

На правах рукописи

**ЗАЙНУЛЛИН Артур Айдарович**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВАЛОВ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ  
ПРИВАРКОЙ СТАЛЬНЫХ ПРОВОЛОК ПУТЕМ  
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Специальность 05.20.03 – Технологии и средства технического обслуживания  
в сельском хозяйстве

УФА 2013 г.

Работа выполнена на кафедре технологии металлов и ремонта машин Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования Башкирский государственный аграрный университет (ФГБОУ ВПО Башкирский ГАУ)

**Научный руководитель:** доктор технических наук, доцент  
Нафиков Марат Закиевич,

**Официальные оппоненты:** Фархшатов Марс Нуруллович,  
доктор технических наук, профессор, кафедра  
технологии металлов и ремонта машин ФГБОУ  
ВПО Башкирский ГАУ, профессор

Медведев Александр Юрьевич  
кандидат технических наук, доцент, кафедра  
оборудования и технологии сварочного произ-  
водства Федерального государственного бюд-  
жетного образовательного учреждения высшего  
профессионального образования «Уфимский  
государственный авиационный технический  
университет», доцент

**Ведущая организация** Федеральное государственное бюджетное об-  
разовательное учреждение высшего профессионального образования «Челя-  
бинская государственная агроинженерная академия»

Защита диссертации состоится 18 декабря 2013 г. в 14<sup>00</sup> ч. на заседании дис-  
сертационного совета ДМ 220.003.04 при ФГБОУ ВПО Башкирский ГАУ по  
адресу: 450001, г. Уфа, ул. 50 летия Октября, д.34, ауд. 257/3.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО Башкирский  
ГАУ

Автореферат разослан «\_\_\_» ноября 2013 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
доктор технических наук, профессор



С.Г. Мударисов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Важнейшим резервом повышения эффективности эксплуатации и снижения затрат на ремонт сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей является организация восстановления изношенных деталей машин. Первоочередной задачей ремонтных предприятий является обеспечение качества восстановленных деталей на уровне новых изделий.

Одной из наиболее эффективных, ресурсосберегающих и перспективных технологий восстановления является электроконтактная приварка (ЭКП) различных присадочных материалов. К числу достоинств ЭКП можно отнести отсутствие выгорания легирующих элементов, малый припуск на последующую механическую обработку, уменьшение расхода присадочного материала, благоприятные условия работы оператора, незначительный нагрев детали и др.

В качестве присадочных материалов при ЭКП могут применяться стальные ленты, металлические порошки, но самым удобным, доступным и дешевым видом присадочного материала являются стальные проволоки. Способ электроконтактной приварки проволок (ЭКПП), несмотря на его несомненные достоинства, не получил достаточно широкого применения в АПК из-за отсутствия промышленного выпуска наплавочного оборудования и некоторых недостатков, присущих этому технологическому процессу. Это повышенный износ инструментов – роликов-электродов и структурная неоднородность металлопокрытия. Работы, направленные на совершенствование способа ЭКПП, повышение его производительности и эффективности имеют первостепенное значение.

**Степень разработанности.** ЭКПП основана на методах контактной сварки и имеет сходную методологию выбора рациональных режимов приварки. Сварочный ток  $I$  определяется как произведение площади контакта  $A$  на определяемую экспериментально плотность линий тока  $i$ . Усилие на ролике-электроде  $F$  равно произведению площади контакта на оптимальное значение давления  $p$  по контактной площадке. Длительность импульсов тока  $t_{II}$  должна быть достаточной для образования прочного сварного соединения. Герметичность соединений при шовной сварке обеспечиваются выбором шага наплавки.

Эти же принципы лежат и в основе выбора оптимальных режимов КПП. Однако рассматриваемый технологический процесс имеет только ему присущие специфические особенности, заключающиеся в том, что присадочная проволока испытывает существенную трехмерную пластическую деформацию, геометрия контактов достаточно сложная, а сварное соединение образуется только на наиболее деформируемой части контактных площадок. Поэтому предлагаемая технология требует более углубленного и детального изучения.

**Цель работы.** Повышение эффективности и качества восстановления валов сельскохозяйственного назначения путем совершенствования технологического процесса и оборудования ЭКПП.

**Объект исследований.** Технологический процесс восстановления изношенных поверхностей деталей типа «вал» электроконтактной приваркой стальных проволок.

**Предмет исследования:** закономерности формирования сварного соединения, наносимого ЭКПП двух проволок одним роликом-электродом.

**Научная новизна** заключается в следующем:

1. Предложена новая технологическая схема ЭКПП наружных цилиндрических поверхностей одновременной приваркой двух стальных проволок одним роликом-электродом.

2. Составлена расчетная схема, произведено формализованное описание, составлена компьютерная программа и установлены аналитические зависимости для определения параметров процесса формирования сдвоенного сварного шва.

3. Установлены пределы изменения параметров режима ЭКПП по предложенной технологической схеме и выявлено их влияние на прочность формируемого сварного соединения, структуру, твердость, износостойкость металлопокрытия, определены остаточные напряжения в нем.

4. Проведено научное обоснование методики определения рациональных режимов ЭКПП для различных сочетаний диаметров валов и проволок.

Новизна проведенных исследований подтверждается патентом на полезную модель и патентом на изобретение. Ряд заявок на предполагаемые изобретения находятся на стадии рассмотрения.

**Теоретическая и практическая значимость:**

1. Технологическая схема и рекомендации по разработке высокопроизводительных процессов восстановления валов ЭКПП при приварке двух стальных проволок одним роликом-электродом.

2. Рекомендации и компьютерная программа по определению рациональных режимов ЭКПП по предложенной схеме.

3. Рекомендации по выбору конструктивно-технологических параметров блочно-модульных установок ЭКП различных присадочных материалов, включая стальные проволоки.

4. Ряд новых способов формирования металлопокрытия ЭКПП одновременной приваркой двух присадочных проволок.

**Методология и методы исследований.** Поставленная цель достигается путем проведения теоретических и экспериментальных исследований процесса ЭКПП двух стальных проволок. В работе были использованы современные компьютерные программные продукты: Microsoft Word 2010, Microsoft Excel 2010, Компас 3D V13, MathCad 14, Statistica 6.1.

**Положения выносимые на защиту:**

1. Модель одновременной пластической деформации двух присадочных проволок усилием ролика-электрода.

2. Установленные закономерности формирования сдвоенного сварного шва.

3. Экспериментальная оценка показателей качества восстановленных валов и износостойкости применяемых инструментов – роликов-электродов.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Разработанные технологические процессы восстановления изношенных валов автомобилей внедрены в автотранспортном предприятии ОПАТП филиал ГУП «Башавтотранс» Республики Башкортостан в городе Октябрьский.

Основные материалы исследований доложены и обсуждены на научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава, молодых ученых и специалистов Башкирского ГАУ (Уфа, 2011-2013 г.г.); LI Международной научно-технической конференции «Достижения науки - агропромышленному производству» (г. Челябинск, 2012 г.); 8 Международной научно-практической конференции, посвященной памяти доктора сельскохозяйственных наук профессора заслуженного деятеля науки Российской Федерации и Республики Мордовия Сергея Александровича Лапшина «Лапшинские чтения» «Ресурсосберегающие экологически безопасные технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции» (г. Саранск, 12-13 апреля 2012 г.).

