

На правах рукописи



ГОЛУБИНА Светлана Александровна

**ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ОТВАЛОВ ПЛУГОВ
ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКОЙ ВИБРОДУГОВОЙ НАПЛАВКОЙ**

05.20.03 – Технологии и средства технического обслуживания
в сельском хозяйстве

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Калуга – 2017

Работа выполнена на кафедре автомобиле- и тракторостроения Калужского филиала федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана).

Научный руководитель доктор технических наук, доцент
Булычев Всеволод Валериевич

Официальные оппоненты: **Кадырметов Анвар Минирович**, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», профессор кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин

Козарез Ирина Владимировна, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет», заведующая кафедрой технологии материалов, надежности, ремонта машин и оборудования

Ведущая организация ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»

Защита состоится 8 июня 2017 г. в 14 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 220.010.04, созданного на базе Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I (Воронежского ГАУ), по адресу: 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 13, учебный корпус агроинженерного факультета (корпус № 3), аудитория 319.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Воронежского ГАУ и на сайте www.vsau.ru («Информация о деятельности диссертационных советов» – «Защиты» – «Д 220.010.04»), а также по ссылке: <http://ds.vsau.ru/?p=4554>.

Автореферат разослан 7 апреля 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Афоничев Дмитрий Николаевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Плоскости и кромки отвалов плугов подвергаются в процессе эксплуатации неравномерному абразивному изнашиванию, что вызывает целесообразность дополнительного упрочнения наиболее нагруженных зон. В качестве критерия технической оптимальности применяемой технологии упрочнения целесообразно принять обеспечение равной интенсивности изнашивания всей рабочей поверхности отвала. Такой подход позволяет, с одной стороны, минимизировать площадь зон, подвергаемых упрочнению, а с другой стороны, исключить дополнительные затраты на формирование упрочненных слоев с избыточной износостойкостью.

Одним из эффективных способов повышения износостойкости деталей плугов является дуговая наплавка неперекрывающимися валиками. При наплавке тонколистовых деталей, к которым относятся отвалы плугов, с целью снижения тепловложения в основной металл, предотвращения сварочных деформаций и прожогов кромок целесообразно применение вибродуговой наплавки в струях воды. Однако сложная геометрия отвалов затрудняет их механизированную наплавку, а существующие конструкции вибродуговых головок исключают возможность ручного манипулирования сварочной горелкой. Это вызывает необходимость разработки способа и технологического оборудования для полуавтоматической вибродуговой наплавки.

На основании вышеизложенного, разработка технологии упрочнения отвалов плугов полуавтоматической вибродуговой наплавкой является актуальной задачей.

Степень разработанности темы. Аналитический обзор материалов по тематике исследований произведен на основе работ следующих ученых: Бернштейна Д.Б., Голубева И.Г., Ерохина М.Н., Михальченкова А.М., Новикова В.С., Огрызкова Е.П., Рабиновича А.Ш., Севернева М.М., Сидорова С.А., Тененбаума М.М., Ткачева В.Н. и других.

Изучение и анализ разработанных технико-технологических и конструктивных решений, направленных на повышение износостойкости отвалов плугов, показывает, что есть необходимость и возможность дальнейшего совершенствования способов их упрочнения на основе разработки процесса для полуавтоматической вибродуговой наплавки и соответствующего оборудования.

Работа выполнена в соответствии с планом научно-исследовательских работ на кафедре «Агропромышленная инженерная» (с 2010 года переименована в «Автомобиле- и тракторостроение») Калужского филиала ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана».

Цель и задачи исследования. Целью исследования является повышение эффективности поверхностного упрочнения отвалов плугов путем полуавтоматической вибродуговой наплавки наиболее нагруженных зон и повышения равномерности изнашивания рабочей поверхности отвала.

