

На правах рукописи



ЮНУСБАЕВ НАИЛЬ МУРТАЗОВИЧ

**ВОССТАНОВЛЕНИЕ АВТОТРАКТОРНЫХ ДЕТАЛЕЙ  
ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ПРИВАРКОЙ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ  
В МАГНИТНОМ ПОЛЕ**

Специальность 05.20.03 – технологии и средства технического обслуживания в сель-  
ском хозяйстве

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Уфа 2006

Работа выполнена на кафедре «Технология металлов и ремонт машин» Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Башкирский государственный аграрный университет»

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент  
Фархшатов Марс Нуруллович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Лезин Петр Петрович  
кандидат технических наук  
Кагарманов Мухарям Амирович

Ведущая организация: ФГОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет им. В. П. Горячкина»

Защита состоится 14 декабря 2006 года в 11 часов на заседании диссертационного совета К.220.003.01 при ФГОУ ВПО «Башкирский государственный аграрный университет» по адресу: 450001, г. Уфа, ул. 50 лет Октября, 34

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Башкирского государственного аграрного университета.

Автореферат разослан 13 ноября 2006 года

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат технических наук, доцент



Мударисов С. Г.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Основной причиной выхода из строя тракторов и автомобилей в большинстве случаев является неизбежный износ сопряженных деталей. При ремонте техники, как правило, изношенные детали часто выбраковывают или заменяют новыми, что приводит к увеличению себестоимости ремонта, особенно при значительной стоимости запасных частей.

Известно, что около 80 % деталей выбраковываются при износе, не превышающем 0,6 мм, тогда как значительную часть из них можно восстанавливать в условиях ремонтных предприятий. Более 60 % этих деталей составляют детали типа «вал».

В настоящее время одним из наиболее эффективных способов восстановления таких деталей является электроконтактная приварка (ЭКП) присадочных материалов. Данный способ по сравнению с другими способами восстановления обладает многими достоинствами. Вместе с тем возможности совершенствования технологии ЭКП далеко не исчерпаны. Перспективным направлением расширения технологических возможностей способа ЭКП является применение в качестве присадочных материалов металлических порошков. Исследованиями доказано, что применение порошков снижает трудоемкость восстановления, расход присадочного материала и улучшает качество восстанавливаемых поверхностей.

Существующие способы приварки порошков, основанные на применении спеченных, армированных и порошково-полимерных лент, требуют применения дополнительного технологического оборудования и различных добавок. Эти способы весьма технологичны, но приготовление присадочного материала усложняет технологию восстановления, а процесс приварки сопровождается выделением вредных веществ, что ухудшает экологичность процесса. Способы, основанные на свободной засыпке порошка, позволяют получить качественный приваренный слой. Однако значительные потери порошка при восстановлении деталей типа «вал» ограничивают его применение.

В связи с этим, весьма актуальной представляется разработка технологии электроконтактной приварки порошковых материалов, позволяющей уменьшить время нанесения порошка, потери присадочного материала и снизить объем последующей механической обработки восстанавливаемой детали и тем самым повысить эффективность ЭКП порошковых материалов.

**Цель работы:** повышение эффективности технологического процесса восстановления изношенных поверхностей автотракторных деталей типа «вал» электроконтактной приваркой порошковых материалов в магнитном поле.

**Объект исследования:** технологический процесс восстановления изношенных поверхностей автотракторных деталей типа «вал» электроконтактной приваркой порошковых материалов в магнитном поле.

**Предмет исследования:** закономерности формирования металлопокрытия при электроконтактной приварке порошковых материалов в магнитном поле.

**Научная новизна:**

- разработаны способ электроконтактной приварки порошковых материалов в магнитном поле и устройство для его осуществления;
- разработаны и экспериментально проверены конструктивные параметры электромагнитного устройства для приварки порошковых материалов в магнитном поле;
- теоретически обоснована, определена и экспериментально проверена возможность регулирования толщины получаемого покрытия и величин шероховатости порошкового материала от напряженности магнитного поля;

- на основе исследования влияния магнитного поля на формирование покрытия и качественные ее показатели установлены оптимальные параметры технологического процесса приварки порошковых материалов;

- предложен для ремонтного производства технологический процесс восстановления автотракторных деталей типа «вал» электроконтактной приваркой порошковых материалов в магнитном поле.

#### **На защиту выносятся:**

- способ электроконтактной приварки порошковых материалов в магнитном поле;
- результаты теоретических исследований по оценке влияния магнитного поля на толщину получаемого покрытия и потери порошкового материала;
- результаты экспериментальных исследований влияния магнитного поля на качественные показатели приваренных покрытий;
- технологический процесс восстановления изношенных поясков золотников гидрораспределителей Р-80, Р-75 тракторов и комбайнов.

**Практическая значимость.** Разработанный технологический процесс восстановления автотракторных деталей типа «вал» ЭКП порошковых материалов в магнитном поле может применяться для восстановления изношенных поверхностей деталей на ремонтно-технических предприятиях АПК.

**Реализация результатов работы.** Разработанная технология ЭКП порошковых материалов в магнитном поле внедрена в ООО «РемАгро» Туймазинского района Республики Башкортостан и на научно-производственном участке кафедры «Технология металлов и ремонт машин» Башгосагроуниверситета. Результаты исследований используются в учебном процессе на кафедре «Технология металлов и ремонт машин» Башгосагроуниверситета.

**Апробация работы.** Получено положительное решение на изобретение по заявке № 2005103082120(004098). Основные материалы диссертационной работы доложены и обсуждены на научных конференциях профессорско-преподавательского состава, Башкирского государственного аграрного университета (2003-2006 г.г.), Уфимского государственного авиационного технического университета (2004 г.), на Всероссийской международной научно-практической конференции (Уфа, 2005 г.), на Международной практической конференции ГОСНИТИ (Москва 2005 г.), «Научно-практический прогресс в инженерной сфере АПК России – методология и практика оказания интеллектуальных услуг сельскохозяйственному производству» в ГНУ ГОСНИТИ (Москва, 2006 г.).