**Вклад автора в проведенное исследование.** Предложена новая, более совершенная технологическая схема ЭКПП, выполнено теоретическое и экспериментальное обоснование ее параметров, исследована технико-экономическая эффективность восстановления.

**Публикации.** Всего по результатам работы над диссертацией опубликовано 16 печатных работ, в том числе 5 статей в изданиях, рекомендованных ВАК для публикации материалов кандидатских и докторских диссертаций. Получены патенты полезную модель и на изобретение.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы из 132 наименований и приложений. Работа изложена на 171 страницах машинописного текста, содержит 56 рисунка, 11 таблиц, 3 приложения.

### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность работы, показана необходимость дальнейшего развития теоретических положений о процессе формирования при ЭКПП сварного соединения в твердой фазе и научного обоснования технологических решений, направленных на повышение производительности и эффективности восстановления валов сельскохозяйственного назначения.

**В первой главе** «Состояние вопроса и задачи исследования» произведен анализ конструктивных и технологических характеристик валов сельскохозяйственной техники. До 85...90% таких деталей выбраковывается при износах до

0,25...0,30 мм. Рациональными способами восстановления таких деталей являются электроконтактные способы, основанные на методах контактной и шовной сварки. Отличительными особенностями таких способов являются незначительный нагрев восстанавливаемой детали, малые припуски на последующую механическую обработку, отсутствие выгорания легирующих элементов, закалка металлопокрытия непосредственно при его формировании, простота технологического процесса, высокое качество восстанавливаемых деталей, достаточно высокая производительность процесса, благоприятные условия работы для оператора и др. В качестве присадочных материалов здесь используются металлические порошки, стальные ленты и проволоки.

Удобным, наиболее дешевым, доступным и технологичным присадочным материалом являются стальные проволоки. В РФ производится большая номенклатура проволок различного диаметра и химического состава. Такой присадочный материал приваривается на восстанавливаемую шейку любой длины по винтовой линии, не требует предварительной обработки и раскроя.

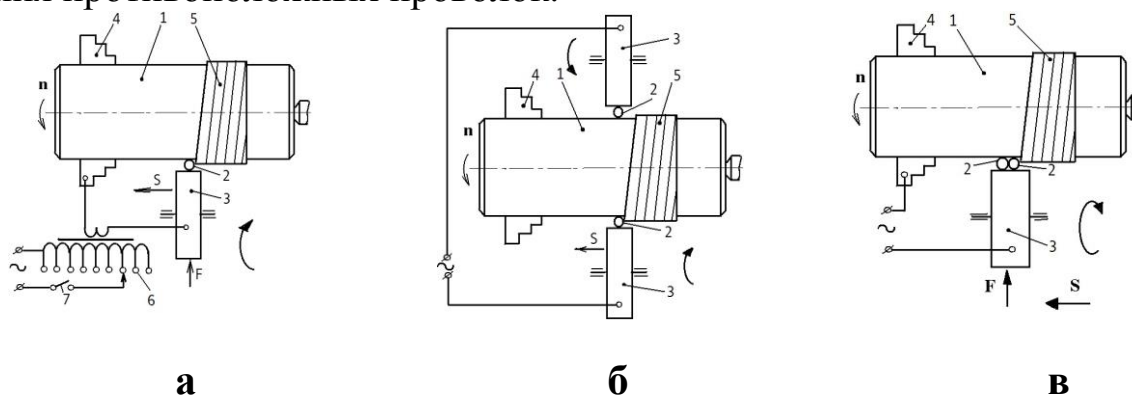
Исследованиям восстановления деталей электроконтактной наплавкой проволокой (ЭКПП) посвящены работы В.В. Булычева, В.А. Дубровского, И.И. Загирова, В.С. Ибрагимова, А.К. Исламгулова, Р.А. Латыпова, Э.С. Каракозова, Б.А. Молчанова, М.З. Нафикова, А.И. Понамарева, В.А. Преснякова, Н.Н. Прохорова, Л.Б. Рогинского и других исследователей. Анализ литературных источников показал, что несмотря на несомненные достоинства способа ЭКПП, по ряду причин в качестве присадки проволоки применяются реже, чем металлические ленты. Связано это, прежде всего, с дефицитом необходимого наплавочного оборудования. Выпускавшиеся ранее установки электроконтактной наплавки конструкции ГОСНИТИ предназначены, прежде всего, для приварки стальных лент, для ЭКПП они неудобны. Сдерживает применение ЭКПП и присущие самому способу недостатки – неоднородность структуры при формировании слоя по винтовой линии, низкая стойкость роликов-электродов.

Поэтому работы по совершенствованию технологии и оборудования ЭКПП имеют большое теоретическое и прикладное значение.

Известно большое количество технологических схем восстановления валов ЭКПП, но применение получили лишь схемы, приведенные на рисунках 1,а и б.

Основная схема 1,а наиболее простая и удобная, но наименее производительная из-за того, что приваривается лишь одна проволока. По мере приварки меняется контур вторичной цепи трансформатора. Двухзаходная технологическая схема на рисунке 1,б более производительная, но неудобна в эксплуатации, так как вторая присадочная проволока подводится с противоположной стороны, что затрудняет и делает небезопасной работу оператора-наплавщика. Практически невозможно обеспечить необходимое перекрытие сварных швов

и добиться отсутствия межвитковых зазоров из-за неточного взаиморасположения противоположных проволок.



1 – деталь; 2 – присадочная проволока; 3 – ролик-электрод; 4 – патрон; 5 – металлопокрытие; 6 – сварочный трансформатор; 7 – прерыватель тока  
 Рисунок 1 - Схемы ЭКПП: а – основная; б – двухроликовая двумя проволоками; в – односторонняя одновременно двумя проволоками

Этих недостатков нет у предлагаемой нами технологической схемы на рисунке 1,в, предусматривающей приварку двух соприкасающихся проволок одним инструментом. Формируется более однородное металлопокрытие, стойкость инструмента также повышается из-за больших размеров контактов.

В результате изучения состояния вопроса и поставленной целью были сформулированы конкретные **задачи исследования:**

1. На основе изучения технической литературы и патентной документации установить возможные пути и направления совершенствования технологии восстановления валов сельскохозяйственной техники электроконтактной приваркой стальных проволок, применив более эффективную и производительную технологическую схему процесса.

2. Установить основные закономерности формирования сварного соединения и металлопокрытия однорольковой приваркой одновременно двух проволок, составив для этого расчетную схему и исследовав теоретически и экспериментально процесс пластической деформации присадочных проволок.

3. Составить научно-обоснованную методологию и на ее основе определить рациональные режимы ЭКПП для различных сочетаний диаметров валов и проволок.

4. Исследовать влияние технологических режимов приварки на качественные показатели процесса. Определить свойства сформированных ЭКПП металлопокрытий и эксплуатационные характеристики восстановленных валов.

5. Составить рекомендации по разработке эффективных технологических процессов восстановления деталей ЭКПП и совершенствованию оборудования для этих целей. Оценить технико-экономическую эффективность разработанных технологий и провести их производственную апробацию.

