцев С.А.** Физико-механические свойства газонапыленных покрытий укрепленных лап культиваторов [Текст] / Хромов В.Н., Зайцев С.А., Храпоничев Д.Н., Коняев К.А. // Известия ОрелГТУ. Серия Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2007. - №2/266 (532).- С. 45-49.

*публикации в сборниках научных трудов и материалах конференций:*

9. **Зайцев С.А.** Исследование микротвердости и прочности сцепления рабочих поверхностей лап культиватора упрочненных газопламенным напылением [Текст] / Зайцев С.А., Чугуев Л.И. // Особенности технического оснащения современного сельскохозяйственного производства. Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых 24-25 апреля 2012.- Орел: Изд-во Орел ГАУ.-2012 - С. 117-121.

10. **Зайцев С.А.** Применение плазменной наплавки для восстановления рабочих поверхностей в АПК [Текст] / Зайцев С.А., Измалков А.А. // Особенности технического оснащения современного сельскохозяйственного производства. Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых 24-25 апреля 2012.- Орел: Изд-во Орел ГАУ.-2012. - С. 109-117.

11. **Зайцев С.А.** Математическая модель изменения микротвердости рабочих поверхностей лап культиваторов, упрочненных газопламенным напылением [Текст] / Зайцев С.А. // Особенности технического оснащения современного сельскохозяйственного производства. Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых 24-25 апреля 2012.- Орел: Изд-во Орел ГАУ.- 2012. - С. 101-109.

12. **Зайцев С.А.** Зависимость износостойкости от микротвердости в газонапыленных покрытиях лап культиваторов [Текст] / Зайцев С.А. // Энергосберегающие технологии и техника в сфере АПК. Материалы к Межрегиональной выставке-конференции 17-19 ноября 2010 г.- Орел: Изд-во Орел ГАУ.- 2011. - С. 178-180.

13. **Зайцев С.А.** Экспериментальные исследования лап культиватора упрочненных технологией газопламенного напыления [Текст] / Зайцев С.А., Круц П.В. // Энергосберегающие технологии и техника в сфере АПК. Мате-

риалы к Межрегиональной выставке-конференции 17-19 ноября 2010 г.- Орел: Изд-во Орел ГАУ.-2011. - С. 174-178.

14. **Зайцев С.А.** Повышение долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин (на примере лапы культиватора) [Текст] / Зайцев С.А. // Сборник докладов молодых ученых факультета агротехники и энергообеспечения. – Орел: Изд-во ОрелГАУ - 2002. – С. 32-36.

15. **Зайцев С.А.** Упрочнение и восстановление лап культиваторов газопламенной наплавкой [Текст] / Зайцев С.А. // Ресурсосбережение-XXI век: Сборник материалов Международной научно-практической конференции. – Орел: Изд-во ОрелГАУ.- 2005. – С. 48-53.

16. **Зайцев С.А.** Газопламенное упрочнение и восстановление лап культиватора [Текст] / Зайцев С.А., Поляков П.А. // Надежность и ремонт машин: Сборник материалов 2-ой Международной научно-технической конференции. – Орел: Изд-во ОрелГАУ.- 2005. –С. 158-163.

17. **Зайцев С.А.** Упрочнение и восстановление лап культиваторов [Текст] / Зайцев С.А. // Сборник научных работ. – Брянск: Изд-во Брянской ГСХА.- 2005. – С. 267-269.

***патенты на изобретения:***

18. Пат. 2337178 Российская Федерация, МПК С23С 4/08. Порошкообразный материал для напыления износостойких покрытий / Хромов В.Н., Корнев В.Н., Зайцев С.А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Орл. гос. аграр. ун-т». - №2007101045/02 ; заявл.09.01.2007 ; опубл. 27.10.2008, Бюл. №30. – 4с.