В соответствии с целью исследований предусмотрено решение следующих задач:

- разработать методику определения зон рабочей поверхности отвала, требующих упрочнения;
- разработать подающий механизм и способ полуавтоматической вибродуговой наплавки и исследовать влияние режимов полуавтоматической вибродуговой наплавки на формирование валиков наплавленного металла;
- исследовать влияние схемы наложения валиков на износостойкость отвалов плугов;
- разработать технологические рекомендации по упрочнению отвалов плугов полуавтоматической вибродуговой наплавкой, результаты исследований довести до практического применения.

Объект исследования – отвалы корпусов плугов и технология их упрочнения полуавтоматической вибродуговой наплавкой.

Предмет исследования – закономерности формирования равной износостойкости поверхности отвалов корпусов плугов при упрочнении полуавтоматической вибродуговой наплавкой.

Научную новизну составляют:

- методика и аналитические зависимости для определения зон преимущественного упрочнения отвала плуга и схем наплавки, отличающиеся учетом неравномерности изнашивания неупрочненного отвала плуга посредством предложенного коэффициента локальной интенсивности изнашивания;
- аналитические зависимости, позволяющие выполнить расчетную оценку относительной износостойкости поверхности, упрочненной непрерывными наплавленными валиками и точками, отличающиеся совместным учетом влияния площадей упрочненных, отпущенных в зонах термического влияния и неупрочненных поверхностей;
- теоретически обоснованы конструктивные особенности оригинального устройства для подачи электродной проволоки, отличающиеся возвратно-поступательными колебаниями торца сварочной проволоки при ее поперечном изгибе в механизме подачи с целью реализации вибродугового процесса в полуавтоматическом режиме;
- технология полуавтоматической вибродуговой наплавки тонкостенных деталей, отличающаяся уменьшением термического влияния на основной металл отвалов плугов, предотвращением прожогов на кромках отвала, выравниванием интенсивности изнашивания его рабочих поверхностей.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическое значение результатов исследований заключается в выявлении влияния зон упрочнения и схем вибродуговой полуавтоматической наплавки на особенности изнашивания рабочих поверхностей отвалов плугов, а также в выявлении влияния конструктивных особенностей разработанного механизма подачи сварочной проволоки на параметры возвратно-поступательного колебания ее торца. Практическая значимость работы заключается в разработке методики определения зон преимущественного упрочнения отвала на ос-

нове предложенного коэффициента локальной интенсивности изнашивания, а также в разработке подающего механизма, позволяющего реализовать процесс вибродуговой наплавки в полуавтоматическом режиме (Патент РФ № 2301728). Применение данного технологического процесса и разработанного сварочного оборудования позволяет повысить износостойкость и долговечность отвалов плугов при одновременном снижении трудовых и материальных затрат по сравнению с известными способами упрочнения ручной дуговой наплавкой перекрывающимися валиками.

Методология и методы исследования. Основные задачи работы решались на основе сочетания теоретических и экспериментальных методов исследования.

Математическое моделирование температурных полей и ширины зоны разупрочнения при полуавтоматической вибродуговой наплавке осуществляли на основе аналитических решений дифференциального уравнения теплопроводности. Математическое моделирование импульсной подачи сварочной проволоки посредством разработанного механизма осуществляли на основе применения положений теоретической механики и сопротивления материалов. Экспериментальное исследование процесса полуавтоматической вибродуговой наплавки проводили с помощью разработанного механизма подачи электродной проволоки. Замеры износов отвалов проводили разработанным приспособлением с микрометрической головкой. Износостойкость упрочненных отвалов исследовали в ходе производственных испытаний в хозяйствах Калужской области.