**Публикации.** По материалам диссертации опубликовано 8 работ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка использованной литературы из 106 наименований и приложений. Работа изложена на 140 страницах машинописного текста, содержит 8 таблиц, 62 рисунка и приложений на 17 страницах.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во введении обоснована актуальность темы, ее научная и практическая значимость, дана общая характеристика выполненной работы, изложены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе приведен анализ изнашиваемых автотракторных деталей по геометрическим параметрам. В результате анализа выявлено, что 80 % деталей имеют износ до 0,6 мм при диаметре от 20 до 80 мм. Рассмотрены основные преимущества и недостатки способов восстановления деталей типа «вал». Установлено, что одним из

наиболее перспективных и универсальных способов является ЭКП присадочных материалов. Этот способ характеризуется высокой производительностью процесса (60 см<sup>2</sup>/мин), малой глубиной зоны термического влияния, отсутствием деформации детали, закаливанием слоя непосредственно в процессе приварки, минимальными потерями присадочного материала (в 3...4 раза по сравнению с дуговыми способами), возможностью регулирования толщины привариваемого слоя и высокой экологичностью процесса приварки.

Значительный вклад в развитии процесса ЭКП внесли Д.В. Амелин, Н.Н. Дорожкин, Э.С. Каракозов, Ю.В. Клименко, Р.А. Латыпов, Э.Л. Левин, Ю.Н. Ломоносов, В.П. Лялякин, Б.А. Молчанов, А.В. Поляченко, Е.В. Рыморов, Ю.С. Тарасов, В.М. Черновол и др.

По существующим технологическим схемам ЭКП проведен анализ их преимуществ и недостатков. Выявлено, что перспективным направлением повышения эффективности техпроцесса ЭКП является приварка порошковых материалов. Рассмотрены способы подачи порошковых материалов в зону приварки на двухроликовых установках ЭКП с наружным охлаждением. На основании анализа способов подачи порошка при восстановлении ЭКП деталей типа «вал» предложен способ подачи порошка с применением внешнего магнитного поля, удерживающего порошковый материал, что позволяет расширить технологические возможности ЭКП порошковых материалов.

С учетом цели исследования, а также особенностей изучаемого вопроса были сформулированы следующие задачи:

- проанализировать способы создания магнитного поля в зоне приварки при ЭКП порошковых материалов на детали типа «вал» и разработать конструкцию магнитного устройства;
- теоретически исследовать влияние магнитного поля на толщину получаемого покрытия и потери присадочного материала при ЭКП порошков на детали типа «вал»;
- экспериментально исследовать влияние магнитного поля на процесс формирования слоя и оценить качественные показатели полученных покрытий;
- провести производственные испытания деталей, восстановленных разработанным способом;
- разработать технологию восстановления деталей типа «вал» и оценить эффективность внедрения результатов работы в ремонтное производство.

Во второй главе приведены результаты теоретических исследований по обоснованию конструктивного исполнения «П»-образного магнитопровода электромагнита (ЭМ) для эффективного намагничивания участка детали при ЭКП порошковых материалов в магнитном поле (ЭКПП в МП).

В ходе исследований было установлено, что для эффективного намагничивания участка восстанавливаемой детали и снижения потока рассеяния ( $\Phi_F$ ) до минимума необходимо подвести его полюса к зоне приварки с двух противоположных сторон. Выявлено, что торцы полюса магнитопровода должны плотно прилегать к поверхности детали. В этом случае магнитное поле будет пронизывать восстанавливаемый участок детали по замкнутой магнитной цепи с минимальным сопротивлением (рисунок 1).

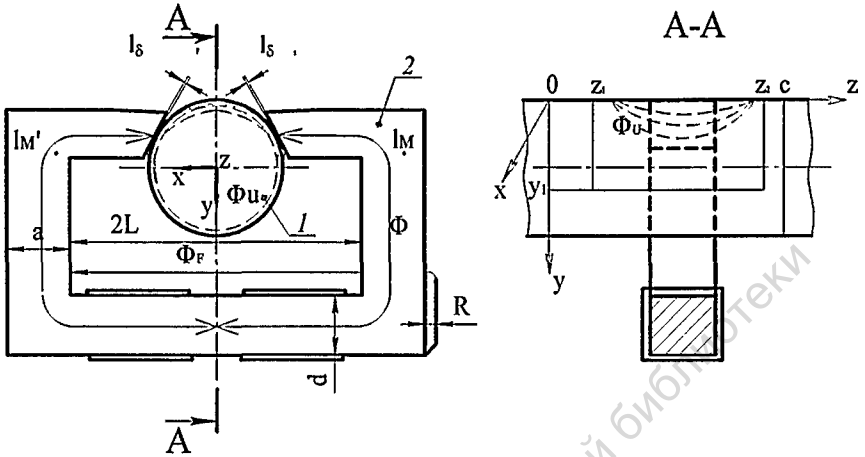


Рисунок 1 Схема расчетной модели: 1 – деталь; 2 – электромагнит

Из представленной схемы видно, что при симметричной магнитной цепи возможно образование воздушных зазоров  $l_\delta$   $l_\delta'$  между полюсами ЭМ и поверхностью восстанавливаемой детали, с учетом этого уравнение Кирхгофа примет вид:

$$\Phi \cdot R_M + \Phi_F R_F = F \quad (1)$$

$$\Phi_U \cdot (R_\delta + R_U) - \Phi_F R_F = 0 \quad (2)$$

$$\Phi = \Phi_F + \Phi_U \quad (3)$$

Предполагая, что магнитный поток с торца электромагнита полностью проникает в деталь  $\Phi_U = B_\delta \cdot S_\delta = \mu \mu_0 H \cdot d \cdot R$  и решая совместно уравнения (1-3), определяем магнитодвижущую силу электромагнита:

$$F = \Phi_U \left[ \left( \frac{R_\delta + R_U}{R_F} + 1 \right) \cdot R_M + R_\delta + R_U \right] \quad (4)$$