**Во второй главе** «Определение основных параметров образования соединения при односторонней приварке двух присадочных проволок» теоретически исследуется процесс формоизменения присадочной проволоки при прохождении импульса тока и образования сдвоенного сварного шва.

Была оставлена расчетная схема на рисунке 2. Разогретые импульсом тока присадочные проволоки осаживаются, часть присадочного металла выдавливается из-под ролика-электрода в обратном направлении, разрушая гидрооксидные пленки. Длина двойного сварного валика  $L_B$  оказывается больше длины затраченных проволок  $L_{ПР}$ . Относительная осевая деформация проволок, характеризующая прочность сварного соединения, и толщина металлопокрытия  $\delta$ , мм определяются после приварки:

$$\varepsilon_y = (L_B - L_{ПР}) / L_{ПР}, \quad \delta = \frac{\pi \cdot d^2}{4S(1 + \varepsilon_y)},$$

где  $S$  – шаг наплавки по винтовой линии, мм/об, остальные обозначения здесь и в дальнейшем по рисунку 2,а.

При ЭКПП одной присадочной проволоки контакты присадочного металла с цилиндрическими поверхностями вала и инструмента ограничиваются контурами полуэллипсов, при двухпроволочной приварке сдвоенного сварного валика развертка площадки контакта представляет собой две такие же перекрывающиеся полуэллиптические площадки (рис.2,б). Степень перекрытия этих фигур по ширине определяется коэффициентом  $K_{П} = \frac{П_x}{2b} = 0,10...0,15$ .

Решая уравнение (3) равновесия пластически деформированного присадочного металла между валом и роликом-электродом, полученное проектированием на ось  $z$  равнодействующих сил давления на присадочный металл со стороны детали и со стороны инструмента, совместно с геометрическими соотношениями (2), определяем размеры полуосей  $L_1$  и  $L_2$ :

$$\begin{aligned} & \frac{2R_1}{L_1} \cdot \int_0^{L_1/R_1} \sqrt{L_1^2 - R_1^2 \cdot \alpha_1^2} \cdot \cos \alpha_1 \cdot d\alpha_1 - \frac{R_1}{L_1} \cdot \int_0^{y_n/R_1} \sqrt{L_1^2 - R_1^2 \cdot \alpha_1^2} \cdot \cos \alpha_1 \cdot d\alpha_1 + R_1 \cdot (1 - K_{П}) \cdot \sin\left(\frac{y_n}{R_1}\right) = \\ & = \frac{2R_2}{L_2} \cdot \int_0^{L_2/R_2} \sqrt{L_2^2 - R_2^2 \cdot \alpha_2^2} \cdot \cos \alpha_2 \cdot d\alpha_2 - \frac{R_2}{L_2} \cdot \int_0^{y_n/R_2} \sqrt{L_2^2 - R_2^2 \cdot \alpha_2^2} \cdot \cos \alpha_2 \cdot d\alpha_2 + R_2 \cdot (1 - K_{П}) \cdot \sin\left(\frac{y_n}{R_2}\right) \end{aligned} \quad (1)$$

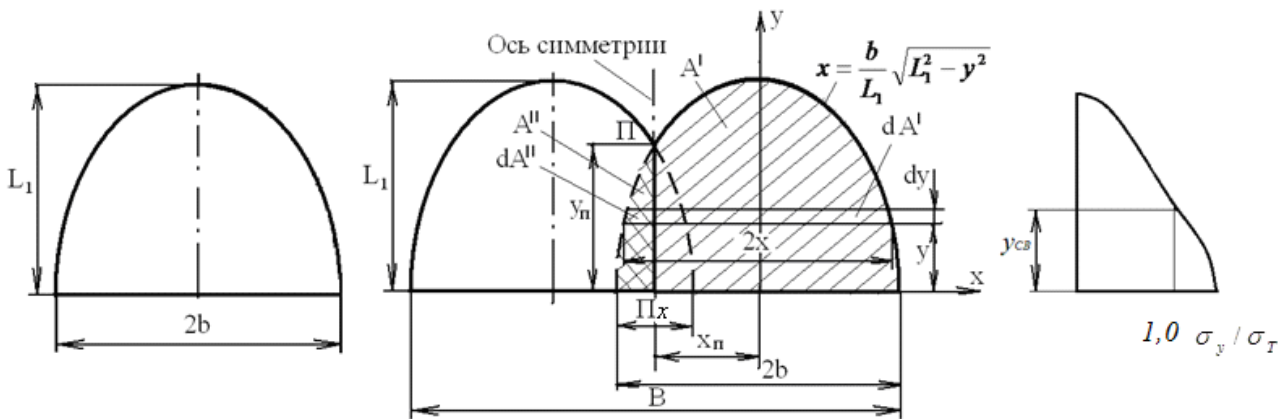
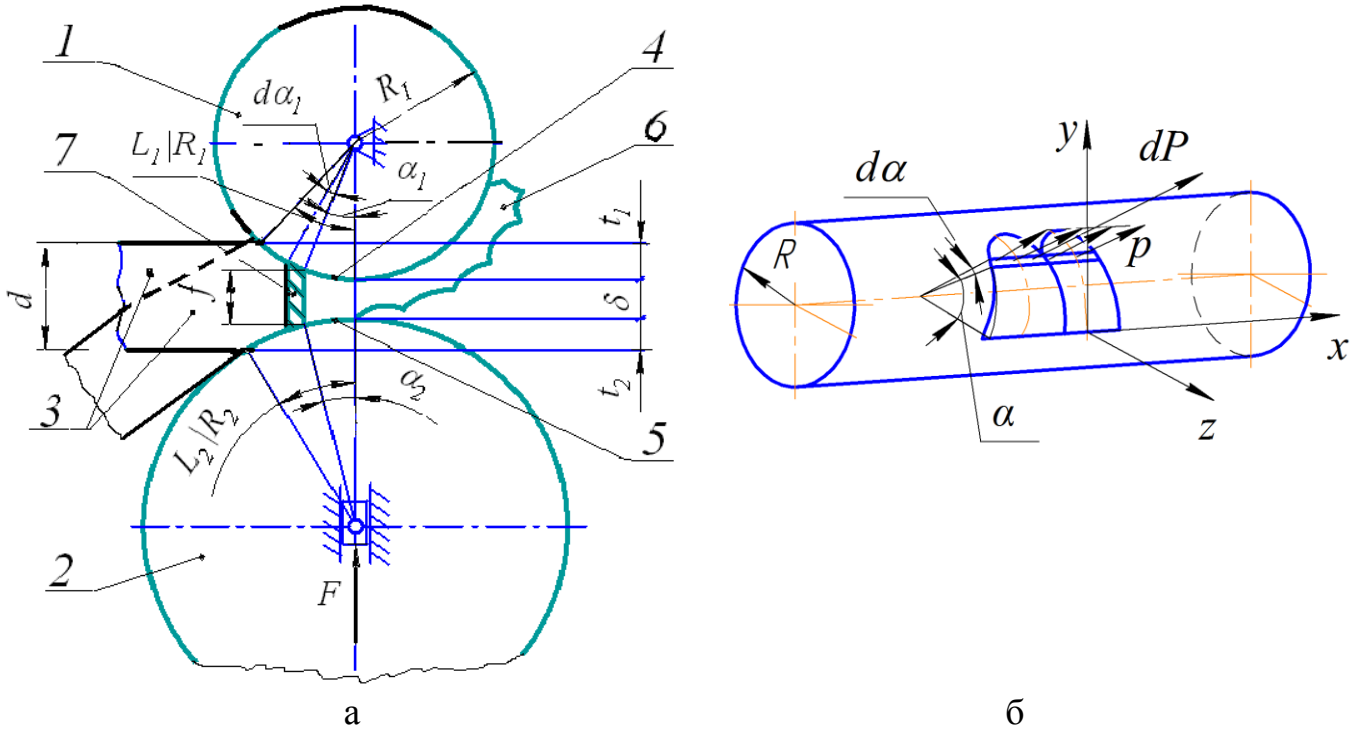
$$t_1 + t_2 + \delta = d; \quad \cos \alpha_{1,2} = (R_{1,2} - t_{1,2}) / R_{1,2}; \quad L_{1,2} = R_{1,2} \cdot \alpha_{1,2}^{MAX}. \quad (2)$$