Положения, выносимые на защиту:

– методика выявления зон преимущественного упрочнения, позволяющая повысить равномерность изнашивания рабочей поверхности отвала плуга и за счет этого увеличить его износостойкость и долговечность при одновременном снижении материальных и трудовых затрат;

– математическая модель температурных полей при вибродуговой наплавке, позволяющая определить влияние частоты возвратно-поступательной вибрации торца проволоки и условий охлаждения на формирование упрочненных и отпущенных зон в тонкостенных деталях с последующей оценкой относительной износостойкости упрочненной поверхности;

– кинематическая схема разработанного механизма и особенности импульсной подачи присадочной проволоки, позволяющие выполнить конструкторскую разработку механизма подачи для полуавтоматической вибродуговой наплавки;

– разработанная технология полуавтоматической вибродуговой наплавки отвалов плугов, позволяющая повысить износостойкость рабочих поверхностей отвалов за счет более равномерного их изнашивания.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность основных положений работы подтверждена сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований и положительными результатами производственных испытаний.

Основные положения работы и результаты исследований по теме диссертационной работы были доложены, обсуждены и одобрены на международных, всероссийских, региональных и вузовских научно-технических конференциях: «Наукоемкие технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе» (г. Москва, 2008-2016 г.г.), «Прогрессивные технологии, конструкции и системы в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе» (г. Калуга, 2003-2007 г.г.); на 8-й международной конференции «Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования инструмента и технологической оснастки» (2006 г., г. Санкт-Петербург), «Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук» (г. Калуга, 2016). Разработка представлялась на 5-й Всероссийской выставке научно-технического творчества молодежи (2005 г.) (ВВЦ, г. Москва), удостоена бронзовых медалей на VI и VII Московских международных салонах инноваций и инвестиций (2006-2007 г.г., ВВЦ, г. Москва).

Результаты проведенных исследований внедрены в ООО «Технамет» (г. Калуга), в сельхозартели «Колхоз «Маяк»» Перемышльского района Калужской области, в ГП «Калужская машинно-технологическая станция». Результаты диссертационной работы используются в учебном процессе кафедры автомобиле- и тракторостроения Калужского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана при подготовке специалистов по специальности 23.05.01 и Брянского ГАУ при подготовке бакалавров по направлению 35.03.06.

Личный вклад автора.

Автор принимала непосредственное участие на всех этапах исследования, включая: постановку проблемы; разработку программы исследований; сбор и обработку необходимых исходных данных; проведение теоретических исследований; производственных испытаний в ГП «Калужская машинно-технологическая станция», в ООО «Технамет», а также в сельхозартели «Колхоз «Маяк» Перемышльского района Калужской области; обработку полученных экспериментальных данных; апробацию результатов исследования на международных, всероссийских, региональных и вузовских научно-практических конференциях в 2003–2016 годах; подготовке публикаций и патента.

Публикации. По результатам диссертации получен один патент, опубликовано 25 научных статей, в том числе четыре – в изданиях, включенных в перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы, включающего 174 наименования, семи приложений. Объем диссертации составляет 138 страниц машинописного текста.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении проанализированы производственно-технологические предпосылки к научному исследованию по теме диссертации. Изучена и обоснована актуальность темы, сформулированы цель работы, объект и предмет исследований, а также научная новизна, публикации и структура диссертации. Представлены основные положения работы, выносимые на защиту.

В первой главе «Состояние вопроса. Методы повышения износостойкости отвалов плугов» с учетом конструктивных особенностей изнашиваемых деталей проведен анализ возможных технологий их упрочнения. Увеличению износостойкости рабочих органов почвообрабатывающих машин посвящено большое количество исследований, изложенных в работах Бернштейна Д.Б., Голубева И.Г., Ерохина М.Н., Латыпова Р.А., Михальченко А.М., Новикова В.С., Огрызкова Е.П., Рабиновича А.Ш., Севернова М.М., Сидорова С.А., Тененбаума М.М., Ткачева В.Н. и других. Основными способами упрочнения рабочих органов сельскохозяйственных машин, таких как лемехи, долота, культиваторы и др., являются ручная дуговая и газовая наплавка, наплавка ТВЧ, науглероживание, постановка твердосплавных пластин. Для упрочнения отвалов плугов известны такие технологии, как ручная дуговая наплавка, сплошная либо в виде сетки, установка керамических пластин, нанесение композиционных материалов. Однако, рекомендации по практическому использованию этих способов малочисленны. Как показал литературный обзор и предварительный осмотр изношенных отвалов, их рабочая поверхность изнашивается крайне неравномерно. В связи с этим в качестве критерия технической оптимальности применяемой технологии упрочнения целесообразно принять обеспечение равной износостойкости всей рабочей поверхности отвала. Такой подход позволяет, с одной стороны, минимизировать площадь зон, подвергаемых упрочнению, а с другой стороны, исключить избыточные затраты на формирование упрочненных слоев с избыточной износостойкостью.