С учетом обозначений на рисунке 1 (разрез А-А) и различной магнитной проницаемости деталей определено магнитное сопротивление намагничиваемого участка детали:

$$R_U = \frac{\int_0^{L+\frac{d}{2}} H(X, 0, \frac{C+R}{2}) dx}{\int_0^{y_1} \int_{z_1}^{z_2} \mu(H) \cdot H_1 dy dz} \quad (5)$$

В полученной формуле числитель представляет собой магнитный поток, а знаменатель – падение магнитного потенциала в детали, зависящий от магнитной проницаемости  $\mu(H)$  детали, напряженности поля  $H$  и размеров детали.

Для оптимизации конструктивных па-

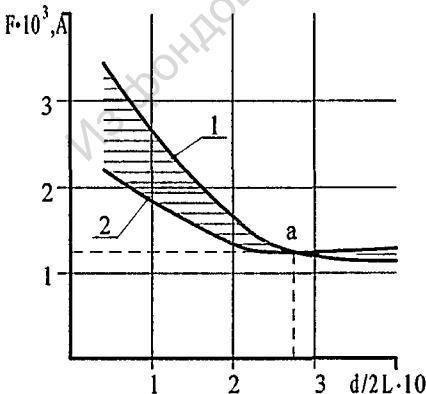


Рисунок 2 Зависимость магнитодвижущей силы от геометрических параметров ЭМ

раметров ЭМ по формулам (4 и 5) при определенном разбросе магнитной проницаемости  $\mu(H)$ , была получена графическая зависимость магнитодвижущей силы от геометрических параметров ЭМ (рисунок 2), откуда следует, что пересечение кривых 1 и 2 соответствует оптимальным геометрическим параметрам ЭМ ( $d/2L=2,8$ ) при минимальном значении магнитодвижущей силы ( $F=1,25 \times 10^3$  А).

Увеличение напряженности магнитного поля может способствовать концентрации порошка в зоне приварки и увеличению толщины покрытия. Для изучения действия магнитного поля на толщину покрытия рассмотрена схема процесса ЭКП порошков на поверхность детали (рисунок 3).

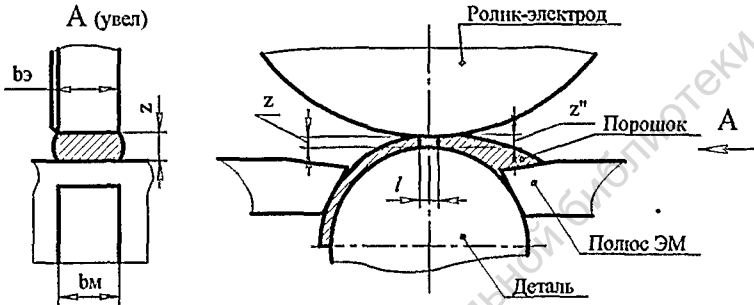


Рисунок 3 Схема определения толщины привариваемого слоя при ЭКПП в МП

Известно, что если шаг приварки будет больше размера приваренной точки, то получится прерывистый слой, состоящий из отдельно приваренных точек, по своей форме приближающихся к эллипсу, большая ось которого располагается в направлении движения ролика (рисунок 4). Предположим, что сварочная точка будет иметь симметричную форму ( $l=b$ ). В граничной зоне сварочной точки в направлении движения ролика плотность порошкового слоя будет меньше, чем в центре. С учетом этого для уточнения расчетов форму сварочной точки можно представить в виде призмы со сторонами  $l$ ,  $b$  и  $z$  (рисунок 4).

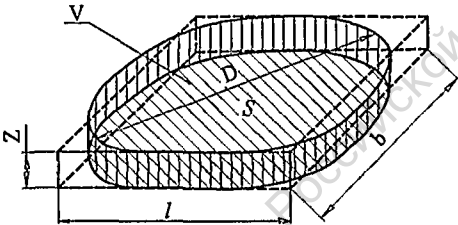


Рисунок 4 Схема сварочной точки

Исходя из представленной схемы, толщина  $Z$  приваренного покрытия будет определяться по следующей формуле:

$$Z = \frac{V}{S} = \left( \frac{m/\rho}{S} \right) \times k, \quad (6)$$

где  $\rho$  - плотность спеченного покрытия,  $г/см^3$ ;  
 $m$  - масса намагничиваемого порошка, кг;  
 $S = l \times b$  - площадь сварочной точки,  $м^2$ ;  
 $k = (z - z')/z$  - усадка порошка.

Неизвестной величиной в полученной формуле является масса порошка  $m$ , для определения которой рассмотрена схема действующих сил на частицу намагниченного порошка на поверхности детали в момент отсутствия импульса сварочного тока (рисунок 5).

Из рисунка 5 следует, что основной определяющей силой, притягивающей частицу порошка, является сила, обусловленная действием магнитодвижущей силы  $F_{МДС}$ ,

образованной от прохождения основного магнитного потока через магнитную цепь электромагнит – деталь.