Площади контактных площадок присадочного металла с поверхностями вала и ролика-электрода определялись, как удвоенная разность площадей  $A'$  заштрихованной на рисунке 2,г фигуры под эллиптической кривой и площади криволинейного треугольника  $A''$ . Было получено:

$$A_{1,2} = 2(A' - A'') = 2 \frac{b \cdot R}{L} \left[ 2 \cdot \int_0^{L_1/R_1} \sqrt{L^2 - R^2 \cdot \alpha^2} \cdot d\alpha - \int_0^{y_n/R} \sqrt{L^2 - R^2 \cdot \alpha^2} \cdot d\alpha \right] + 2b(1 - K_{П})y_n, \quad (3)$$



где  $K_{\Pi} = \frac{\Pi_x}{2b} = 0,10 \dots 0,13$  – коэффициент перекрытия сварных валиков по их ширине; координаты точки  $\Pi$  на оси симметрии составной фигуры равны  $x_{\Pi} = -b + \Pi_x/2$ ,  $y_{\Pi} = \frac{L_1}{b} \cdot \sqrt{b \cdot \Pi_x - \Pi_x^2/4}$ .



в

г

д

1 – вал; 2 – наплавляющий ролик-электрод; 3 – присадочные проволоки; 4 – контактная площадка со стороны вала; 5 – контактная площадка со стороны ролика-электрода; 6 – металлопокрытие; 7 – элементарная призма

Рисунок 2 - Схема к описанию процесса приварки сдвоенного сварного шва:  
а – формоизменение присадочных проволок; б - усилия на выделенном элементе контактной площадки; в – контактная площадка при приварке одной проволоки; г – при приварке двух присадочных проволок; д – распределение растягивающих напряжений по контактной площадке

В проведенном на рисунке 2,а произвольном поперечном сечении присадочного металла со стороны вала и со стороны ролика-электрода действуют растягивающие силы, соответственно равные:

$$N_{1y}(\alpha) = 2\sigma_T \cdot b \cdot R_1 \cdot \left[ \frac{2}{L_1} \cdot \int_{\alpha_1}^{L_1/R_1} \sqrt{L_1^2 - R_1^2 \cdot \alpha_1^2} \cdot \sin \alpha_1 \cdot d\alpha_1 - \right. \\ \left. - \frac{1}{L_1} \cdot \int_{\alpha_1}^{y_n/R_1} \sqrt{L_1^2 - R_1^2 \cdot \alpha_1^2} \cdot \sin \alpha_1 \cdot d\alpha_1 + (1 - K_n) \cdot \left( \cos\left(\frac{y_n}{R_1}\right) - \cos \alpha_1 \right) \right] \quad (4)$$

$$N_{2y}(\alpha_2) = 2\sigma_T \cdot b \cdot R_2 \cdot \left[ \frac{1}{L_2} \cdot \int_{\alpha_2}^{L_2/R_2} \sqrt{L_2^2 - R_2^2 \cdot \alpha_2^2} \cdot \sin \alpha_2 \cdot d\alpha_2 - \right. \\ \left. + (1 - K_n) \cdot \left( \cos\left(\frac{y_n}{R_2}\right) - \cos \alpha_2 \right) \right] \quad (5)$$

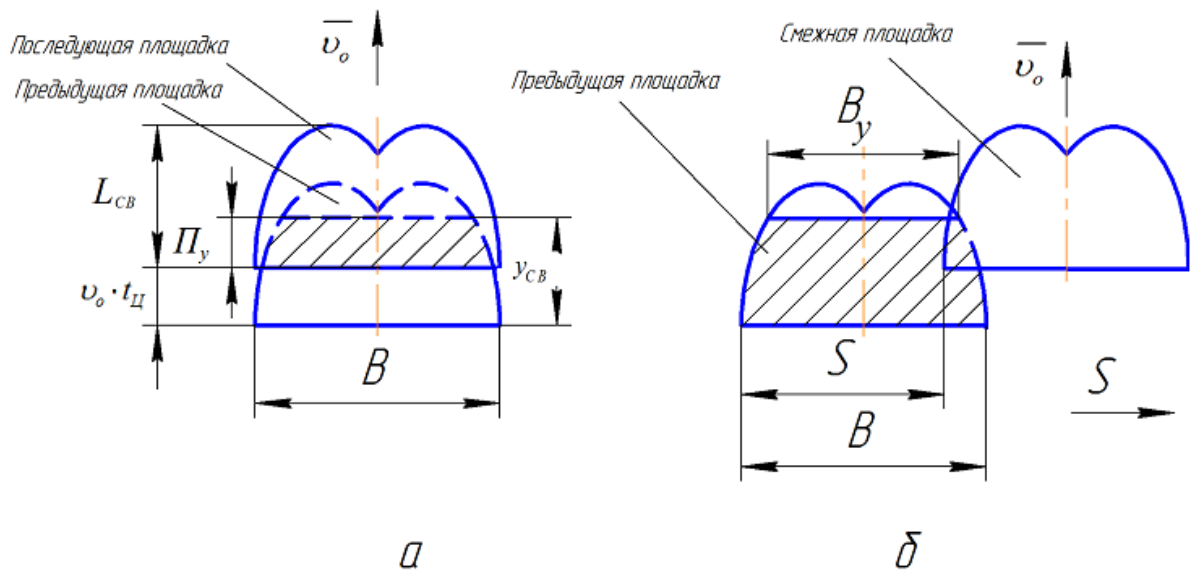


Рисунок 3 - Формирование сплошного металлопокрытия без непроваров:  
а – перекрытие зон образования сварного соединения по длине сдвоенного сварного валика; б – перекрытие сварных площадок по их ширине

Площадь поперечного сечения равна:

$$A(\alpha) = A'(\alpha) - A''(\alpha) = \left[ \frac{b}{L_1} \cdot \sqrt{L_1^2 - R_1^2 \cdot \alpha_1^2} + b(1 - K_n) \right] (R_1 + R_2 + \delta - R_1 \cdot \cos \alpha_1 - \sqrt{R_2^2 - R_1^2 \cdot \sin^2 \alpha_1}) \quad (6)$$

Если принять, что нормальные напряжения по сечению распределяются равномерно, то их величина вычисляется:

$$\sigma_y(\alpha) = \frac{N_{1y}(\alpha) + N_{2y}(\alpha)}{A(\alpha)} \quad (7)$$

На рисунке 2,д построен график распределения осевых растягивающих напряжений по сечению сварной точки. В зоне наибольшей деформации, ограниченной участком  $y_{св}$ , действующие напряжения превышают предел текучести присадочного материала при данной температуре. Мы объясняем отсут-

ствие разрушения присадочного металла в этой зоне тем, что на этом участке контактной площадки образовалось сварное соединение, воспринимающее излишнюю растягивающую нагрузку.