Учитывая сложную конфигурацию отвалов, наиболее приемлемым способом упрочнения представляется дуговая наплавка перекрывающимися валиками. Износостойкость упрочненной поверхности может легко регулироваться изменением расстояния между соседними валиками. Однако, как показали предварительные эксперименты, широко применяемая ручная дуговая наплавка из-за малой толщины отвалов (5...7 мм), вызывает их значительный нагрев, коробление, формирование широких зон отпуска. Наплавка кромок затруднена их прожогом.

В связи с этим, для упрочнения отвалов целесообразно применять способ наплавки с минимальным тепловложением в основной металл. Одним из таких способов является вибродуговая наплавка в струях воды. Периодическое замыкание торца проволоки о деталь повышает стабильность горения дуги, что позволяет вести процесс на пониженных сварочных токах,

подавать в зону наплавки охлаждающую воду. Однако из-за сложной геометрии отвалов механизировать процесс наплавки затруднительно, а существующие конструкции вибродуговых головок исключают возможность ручного манипулирования. Это вызывает необходимость разработки технологического оборудования для полуавтоматической вибродуговой наплавки.

Во второй главе «Теоретические предпосылки повышения износостойкости отвалов плугов полуавтоматической вибродуговой наплавкой» рассмотрены вопросы рационального выбора зон упрочнения, прогнозирования износостойкости упрочненных поверхностей, технологические особенности процесса вибродуговой наплавки тонкостенных деталей.

Определение зон упрочнения предложено выполнять на основе замеров износов бывшего в эксплуатации отвала и последующего расчета предложенного коэффициента локальной интенсивности изнашивания

$$k_u = \frac{I_i}{I_{cp}}, \quad (1)$$

где I_i – износ отвала в i -ой точке замера;
 I_{cp} – средний износ всей поверхности отвала.

Значение I_{cp} предложено рассчитывать по выражению

$$I_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^N I_i}{N}, \quad (2)$$

где N – количество точек замера.

Физический смысл предложенного коэффициента состоит в том, что в целях обеспечения равной износостойкости всей детали упрочнять следует зоны, для которых $k_u > 1$, т.е. интенсивность изнашивания превышает среднюю.

Повышение износостойкости упрочняемой зоны поверхности должно быть пропорционально интенсивности изнашивания базовой поверхности в этой зоне

$$U_{унр} \approx k_u U_0 \quad (3)$$

Получена зависимость (4), которая позволяет сформулировать основные требования к технологии упрочнения (твердость наплавленного металла, долю наплавленной поверхности, расстояние между швами, величину разупрочнения основного металла в ЗТВ и др.) необходимые для обеспечения заданного k_u

$$k_u = k_{мехн} (\eta_0 + U_n \eta_n + U_{ЗТВ} \eta_{ЗТВ}), \quad (4)$$

где $U_n, U_{ЗТВ}$ – относительные износостойкости наплавленного металла ($U_n > 1$) и частично отпущенного основного металла в околошовной зоне ($U_{ЗТВ} < 1$);

$\eta_0, \eta_n, \eta_{ЗТВ}$ – износостойкости и доли площади поверхности отвала не подвергнутого изменениям структуры, подвергнутого наплавке и подвергнутого частичному разупрочнению в околошовной зоне соответственно;

$k_{техн}$ – коэффициент, учитывающий влияние на износостойкость упрочненной поверхности других показателей технологии наплавки, таких как схема наложения сварных швов, высота валиков наплавленного металла и т.д. ($k_{техн} = 1 \dots 1,5$).