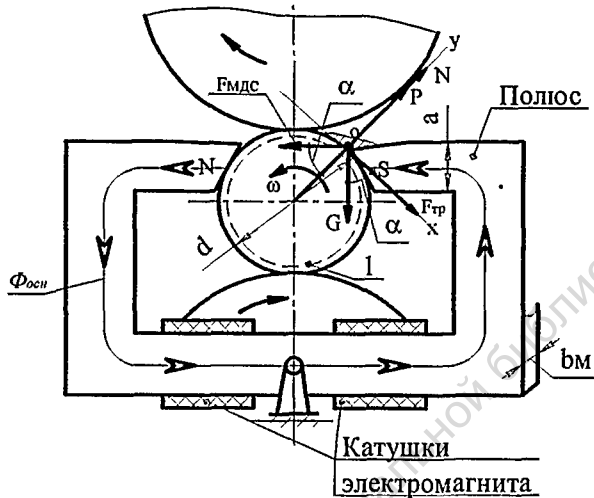


Рисунок 5 Схема сил, действующих на частицу металлического порошка в момент отсутствия импульса сварочного тока

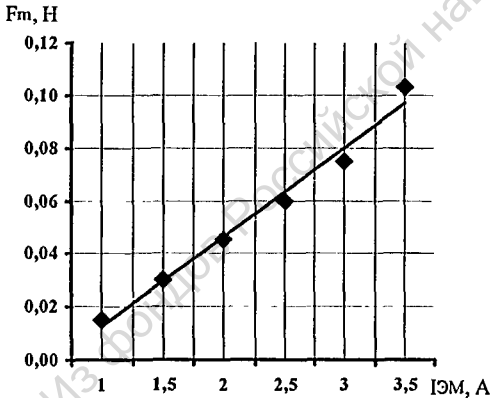


Рисунок 6 Зависимость силы  $F_m$  от тока обмотки возбуждения электромагнита  $I_{эм}$

Магнитодвижущая сила  $F_{МДС}$  в общем случае измеряется в Амперах, тогда как основная часть представленных на схеме сил отличается размерность в Ньютонах.

В связи с этим для определения силы, обусловленной действием  $F_{МДС}$ , нами был проведен эксперимент по ее определению, результаты которого представлены на рисунке 6 в виде зависимости  $F_m = f(I_{эм})$ . Данная зависимость при дальнейших расчетах использовалась для перевода силы ( $F_m$ ), обусловленной действием магнитодвижущей силы  $F_{МДС}$  и измеряемой в Ньютонах, на ток обмотки возбужде-

ния ЭМ ( $I_{эм}$ ), измеряемый соответственно в Амперах. С учетом полученной зависимости и условия равновесия действующих сил были определены масса  $m$  намагничиваемого порошка в зоне приварки и толщина получаемого покрытия:

$$m = \frac{F_m \cdot (\sin \alpha - f \cdot \cos \alpha)}{(\cos \alpha - f \sin \alpha) + f \cdot \omega^2 \cdot R} \quad (7)$$

$$Z = \frac{k \cdot F_m \cdot (\sin \alpha - f \cdot \cos \alpha)}{S \cdot \rho \cdot ((\cos \alpha - f \sin \alpha) + f \cdot \omega^2 \cdot R)} \quad (8)$$



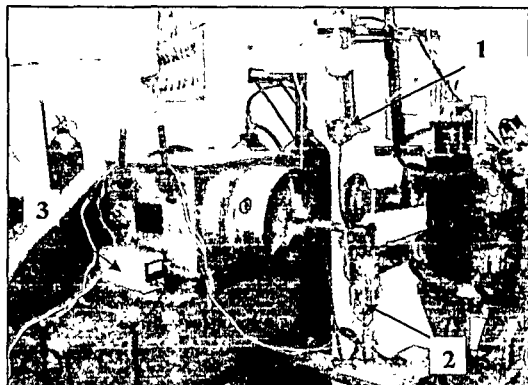


Рисунок 7 Общий вид модернизированной установки для ЭКПП в МП

Рисунки 7 и 8. При разработке ЭМ для обеспечения высокой магнитной проницаемости магнитопровода его составные части были выполнены из магнитомягкого материала (низкоуглеродистой стали). Наконечники (полюса) ЭМ изготавливались с возможностью их регулировки, что позволяет восстанавливать детали различного диаметра. Для исключения образования воздушных зазоров в соединениях между составными частями магнитопровода их плоскости обрабатывались на плоскошлифовальном станке до обеспечения требуемой шероховатости. Обмотка ЭМ выполнена из двух симметричных катушек, установленных на магнитопроводе (рисунок 8). Питание ЭМ осуществляется от импульсного источника с возможностью регулирования тока в обмотке возбуждения. Поскольку магнитное поле электромагнита пропорционально изменяется от тока его обмотки возбуждения, то все показания снимались с амперметра источника питания электромагнита.

Материал образцов (стали 35 - 45) для проведения экспериментов был обоснован анализом литературных источников. В итоге были отобраны ферромагнитные промышленные порошки по ГОСТ 9849-74 (марки ПЖ-2, ФБХ-6-2), стальная (сталь 45) и чугунная (СЧ 18) стружки с размерами частиц 400 - 1200 мкм.

При выполнении экспериментов сила сварочного тока определялось с помощью измерителя сварочного тока АСУ-1М. Продолжительность импульсы тока и пауз определялась по регулятору цикла сварки РКС-501, а давление роликов-электродов по показаниям манометра установки. Предварительно режимы приварки были выбраны на основе рекомендаций предыдущих исследователей, проводимых эксперименты с ЭКП порошковых материалов.

Оценка влияния магнитного поля на такие показатели процесса ЭКП как потери порошка, толщина получаемого слоя проводилась на цилиндрических образцах диаметром от 20 до 80 мм в зависимости от массы удерживаемых порошков в зоне приварки и показаний амперметра источника питания ЭМ. При этом масса удерживаемого порошка определялась взвешиванием на весах с точностью до  $10^{-5}$  кг.

Прочность сцепления приваренных покрытий с основным металлом определялась на гидравлическом прессе типа П-125 методом среза по ГОСТ 8905-73. Качество приварки порошка на основной металл оценивалось по фотографиям макро- и микроструктур полученных покрытий.

В третьей главе представлена методика экспериментальных исследований. Дано описание экспериментальной установки, разработанной на базе серийной установки 01.11-022 и модернизированной для ЭКПП в МП. Для соответствия означенной цели установка была снабжена бункером-дозатором 1, электромагнитом 2 и источником питания 3, которые обеспечивают равномерную подачу и удержание порошка в зоне приварки (рисунок 7).