Для формирования сплошного металлопокрытия без непроваров (схема на рисунке 3) зоны контактных площадок, в которых образуется сварное соединение, должны перекрываться как по их длине, так и по ширине, соответственно на 2...5 и 10...15%. Для облегчения расчетов параметров пластической деформации и образования сварного соединения составлена компьютерная программа.

**В третьей главе** «Методика экспериментальных исследований» приводится методика экспериментальных исследований, дано описание применяемых приборов и оборудования.

Лабораторные испытания проводились на установке электроконтактной приварки 01.11-022 конструкции ГОСНИТИ, модернизированной для осуществления предлагаемой технологической схемы ЭКПП. Структура наваренного слоя, ЗТВ и основного металла изучались на микроскопе LSM-Exciter, для измерения общей твердости приваренного слоя использовался динамический твердомер ТДМ-2 ТУ 4271-002-47621206-01, твердость металлопокрытия определяли на твердомере Викерса модели ТП-7р-1, а также применялся микроскоп Axiovert-100А с приставкой МНТ-10.

О прочность сварного соединения судили по методике, основанной на замерах относительной осевой деформации присадочных проволок, а также по результатам отрыва конических штифтов разборных образцов от приваренного слоя.

Износостойкость металлопокрытия определялась по результатам ускоренных износных испытаний наваренных образцов на установке СМЦ-2.

Определение остаточных напряжений осуществлялось методом пенетрации, основанным на использовании упругопластического контактного взаимодействия, по методике, разработанной А. Г. Игнатьевым.

В Башкирском ГАУ разработана методика определения износа ролика-электрода, как площади поперечного сечения кольцевой канавки на его рабочей поверхности. Методика основана на измерении относительной осевой деформации  $\varepsilon_y$  присадочной проволоки при ее приварке неизношенным и  $\varepsilon'_y$  - изношенным инструментом.

Результаты экспериментов статистически обрабатывались с использованием компьютерных программ Statistika и Excel. При определении оптимальных режимов приварки применялась методика активного планирования экспериментов.

**Четвертая глава** «Результаты экспериментальных исследований и их обсуждение» содержит результаты экспериментальных исследований и их анализ.

Исследовалось комплексное влияние на прочность сварного соединения эффективного значения сварочного тока  $I$ , усилия на ролике-электроде  $F$ , окружной скорости вращения детали  $\nu_o$ , длительности импульсов тока  $t_{и}$ . Перечисленные факторы режима ЭКПП варьировались на трех уровнях. Выходным параметром являлась относительная осевая деформация присадочных проволок  $\varepsilon_y$ .

Анализ уравнений регрессии и трехмерных диаграмм влияния, представленные на рисунках 4 и 5, позволил установить оптимальный режим приварки проволоки ПК-2 ГОСТ 9389-75 диаметром 1,8 мм на образцы из стали 45 ГОСТ 1050-88:  $I = 11,8...12,2$  кА;  $F = 1,8...2,0$  кН;  $\nu_o = 18...20$  мм/с;  $t_{и} = 0,06$  с. При установленном технологическом режиме  $\varepsilon_y$  равен максимально достижимой величины 44...46%, разрушение сварного соединения происходит по телу штифтов разборных образцов.

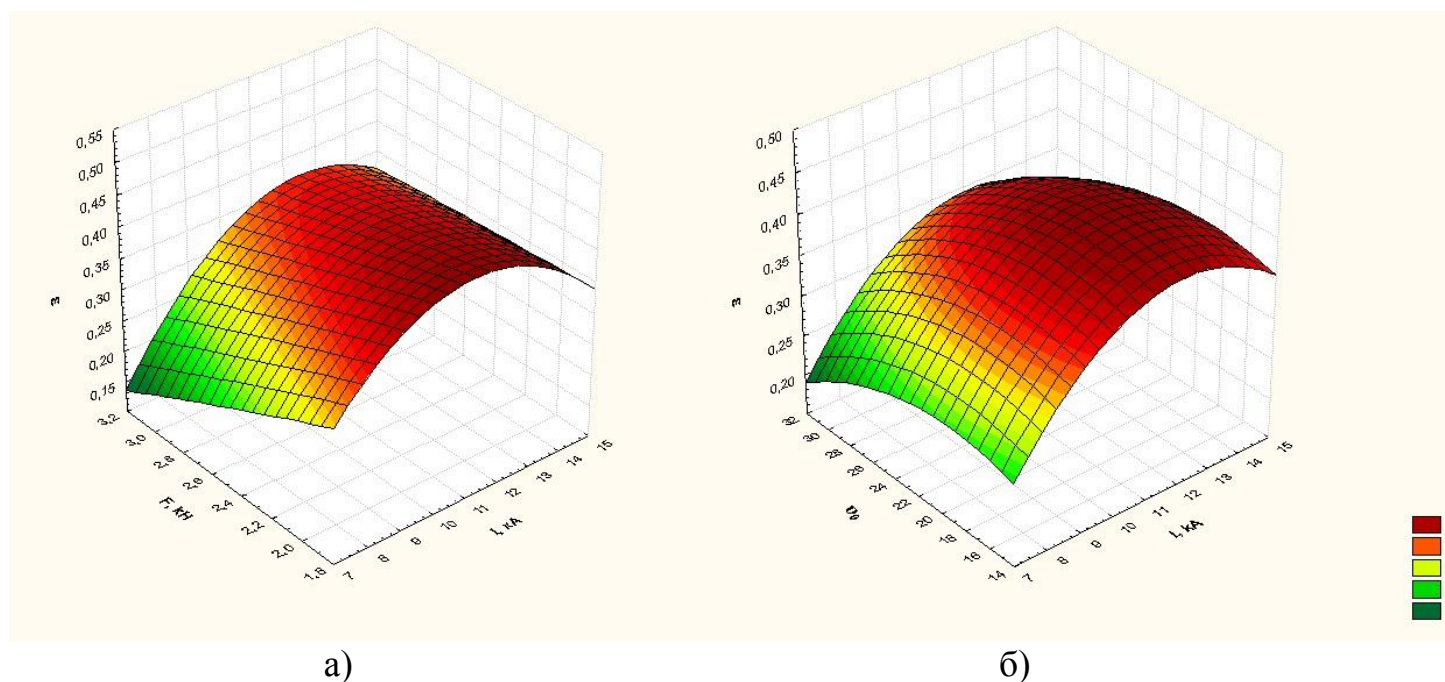
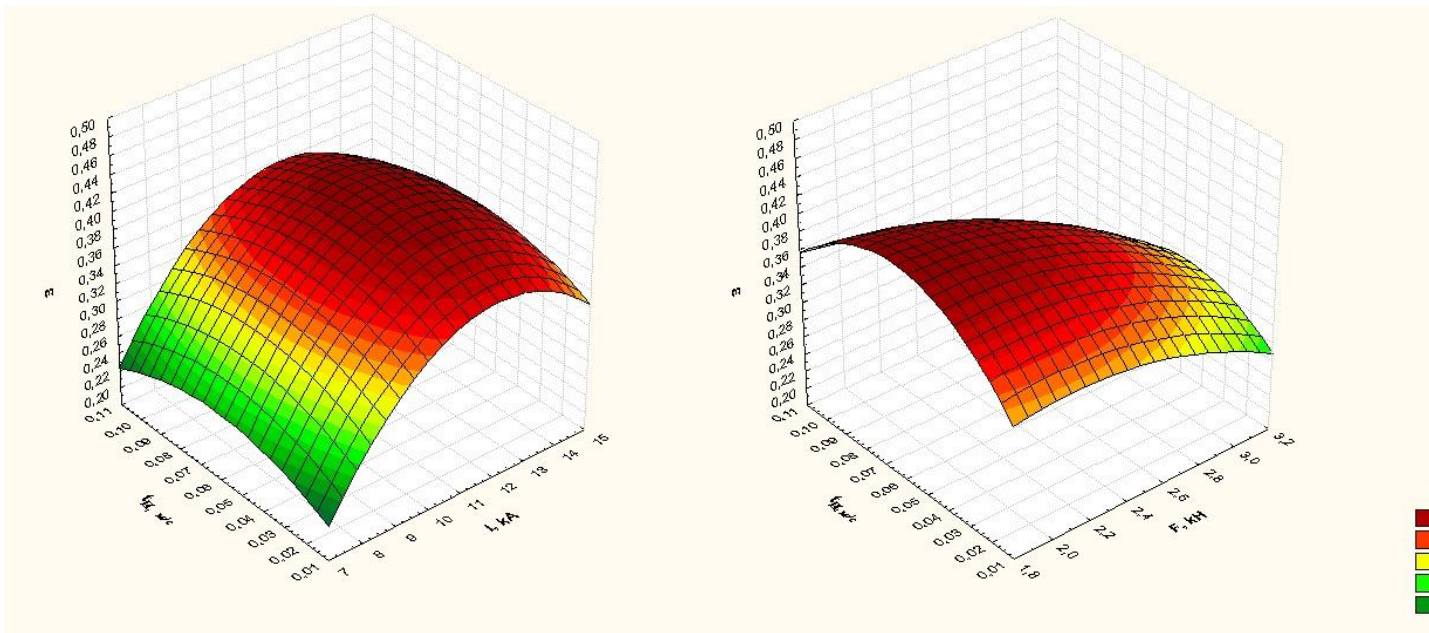