Для анализа технологических особенностей процесса вибродуговой наплавки, расчетной оценки размеров и ширины зон разупрочнения выполнено математическое моделирование температурных полей. Для случая наплавки тонкостенной детали при схематизации теплового источника, как линейного, использовали следующие выражения

$$T(x, y, t) = T_n + T_q + T_\phi, \quad (5)$$

$$T_q = \int_0^t \frac{2q(t)}{4\pi c \rho \delta a (t-t')} \exp\left(\frac{(x-vt')^2 + y^2}{4a(t-t')} - b(t-t')\right) dt', \quad (6)$$

$$T_\phi = \int_0^t \frac{2q(t)}{4\pi c \rho \delta a (t-t')} \exp\left(\frac{(x-vt')^2 + (2L+y)^2}{4a(t-t')} - b(t-t')\right) dt' \quad (7)$$

где T_n – начальная температура;

T_q – температура от теплового источника,

T_ϕ – температура от фиктивного теплового источника;

$q(t)$ – мощность теплового источника;

$c\rho$ – удельная теплоемкость;

a – коэффициент температуропроводности;

δ – толщина пластины;

v – скорость движения источника;

b – коэффициент теплоотдачи;

L – расстояние от теплового источника до кромки детали;

t – время;

x, y – координаты.

Периодические замыкания электродной проволоки о поверхность детали при вибродуговой наплавке приводят к дискретному действию теплового источника $q(t)$. Для задания изменения мощности теплового источника по времени применили функциональную зависимость вида

$$q(t) = IU \mu \cdot S(t) \quad (8)$$

где I – сила тока дуги;

U – напряжение дуги;

μ – термический КПД;

$S(t)$ – функция, принимающая значения 1 или 0 в зависимости от текущего значения времени.

Расчеты сварочных циклов точек основного металла показали, что при силе тока от 100 до 200 А пульсирование теплового источника с частотой более 10 Гц оказывает слабое влияние на распределение температурных полей в тонкостенных деталях. Поэтому дальнейшие расчеты проводили при постоянном среднем значении тока наплавки. Как при наплавке плоскости, так и кромки даже небольшое увеличение коэффициента поверхностной теплоотдачи α до 0,1 (Вт/см²К) приводит к более чем 2-х кратному уменьшению ширины зоны термического влияния. Особенно важно это при наплавке кромок, когда без охлаждения зона термического влияния почти в 2 раза больше, чем на плоскости. Величину разупрочнения при нагреве основного металла ниже температур аустенитного превращения оценивали по зависимости Холомона-Джейфа. Расчеты показали, что снижение силы тока с 200 до 100 А и увеличение коэффициента поверхностной теплоотдачи α до 0,1 (Вт/см² К) позволяют снизить величину разупрочнения с 10 до 3...6 НРС. Ширина зоны отпуска не превышает при этом 2 мм. Таким образом, проведенные расчеты свидетельствуют о перспективности применения процесса вибродуговой наплавки в воде для упрочнения тонкостенных деталей.

Третья глава «Разработка способа и оборудования для полуавтоматической вибродуговой наплавки» посвящена разработке и расчету оборудования для реализации возвратно-поступательных колебаний торца присадочной проволоки при ее подаче, исследованию особенностей импульсной подачи присадочной проволоки в зависимости от геометрических параметров канала подачи сварочного полуавтомата.

Для реализации процесса полуавтоматической вибродуговой наплавки был разработан подающий механизм (патент РФ №2301728), принцип действия которого пояснен на рисунке 1.