Возможность приварки порошковых материалов в МП проверялась в процессе предварительных опытов с применением промышленных по-

Фотографирование соответствующих структур покрытий производили на приборе, состоящем из микротвердомера ПМТ-3, микрофотонасадки МФН-12 и фотоаппарата «Зенит-12Н».

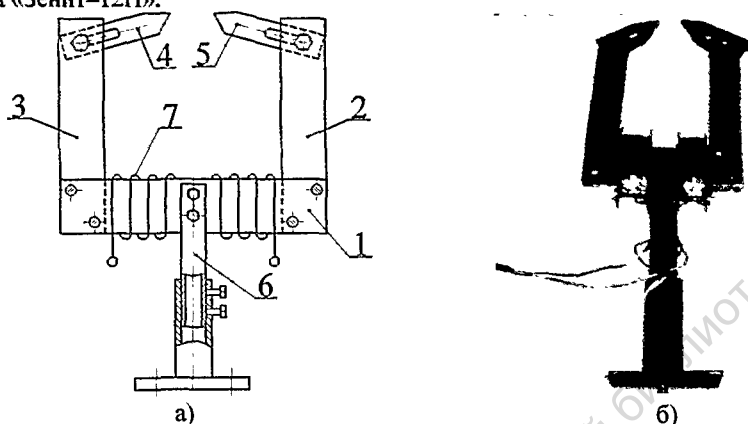


Рисунок 8 Электромагнит для создания магнитного поля при ЭКП порошковых материалов: а) схема устройства; б) внешний вид; 1 - нижний магнитопровод; 2, 3 - боковые магнитопроводы; 4, 5 - верхние магнитопроводы; 6 - телескопическая стойка; 7 - обмотка возбуждения

Для оценки однородности полученных покрытий общая твердость поверхности измерялась с помощью динамического твердомера ТДМ-2 и стационарного твердомера Викерса ТП-7р-1 (ГОСТ 9450 - 76), а микротвердость по глубине - на микротвердомере ПМТ-3. Открытая пористость определялась обработкой фотографий микроструктур на ЭВМ посредством программы Image.pro.

Исследования на износостойкость полученных покрытий проводили по схеме «вал - колодка» на установке СМЦ-2 в соответствии ГОСТ 27860-88. Для измерения износа применялся метод искусственных баз. В качестве контртела использовалась колодка из серого чугуна. Время испытания одного образца составляло 18 часов.

Усталостные испытания проводились на машине кручения и изгиба УКИ-10М по разработанной методике в соответствии с ГОСТ 2860-85. Испытаниям подвергали образцы из стали 45 с покрытиями, полученными после механической обработки.

Эксплуатационные испытания проводились на вторичных валах КПП автомобиля ГАЗ-322132 «Газель» и золотниках гидрораспределителей Р-80, Р-75, восстановленных разработанным способом.

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований по оценке влияния магнитного поля на процесс ЭКП порошков и формирование приваренного слоя, оценке качества полученных покрытий, а также результаты износных, усталостных и эксплуатационных испытаний.

Предварительные эксперименты по приварке порошков с применением постоянного кольцевого магнита показали, что получаемое покрытие характеризуется равномерностью слоя, малыми потерями присадочного порошка и возможностью получения многослойных покрытий без промежуточной механической обработки. Дальнейшие эксперименты проводились на модернизированной установке для ЭКП с экспериментальной электромагнитной системой.

Установлено, что приварку порошков разработанным способом возможно производить по двум технологическим схемам: первая – с подачей порошка в верхнюю зону приварки; вторая – с подачей порошка одновременно в верхнюю и нижнюю зоны приварки (рисунок 9).

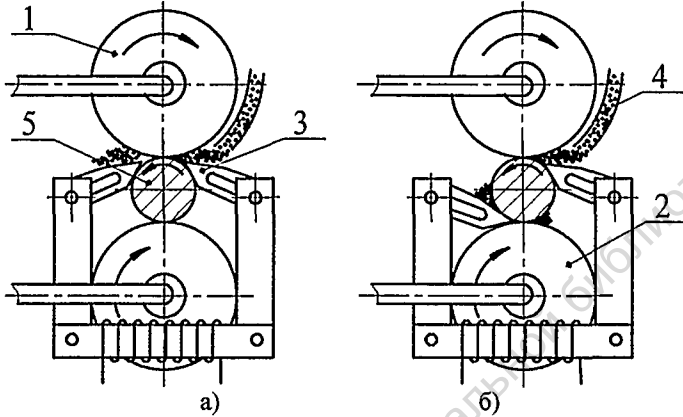


Рисунок 9 Схемы способов установки полюсов электромагнита и подачи порошка в зоны приварки: а) первая схема – подача в верхнюю зону приварки; б) вторая схема приварки – подача в верхнюю и нижнюю зоны приварки: 1,2 – электроды; 3 – полюс ЭМ; 4 – порошокпровод; 5 – восстанавливаемая деталь.