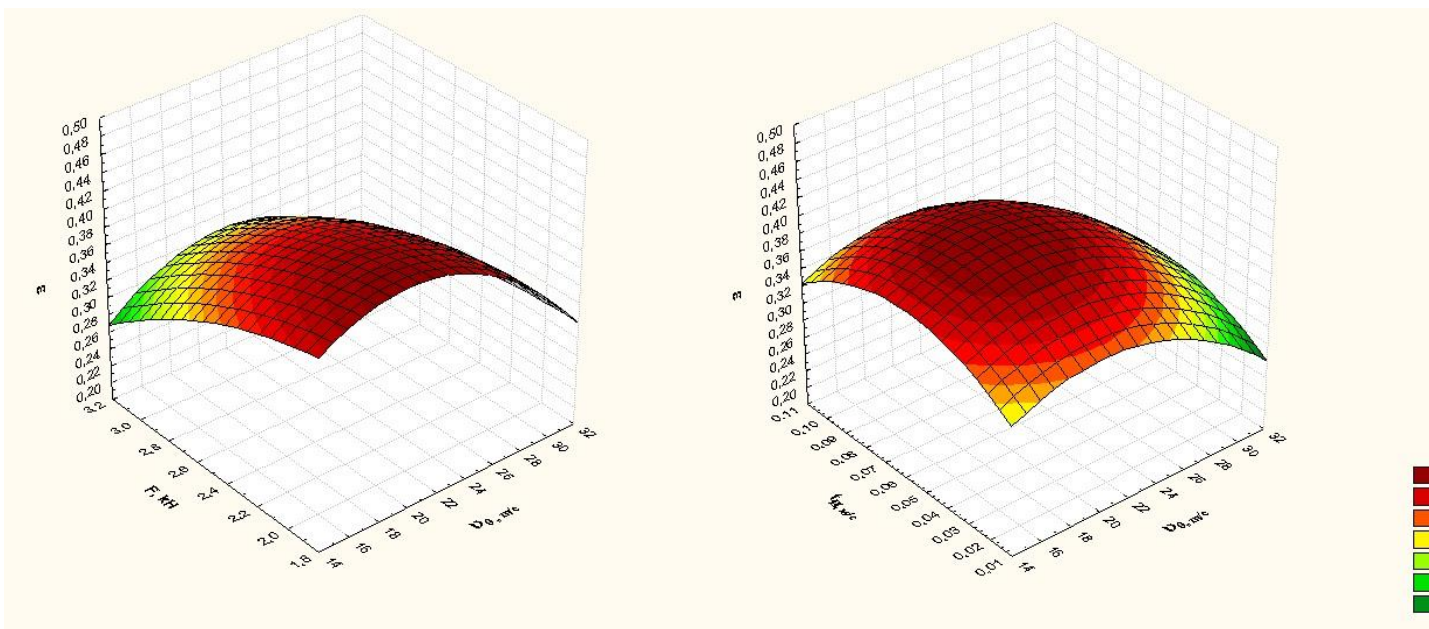
Рисунок 4 - Влияние факторов режима ЭКПП на относительное удлинение присадочных проволок: а -  $I$  и  $F$ ; б -  $I$  и  $\nu_o$

Установлены также оптимальные для условий ЭКПП плотность линий тока  $i = 300...320$  А/мм<sup>2</sup>, давление по контактной площадке  $p = \sigma_r = 46...48$  МПа, коэффициент перекрытия зон формирования сварного соединения в пределах контактных площадок  $K_y = 0,02...0,04$ . Эти относительные параметры необходимы для выбора рациональных режимов ЭКПП валов различного диаметра с различными износами их рабочих поверхностей.



а)

б)



в)

г)

Рисунок 5 - Влияние факторов режима ЭКПП на относительное удлинение присадочных проволок: а)  $I$  и  $t_{н}$ ; б)  $F$  и  $t_{н}$ ; в)  $v_o$  и  $F$ ; г)  $v_o$  и  $t_{н}$

Металлографическими исследованиями установлено, что при рекомендуемом технологическом процессе восстановления на найденных рациональных режимах формируется качественное сплошное бездефектное металлопокрытие. Из-за меньшего числа стыков смежных сварных валиков и, соответственно, уменьшения количества зон отпуска, формируется более твердое, износостойкое, структурно однородное металлопокрытие по сравнению с традиционной однопроволочной приваркой. При приварке двух проволок ПК-2 средняя твердость наплавленного слоя выше на 3...4 единицы НРС, коэффициент вариации замеров твердости от среднего значения, харак-

теризующий степень структурной неоднородности, уменьшается с 0,075...0,085 до 0,045...0,055.