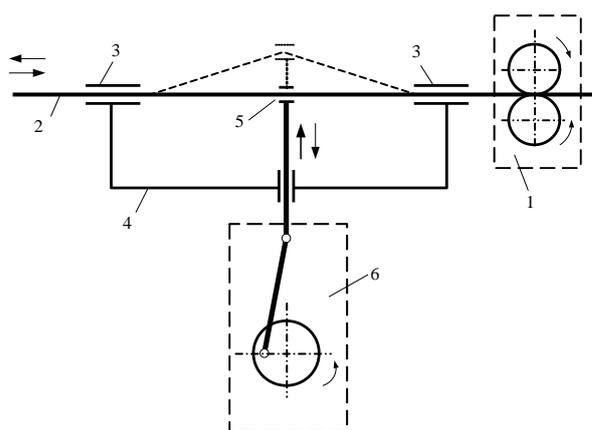


Рисунок 1 – Принципиальная схема механизма подачи проволоки

Устройство состоит из привода 1 подачи электродной проволоки 2 с постоянной скоростью. Проволока 2 пропускается через направляющие 3 корпуса 4 устройства и отверстие штока 5 кривошипно-шатунного механизма 6. Так как один конец проволоки зажат между роликами подающего механизма, то при изгибании проволоки при поперечном движении штока произойдет ее оттягивание от поверхности детали, а при выпрямлении проволоки – ее выталкивание и подача к зоне наплавки.

Для теоретического исследования процесса подачи проволоки с помощью предложенного механизма была составлена расчетная схема, пред-

ставленная на рисунке 2. Из геометрических построений получена зависимость для расчета перемещения штока относительно оси CD

$$b = R \cos(\omega t) + \sqrt{m^2 - (R \sin(\omega t))^2} - (k_1 R + m), \quad (9)$$

$$k_1 = \frac{L_{OA} - m}{R}, \quad (10)$$

где R – радиус кривошипа;

ω – угловая скорость вращения кривошипа;

t – время;

m – длина шатуна;

L_{OA} – расстояние между т. А центра вращения кривошипа и осью CD канала подачи проволоки;

k_1 – коэффициент асимметрии цикла.

Продольные колебания ΔS проволоки на выходе устройства, вызванные ее поперечным изгибом b , в первом приближении могут быть описаны зависимостью:

$$\Delta S = 2\sqrt{b^2 + \left(\frac{S}{2}\right)^2} - S. \quad (11)$$

При проталкивании проволоки к сварочной горелки в канале подачи возникают изгибы проволоки вследствие потери ее устойчивости (рисунок 3).

Перемещение торца проволоки на выходе из сварочной горелки ΔS_m в течение каждого полупериода цикла подачи является суммой продольных перемещений проволоки $\Delta S_m = \Delta S$ на входе канала подачи проволоки и изменения длины проволоки ΔS_k в канале из-за ее изгиба