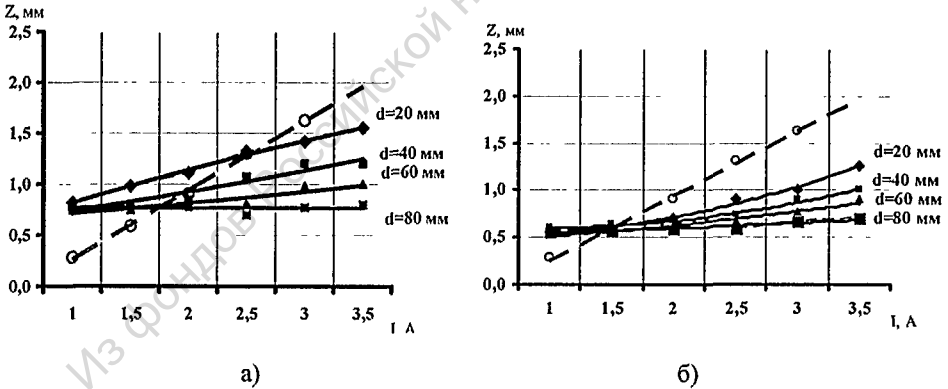


Рисунок 10 Влияние тока электромагнита ( $I_{\text{эм}}$ ) на толщину покрытий ( $Z$ ), при различных диаметрах образцов: а) первая схема приварки б) вторая схема приварки; --- теоретические данные; — экспериментальные данные

Результаты проведенных экспериментов по двум представленным схемам показали возможность получения покрытий с различной толщиной (рисунок 10). Отсюда следует, что экспериментальные данные по сравнению с теоретическими показывают различную интенсивность роста толщины покрытия. Это объясняется влиянием импульса сварочного тока на концентрацию порошка в зоне приварки. Увеличение тока электромагнита (магнитной индукции в зоне приварки) способствует увеличению толщины наносимого покрытия при осуществлении первой схемы от 0,8 до 1,6 мм, а при осуществлении второй схемы - от 0,8 до 1,3 мм. Разработанные схемы процесса ЭКП позволяют регулировать толщину привариваемых покрытий. Толщина получае-

мого покрытия также изменяется в зависимости от размеров привариваемых частиц и тока электромагнита ( $I_{ЭМ}$ ) (рисунок 11). Приварка порошков в МП с применением чугунной и стальной стружки способствует комплексному увеличению толщины приваренного покрытия.

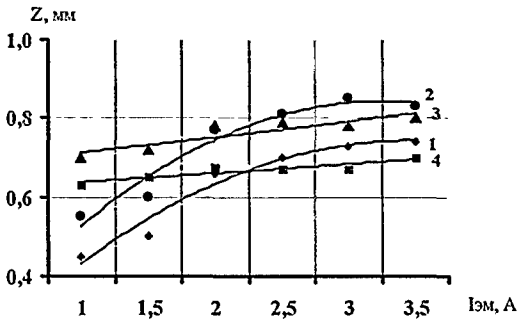


Рисунок 11 Зависимость толщины получаемых покрытий ( $Z$ ) от тока электромагнита ( $I_{ЭМ}$ ) и размеров частиц стружки в мкм: 1—СЧ 18 (200—400); 2—СЧ 18 (400—1000); 3—Сталь 45 (200—400); 4—Сталь 45 (400—1200)

ной приварке тех же стружек с размерами частиц менее 400 мкм толщина покрытий практически не изменяется. Для лучшей свариваемости стружки (размерами 800—1000 мкм) с основным металлом ее приварка производилась при больших значениях сварочного тока ( $I_{СВ} = 7 - 8$  кА), средней продольной подаче (3,35 мм/об) и обильном охлаждении зоны сварки.

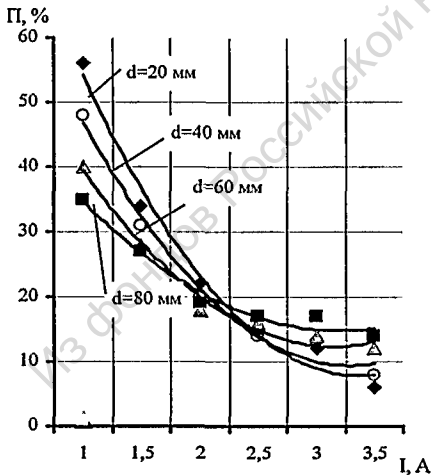


Рисунок 12 Зависимость величины потерь порошка ( $П$ ) от тока электромагнита ( $I_{ЭМ}$ ) и диаметра восстанавливаемых деталей (порошок ФБХ-6-2)

Изменение положения полюсов электромагнита относительно электродов существенно влияет на потери присадочного порошка. Для эффективного намагничивания участка детали полюса электромагнита должны быть установлены в одной оси с дисковыми электродами. Результаты проведенных экспериментов по оценке влияния МП на потери порошка представлены на рисунке 12, откуда следует, что при минимальном значении тока электромагнита ( $I_{ЭМ}=1А$ ) для деталей диаметром 20 мм потери порошка достигают 60 % и более, а при диаметре 80 мм потери составляют около 40 %. С увеличением тока электромагнита ( $I_{ЭМ}=3,5А$ ) при различных диаметрах деталей потери резко снижаются и составляют около 10 %.

Результаты исследования технологических свойств порошков использовались для определения массы удерживаемого порошка в зоне приварки, по которой определяли толщину получаемого покрытия. Адекватность теоретических предпосылок и расчетов оценивалась по массе удерживаемо-

го порошка при различных значениях тока обмотки возбуждения ЭМ на цилиндрических образцах диаметром 50 мм (рисунок 13). Видно, что увеличение массы порошка в зоне приварки происходит с увеличением тока электромагнита также до 2,5 А, дальнейшее увеличение тока несущественно влияет на массу удерживаемого порошка. При этом расхождение экспериментальной кривой с теоретической (штриховая линия) составляет не более 20 %. Это свидетельствует о том, что создание магнитного поля в зоне приварки порошка эффективно снизит его потери при ЭКПП в МП на детали типа «вал». Таким образом, можно сделать вывод, что результаты экспериментов подтверждают теоретические предположения.