Из-за большей твердости износостойкость металлопокрытия превышает на 10...12% показатель для ЭКПП одной проволоки. В таблице 1 для сравнения приведены данные по износостойкости покрытий при различных способах восстановления.

Таблица 1 - Коэффициенты износостойкости образцов, наваренных электроконтактными способами

Способ ЭКП	$K_{II} = \frac{I_{\Sigma}}{I}$
Сталь 45, закаленная т.в.ч. (эталон)	1,00
ЭКПП, сталь 30ХГСА, проволока 30ХГСА	1,22...1,27
ЭКПП, сталь 45, проволока ПК-2	1,45...1,49
ЭКПП, сталь 45, две проволоки ПК-2	1,51...1,54
ЭКП, сталь 45, порошок ФБХ-6-2	1,25...1,35
ЭКП, сталь 12Х18Н10Т, лента 12Х8Н10Т	1,30...1,40
ЭКП, сталь 20Х13, лента 20Х13	1,20...1,25
ЭКП, сталь 12Х13, лента 12Х13	1,25...1,30
Вибродуговая наплавка проволокой ПК-2 с одновременной ГМО	1,50...1,60
I <sub>Σ</sub> -износ эталонного образца; I- износ испытуемого образца	

Из таблицы 2 видно, ЭКПП является одним из немногих способов восстановления является, при котором в металлопокрытии формируются небольшие сжимающие остаточные напряжения. Термомеханическое воздействие со стороны ролика-электрода полностью снимает образующиеся при остывании детали термические напряжения.

Таблица 2 - Остаточные напряжения на поверхностях деталей, восстановленных различными способами

Материал		Остаточные напряжения (средние значения)	
Основа	Покрытие	$\sigma_z / \sigma_T$	$\sigma_{\theta} / \sigma_T$
Сталь 45	Одна проволока ПК-2	-0,07	-0,09
Сталь 45	Две проволоки ПК-2	-0,03	0,04
Сталь 45	Сталь 45 (лента)	0,88	0,87
Сталь 20Х13	Сталь 20Х13 (лента)	0,72	0,64
Сталь 12Х18Н10Т	Сталь 12Х18Н10Т (лента)	0,78	0,62
Сталь 45	ПР-Х11Г4СР (порошок + металлическая лента)	0,67	0,68
Сталь 45	СЧ-18 (порошок)	0,92	0,88
ВЧ 60	ПЖ-2	0,14	0,49

Площадка контакта при ЭКПП двух проволок больше, чем при однопроволочной приварке, что благоприятно сказывается на износостойкости инструмента – она выше на 20...25%.

Проведенные в проведены в ОАО «Газ-Сервис» «Уфагаз» эксплуатационные испытания деталей Вал вторичный КПП ГАЗ-33104 автомобилями ПАЗ-3205 позволили сделать окончательное заключение о работоспособности валов, восстановленных ЭКПП.

**В пятой главе** «Рекомендации по разработке технологических процессов восстановления изношенных валов ЭКПП» составлены рекомендации по разработке технологических процессов восстановления валов ЭКПП.

Рассматриваемый технологию мы рекомендуем для восстановления широкой номенклатуры деталей, работающих не только на износ, но и при знакопеременных нагрузках. Способ на 10...15% снижает усталостную прочность восстановленных валов, поэтому его применение без дополнительных упрочняющих операций для реставрации тяжело нагруженных коленчатых валов нецелесообразно. Металлопокрытие плохо приваривается к цилиндрическим поверхностям больших диаметров (более 100...120 мм) из-за ухудшения условий деформации присадочных проволок. Технологический процесс осуществляется на установках конструкции ГОСНИТИ 011-1-02, 011-1-02Н, 0114-1-07 и др.

Химический состав присадочных проволок не должен сильно отличаться от химического состава металла детали, или быть к нему близким. В большинстве случаев валы сельскохозяйственной техники изготавливаются из конструкционных сталей. При восстановлении таких деталей применяют присадочные проволоки из углеродистых сталей марок Нп-50, Нп-65, Нп-80 ГОСТ 10543-98. Пружинная проволока ПК-2 ГОСТ 9389-75, химический состав которой соответствует сталям 65 или 65Г, наиболее доступная и недорогая. Для восстановления деталей из легированных сталей необходимо применять проволоки сходного химического состава, такие, как 40Х, 50ХФА, 30ХГСА и др.

Толщина металлопокрытия при приварке проволок диаметром 1,8 мм составляет 0,44...0,71 мм, после шлифовки остается 0,25...0,45 мм на сторону, что достаточно для восстановления большинства валов сельскохозяйственного назначения. При больших износах рабочих поверхностей можно применять проволоки большего диаметра или производить многослойную приварку.

Последующая механическая обработка наваренных поверхностей затруднений не вызывает.

На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработана методика и определены рациональные режимы ЭКПП одновременно двух проволок по предлагаемой технологической схеме. Методикой предусмотрена следующая последовательность.

1. Исходя из износа вала и его химического состава выбираются диаметр и марка присадочной проволоки.

2. Выбирается эффективное значение тока наплавки как произведение плотности линий тока  $i$  на площадь контакта  $A$ , соответствующую максимальной прочности сварного соединения.

3. По характеристике присадочного металла  $\sigma_T$  – предела текучести и площади контакта определяется усилие  $F$  на ролике-электроде.

4. Найденные оптимальные значения длительностей импульсов тока и пауз между ними соответственно равны 0,06 и 0,08 с.

5. Скорость наплавки и шаг наплавки по винтовой линии выбираются из условия формирования на изношенной поверхности сплошного металлопокрытия без непроваров и зазоров в стыках смежных валиков.

Расчеты по определению режимов облегчаются при расчете с помощью компьютерных программ.

При приварке вал целесообразно охлаждать водой с расходом 2...3 л/мин.

В диссертации приводится ряд новых рекомендаций по совершенствованию технологии и оборудования ЭКПП. На технические решения составлены заявки на изобретения, получено 2 патента РФ.

Определено, что себестоимость восстановления валов не превышает 30...50% стоимости новых деталей.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Предложена новая технологическая схема и разработана технология восстановления изношенных валов сельскохозяйственной техники ЭКПП одновременно двух присадочных проволок одним инструментом – роликом-электродом, что обеспечивает повышение эффективности и качества восстановления валов сельскохозяйственного назначения.

2. Определены основные закономерности формирования сварного соединения. Составлена расчетная схема и по ней установлено, что присадочный металл образует с цилиндрическими поверхностями вала и ролика-электрода две перекрывающиеся друг друга по ширине на 12...14% полуэллипсовидной формы контактные площадки. Выполнено решение задачи по определению геометрических размеров контактов.