$$\Delta S_m = \Delta S_m + \Delta S_k. \quad (12)$$

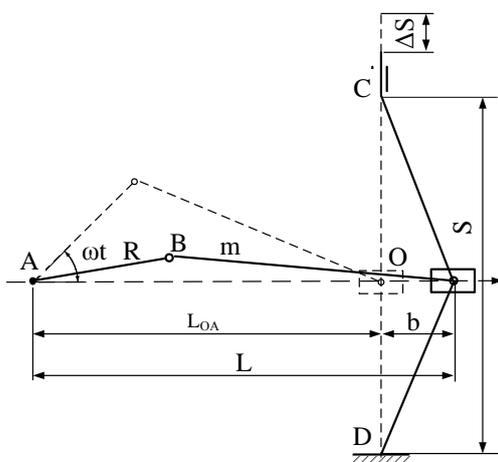


Рисунок 2 – Расчетная схема механизма подачи проволоки

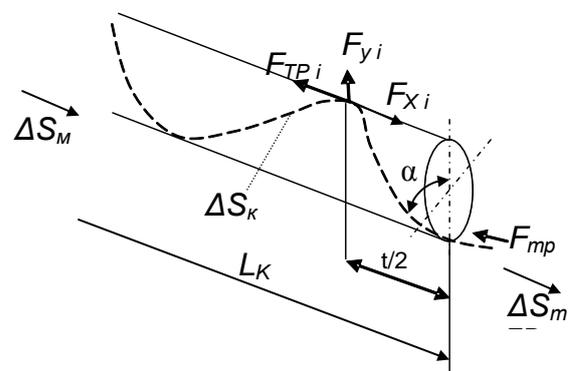


Рисунок 3 – Расчетная схема подачи проволоки по каналу

Для расчета ΔS_{κ} получили выражение

$$\Delta S_{\kappa} = L_{np} - L_{\kappa} = L_{\kappa} \sqrt{\left(D - d_{np}\right)^2 \frac{64F}{\pi d_{np}^4 E} + 1} - L_{\kappa}, \quad (13)$$

где L_{np} , L_{κ} – длина проволоки и длина канала соответственно;

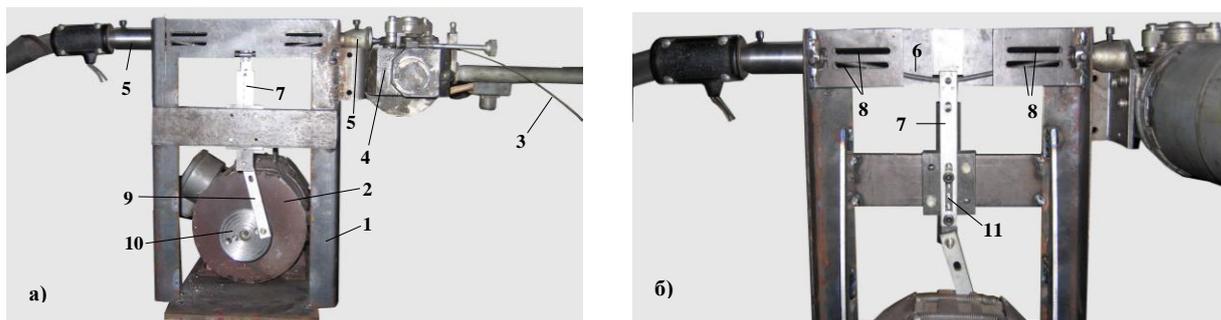
D , d_{np} – диаметры канала и проволоки соответственно;

F – сила проталкивания проволоки;

E – модуль упругости материала проволоки.

Выполненные расчеты показали, что с увеличением силы проталкивания, зазора между проволокой и стенками канала и длины канала происходит увеличение ΔS_{κ} , что может приводить к снижению стабильности горения дуги из-за труднопрогнозируемого закона изменения перемещения торца проволоки. Например, при $d_{np} = 1,6$ мм, $D = 2,5$ мм величина ΔS_{κ} может достигать 4 мм, что является неприемлемым. На основании вышеизложенного длина подающего канала в дальнейших исследованиях была ограничена 1,5 м.

На основе проведенных кинематических расчетов был создан экспериментальный образец механизма подачи присадочной проволоки (рисунок 4).



- 1 – сварная рама; 2 – электродвигатель; 3 – проволока;
 4 – серийный подающий механизм; 5 – направляющие трубки;
 6 – гибкая трубка; 7 – шток кривошипно-шатунного механизма; 8 – прорези корпуса механизма; 9 – ось крепления шатуна; 10 – фланец-кривошип;
 11 – прорези планки штока кривошипно-шатунного механизма

Рисунок 4 – Подающий механизм для полуавтоматической вибродуговой наплавки: а) вид спереди, б) вид сзади

В четвертой главе «Программа и методика экспериментальных исследований упрочнения отвалов плугов полуавтоматической вибродуговой наплавкой» изложены методики экспериментальных исследований по следующим направлениям:

1. Определение зон упрочнения поверхностей отвала плуга на основании замеров отвалов, бывших в эксплуатации, и расчета коэффициента локальной интенсивности изнашивания.
2. Исследование процесса полуавтоматической вибродуговой наплавки.
3. Проведение полевых испытаний отвалов корпусов плугов Gregoire Besson с оценкой интенсивности изнашивания отвалов по различным вариантам наплавки поверхности.