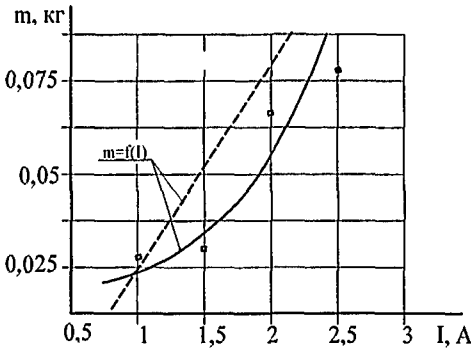


Рисунок 13 Зависимость массы ( $m$ ) удерживаемого порошка в зоне приварки от тока электромагнита ( $I$ эм) (образец: сталь 45,  $\varnothing$  40 мм, порошок ФБХ-6-2)

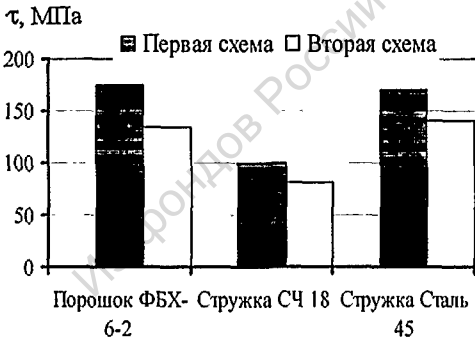


Рисунок 14 Зависимость прочности сцепления покрытий ( $\tau$ ) от способа подачи и вида применяемого порошка

Установлено, что способ подачи порошковых материалов также влияет на прочность сцепления покрытия с основой. При применении второй технологической схемы ЭКПП в МП прочность сцепления полученного покрытия снижается примерно на 30 МПа и особенно при применении присадочного материала с размерностью частиц 800 – 1000 мкм (рисунок 14). В этом случае для повышения прочности сцепления необходимо увеличивать плотность тока до 700 А/мм, а давление — до 300 Н/мм. Наименьшей прочностью сцепления (от 110 до 120 МПа) обладает слой, полученный приваркой чугунной стружки. Поэтому во избежание отслаивания покрытия не рекомендуется применять этот присадочный материал при восстановлении динамически нагруженных деталей.

Прочность сцепления слоя с основой при приварке стальной стружки и порошка ФБХ-6-2 достигает 180 МПа при первой схеме приварки и 135 МПа — при второй схеме. Для получения хорошей прочности сцепления нужно варьировать режимы приварки. В результате поисковых экспериментов были определены наиболее оптимальные режимы нанесения рекомендуемых порошков.

Металлографические исследования показали, что во всех случаях зоны соединения свидетельствует о качественной приварке присадочного порошка и основного металла.

Результаты измерения микротвердости по глубине зоны соединения показали, что микротвердость в порошковом слое из стальной стружки имеет достаточно высокие значения — 6100...6300 Н/мм<sup>2</sup>, а при применении чугунной стружки — 6350...6450 Н/мм<sup>2</sup>.

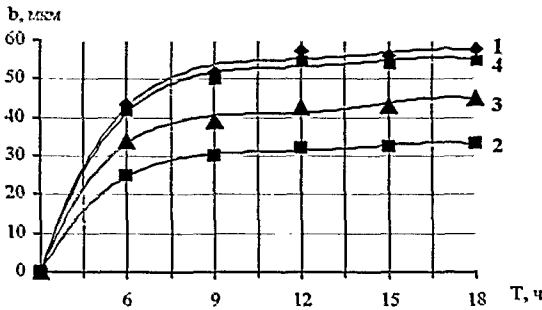


Рисунок 15 Результаты износных испытаний образцов: 1 - без покрытия (эталон); 2 - с покрытием стружки СЧ 18 (400 - 800 мкм); 3 - с покрытием порошка ФБХ-6-2; 4 - с покрытием стальной стружки (300 - 1000 мкм)

При изнашивании образцов с полученным покрытием из чугунной стружки зафиксирована величина наименьшего износа. Объясняется это тем, что данное покрытие более пористое и имеет антифрикционные свойства, что снижает коэффициент трения почти в два раза по сравнению с эталонными образцами.

$\sigma_N$ , МПа

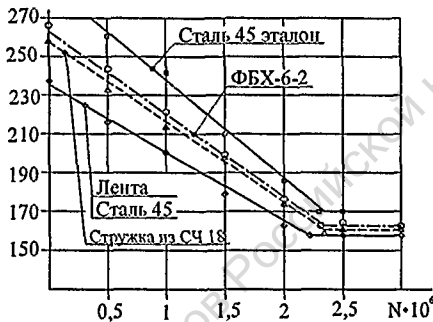


Рисунок 16 Результаты испытаний на усталостную прочность

влияние структурной неоднородности в покрытии, в результате чего при воздействии циклических нагрузок образование трещин происходит интенсивнее. Повышение усталостной прочности снизит вероятность поломок восстановленных деталей в реальных условиях.

В пятой главе даны рекомендации по промышленному применению восстановления изношенных поверхностей деталей типа «вал». Разработан технологический процесс восстановления наружных поверхностей цилиндрических деталей. Определены затраты на модернизацию установки для ЭКП. Проведена оценка технико-экономической эффективности технологического процесса на примере восстановления изношенных поясков золотников гидрораспределителей Р-80 и Р-75.

Пористость покрытий оценивалась на образцах, полученных на режимах, обеспечивающих достаточную прочность сцепления покрытия с основой. В пределах регулирования тока электромагнита от 1 до 2,5 А пористость изменялась соответственно от 5 до 10 %. При дальнейшем увеличении тока электромагнита получено практически безпористое покрытие.

Проведенные износные испытания показывают различную степень износа эталонного образца и образцов с приваренными покрытиями (рисунок 15). При изнашивании образцов с полученным покрытием из стальной стружки зафиксировано наибольшее значение износа, но меньшее чем износ эталона. Это можно объяснить меньшей твердостью и пористостью поверхности по сравнению с остальными покрытиями. Характер износа колодок при изнашивании с опытными и эталонными образцами аналогичен износу образцов. Циклическая прочность образцов, с полученными покрытиями ЭКП в МПа выше прочности образцов полученных ЭКП стальной ленты (рисунок 16). Снижение усталостной прочности наваренных образцов ЭКП стальной ленты объясняется присутствием высоких концентраторов напряжений в покрытии вследствие образо-

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Разработан технологический процесс восстановления изношенных авто-тракторных деталей типа «вал» электроконтактной приваркой порошковых материалов в магнитном поле. Установлено, что создаваемое электромагнитной системой магнитное поле повышает технологичность процесса путем удерживания порошковых материалов в зоне приварки и позволяет уменьшить потери присадочного материала от осыпания до 20% и более по сравнению с методом свободной засыпки порошка.