Сформулировано обязательное условие образования сварного соединения металлопокрытия с основным металлом вала, как относительное движение присадочного металла по наплавляемой поверхности, происходящее в той зоне контактных площадок, где действующие на присадку напряжения не меньше его характеристики – предела текучести при данной температуре нагрева. Разработан метод расчета размеров зоны образования сварного соединения в пределах контактных площадок при рассматриваемом технологическом процессе ЭКПП.



Составлена схема на рисунке 3 и установлено, что для формирования сплошного металлопокрытия без непроваров участки контактных площадок, где образуется сварное соединение, должны перекрывать друг друга на оптимальную величину, как по длине, так и по ширине таких зон. При приварке углеродистых присадок оптимальные перекрытия зон формирования сварного соединения составляют соответственно 2...5 и 10...15%.

3. В соответствии с разработанной методологией выбора рациональных режимов ЭКПП эффективное значение сварочного тока определяется как произведение плотности линий тока на площадь контакта, усилие на ролике электроде соответствует характеристике присадочного материала – предела его текучести при данной температуре. Экспериментально найденные значения этих характеристик составляют 300...320 А/мм<sup>2</sup> и 45...48 МПа. Скорость и шаг наплавки по винтовой линии выбираются из условия формирования сплошного металлопокрытия без непроваров. Найденны оптимальные значения длительностей импульсов тока и пауз, составляющие соответственно 0,06 и 0,08 с. Расчеты облегчаются при применении разработанной нами компьютерной программы.

4. Металлографическими исследованиями установлено, что при найденных оптимальных режимах ЭКПП формируется качественное бездефектное металлопокрытие. Выявлено, что при ЭКПП двух проволок из-за меньшего числа стыков смежных сварных валиков и, соответственно, уменьшения количества зон отпуска, формируется более твердое, износостойкое, структурно однородное металлопокрытие по сравнению с традиционно применяемыми технологиями. При этом средняя твердость наплавленного слоя выше на 3...4 единицы НРС, коэффициент вариации замеров твердости от среднего значения, характеризующий степень структурной неоднородности, уменьшается с 0,75...0,85 до 0,045...0,055, износостойкость покрытия на 10...12% выше значения для ЭКПП одной проволокой.

Установлено, что при ЭКПП двух проволок износостойкость роликов-электродов увеличивается на 25...30 % по сравнению с технологическим процессом, осуществляемым по основной технологической схеме. Меньшая скорость роста кольцевой канавки износа объясняется большими размерами контактных площадок при формировании сдвоенного сварного шва.

В результате термомеханического воздействия на присадочный металл в покрытии формируются незначительные по величине, но благоприятные по направлению сжимающие остаточные напряжения.

5. Подтверждена эксплуатационными испытаниями восстановленных деталей автомобилей их высокая работоспособность и надежность. Долговечность деталей, восстановленных по разработанной технологии, не ниже долговечности новых. Разработанные технологические процессы восстановления изношенных валов автомобилей внедрены в автотранспортном предприятии ОПАТП филиал ГУП «Башавтотранс» Республики Башкортостан

в городе Октябрьский с годовым экономическим эффектом 28...30 тыс. рублей. Результаты проведенных исследований (расчетные зависимости, расчетная модель и установленные закономерности формирования сварного соединения, методика выбора рациональных режимов ЭКПП) используются в учебном процессе в Башкирском ГАУ.

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

#### Статьи в журналах, рекомендуемых ВАК:

1. Зайнуллин А.А. Восстановление малоразмерных изношенных деталей электроконтактной приваркой порошка [Текст] / Р.Н. Сайфуллин, М.З. Нафиков, А.А. Зайнуллин // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2012. – №10. – С. 3-6.

2. Зайнуллин А.А. Геометрия контакта и тепловой баланс при роликовой приварке стальных сеток [Текст] / М.З. Нафиков, Р.Н. Сайфуллин, А.П. Павлов, И.И. Загиров, А.А. Зайнуллин // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2013. – №1. – С. 50-54.

3. Зайнуллин А.А. Геометрия контакта при восстановлении валов приваркой двух стальных проволок [Текст] / М.З. Нафиков, И.И. Загиров, А.А. Зайнуллин // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2013. – №6. – С. 42-47.

4. Зайнуллин А.А. Определение износа инструмента при контактной приварке стальных проволок [Текст] / М.З. Нафиков, И.И. Загиров, А.А. Зайнуллин // Вестник Башкирского государственного аграрного университета – 2013 - №2 – С. 101-103.

5. Зайнуллин А.А. Методология выбора рациональных режимов контактной приварки стальных проволок [Текст] / М.З. Нафиков, И.И. Загиров, А.А. Зайнуллин, Д.М. Нуртдинов // Известия Международной академии аграрного образования. – 2013. – №17. – С. 192-196.

#### Патенты:

6. Патент № 2489241 РФ, МПК В 23 К 11/06 Способ формирования покрытия на поверхности детали электроконтактной приваркой пучка металлических проволок / М.З. Нафиков, А.А. Зайнуллин, Ж.А. Ардеев; заявитель и патентообладатель Башкирский ГАУ.- № 2012126367/02; заявл. 22.06.2021; опубл. 10.08.2013, Бюл. № 22.-4 с.: ил.

7. Патент на полезную модель № 127668 Российская Федерация, МПК В 23 К 11/06 Привод сжатия электроконтактной установки для восстановления деталей [/ А.А. Зайнуллин, Р.Н. Сайфуллин; заявитель и патентообладатель Башкирский ГАУ.- №2012119161/02; заявл. 10.05.2012; опубл. 10.05.2013, Бюл. № 13.-2 С.: ил.

#### Статьи в материалах конференций и других изданиях:

8. Зайнуллин А.А. Технологические схемы восстановления изношенных валов контактной приваркой стальных проволок [Текст] / А.А. Зайнуллин,

М.З. Нафиков // Материалы международной научно-практической конференции в рамках 22 международной специализированной выставки «Агрокомплекс-2012».- Уфа: Башкирский ГАУ. – 2012. – С. 346 -348.

9. Зайнуллин А.А. Определение площади контакта при восстановлении валов приваркой двух стальных проволок [Текст] / А.А. Зайнуллин // Материалы всероссийской научно-практической конференции посвященной, 80-летию со дня рождения профессора А.П. Иофинова. - Уфа: Башкирский ГАУ. – 2012. – С. 116-120.

10. Зайнуллин А.А. К вопросу выбора технологической схемы электроконтактной приварки проволоки [Текст] / М.З. Нафиков, А.А. Зайнуллин, Д.М. Нуртдинов // Ремонт. Восстановление. Реновация. Материалы 4 международной научно-практической конференции. - Уфа: Башкирский ГАУ. -2013. -С. 99-104.

11 Зайнуллин А.А. Определение параметров контактной приварки проволокой / А.А. Зайнуллин // Материалы международной научно-практической конференции «Достижение науки – агропромышленному производству».- Челябинск: ЧГАА. -2013. -С. 109-114.

12 Зайнуллин А.А. Исследование структуры металлопокрытий, сформированных контактной приваркой проволок [Текст] / М.З. Нафиков, А.А. Зайнуллин, И.И. Загиров // Материалы всероссийской научно-практической конференции «Фундаментальные основы научно-технической и технологической модернизации АПК». - Уфа: Башкирский ГАУ. – 2013. – С. 217-223.