2. В процессе анализа возможных способов создания магнитного поля в зоне приварки, а также расчетным путем были определены оптимальные геометрические параметры ( $d/2L=2,8$ ) «П»-образного электромагнита при минимальном значении магнитодвижущей силы ( $F=1,25 \times 10^3$  А). Для практического применения результатов теоретических исследований определено, что увеличение тока обмотки возбуждения электромагнита до 3,5 А способствует увеличению толщины получаемого покрытия до 1,5 мм и более. Теоретические расчеты подтверждены экспериментальными данными.

3. Экспериментально выявлена возможность приварки порошка по двум схемам: с подачей в верхнюю зону приварки и с подачей в нижнюю и верхнюю зоны приварки. При этом в качестве присадочного порошка возможно использование стальных и чугунных стружек с размерами частиц от 400 – 1000 мкм. Установлено, что изменением тока в обмотке возбуждения электромагнита обеспечивается регулирование толщины покрытия от 0,6 до 1,6 мм. Металлографические исследования показали, что соединения, полученные при ЭКПП в МП из применяемых порошков и стружек, не имеют дефектов в виде трещин и несплошностей.

4. Исследованиями качественных показателей полученных покрытий выявлена их зависимость от технологических свойств металлических порошков и способа подачи порошка в зону приварки. Прочность сцепления покрытий, приваренных на оптимальных режимах, для порошка ФБХ-6-2 и стальной стружки составляет не менее 180 МПа, а при приварке чугунной стружки - не менее 120 МПа. При этом средняя твердость (HV) покрытий, полученных приваркой порошка ФБХ-6-2, стальной и чугунной стружки составила соответственно 534, 620 и 694. Лабораторными и эксплуатационными испытаниями установлено, что приваренные покрытия обладают высокими износостойкими свойствами, превышающими износостойкость закаленной стали 45 в 2 раза. Испытания на усталостную прочность показали, что образцы с полученными покрытиями обладают более высокой прочностью по сравнению с образцами, приваренными стальной лентой. На основе проведенных исследований были выявлены оптимальные режимы ЭКПП в МП.

5. Разработанная технология апробирована при восстановлении изношенных поверхностей вторичных валов КПП автомобилей ГАЗ-322132 «Газель», золотников гидрораспределителей Р-75 и Р 80 и других цилиндрических деталей. На примере восстановления золотников гидрораспределителей проведен расчет экономической эффективности внедрения технологий по сравнению электроконтактной приварки стальной ленты. В результате применения разработанной технологии достигается экономия в размере 60 рублей на одну деталь, стоимость восстановления составляет 38 % от стоимости нового золотника. Ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения технологического процесса в условиях ООО «РемАгро» Туймазинского района составляет около 50 тыс. рублей в год.

**Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:**

1. Фархшатов М. Н., Юнусбаев Н. М. Восстановление электроконтактной приваркой поверхностей тел вращения с применением постоянного магнита // Материалы 110 научно-практической конференции преподавателей, сотрудников и аспирантов БашГАУ «Достижения аграрной науки - производству». - Уфа: БГАУ, 2004. - С. 85.
2. Фархшатов М. Н., Юнусбаев Н. М. Восстановление деталей машин с большим износом электроконтактной приваркой ферромагнитных порошковых композиций // Материалы республиканской научно-практической конференции (обмен опытом) «Прогрессивные технологии ремонта, восстановления и продления ресурса деталей машин и механизмов промышленного назначения». - Уфа: УГАТУ, 2004. - С. 45.
3. Юнусбаев Н. М. Исследование микротвердости деталей, восстановленных электроконтактной наплавкой металлических порошков в магнитном поле // Материалы республиканской научно-практической конференции молодых ученых и аспирантов «Достижения молодых ученых - аграрному производству». - Уфа: БГАУ, 2004. - С.32.
4. Фархшатов М.Н., Гаскаров И.Р., Юнусбаев Н.М. Восстановление изношенных деталей // Сельские узоры. - 2004. - №6. - С.23.
5. Юнусбаев Н. М. Выбор оптимальной конструкции электромагнита для восстановления деталей типа «вал» // Материалы всероссийской научно-практической конференции «Повышение эффективности и устойчивости развития агропромышленного комплекса». - Уфа: БГАУ, 2005. - С.60.
6. Юнусбаев Н. М. Особенности электроконтактной приварки порошковых материалов в магнитном поле // Труды ГОСНИТИ - М., 2006. - С.362.
7. Фархшатов М.Н., Гаскаров И.Р., Юнусбаев Н.М. Уменьшение потерь порошковых материалов при электроконтактной приварке // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 2005. - №11. - С.32.
8. Юнусбаев Н. М. Параметры режимов электроконтактной приварки порошков в магнитном поле // Материалы I всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. - Уфа: БГАУ, 2006. - С. 112.

Лицензия РБ на издательскую деятельность 0261 от 10 апреля 1998 года.  
Лицензия на полиграфическую деятельность №6848366 от 21 июня 2000 года. Подписано к печати «13» ноября 2006 г. Формат 60x84. Бумага полиграфическая. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Бесплатно. Заказ № 842.  
Издательство ФГОУ ВПО «Башкирский государственный аграрный университет». Типография ФГОУ ВПО «Башкирский государственный аграрный университет». Адрес издательства и типографии: 450001, г. Уфа, ул. 50-лет Октября, 34.