В пятой главе «Результаты экспериментальных исследований упрочнения отвалов плугов полуавтоматической вибродуговой наплавкой» приводятся результаты проведенных экспериментальных исследований.

Исследование процесса вибродуговой полуавтоматической наплавки выявило, что при амплитуде продольных колебаний торца присадочной проволоки более 3 мм возникает трудно контролируемое перемещение сварочной горелки из-за ее отскоков от поверхности детали. Поэтому в дальнейших экспериментах амплитуда продольных колебаний торца проволоки устанавливалась от 1 до 2 мм. Установлено, что без продольных колебаний торца присадочной проволоки снижение силы тока менее 140...150 А приводит к нестабильному горению дуги и ее обрывам. Переход к вибродуговому процессу позволил снизить силу тока до 80...100 А при стабильном формировании валика. Скорость наплавки, определенная из условия стабильного формирования валика наплавленного металла, составила 0,2...0,3 см/с. Ширина шва с уменьшением силы тока снижается с 5...6 до 2...3 мм, что представляется допустимым. Замеры твердости показали снижение ширины зоны разупрочнения с 5 до 2 мм, а также меньшее снижение твердости в этой зоне. Проведенные эксперименты подтвердили результаты математического моделирования.

Полевые испытания упрочненных отвалов проводились во время весенней и осенней вспашки. Общее количество испытанных отвалов – 28 штук.

Для определения зон, требующих упрочнения, были проведены замеры износов толщин отвалов с последующим расчетом коэффициента локальной интенсивности изнашивания k_u . Зонами упрочнения являются области с $k_u > 1$.

По определенным коэффициентам локальной интенсивности изнашивания и проведенной расчетной оценке интенсивности изнашивания упрочненных поверхностей, на рабочей поверхности отвала предложено выделить три зоны с различными схемами упрочнения: при $k_u \geq 2,0$ – наплавка сварными швами, при $1,5 \leq k_u < 2,0$ – наплавка сварными точками с расстояниями между ними 35 мм, при $1,0 < k_u < 1,5$ – наплавка сварными точками с расстояниями между ними 55 мм. Результаты исследований показали снижение коэффициентов локальной интенсивности изнашивания в упрочнен-

ных областях (I, II, III) с одновременным увеличением коэффициента локальной интенсивности изнашивания в неупрочненных областях (IV) (таблица 1).

Таблица 1 – Средние значения коэффициента локальной интенсивности изнашивания в областях отвала корпуса плуга

Коэффициент локальной интенсивности изнашивания	Область отвала				Среднее значение
	I	II	III	IV	
Неупрочненного отвала	2,05	1,68	1,18	0,58	1,37
Упрочненного отвала	1,53	1,37	1,07	0,79	1,19

Коэффициент локальной интенсивности изнашивания приближается к единице по всей поверхности отвала, обеспечивая более равномерную интенсивность изнашивания по всей поверхности и повышение ресурса отвала плуга в 1,4-1,8 раз.

Шестая глава «Производственные рекомендации и экономическая эффективность исследований» посвящена разработке технологических рекомендаций по упрочнению отвалов плугов и определению показателей технико-экономической эффективности.

При разработке технологий упрочнении отвалов наплавкой следует учитывать, что определенные зоны упрочнения действительны для конкретного состава почвы. При изменении состава почвы расположение зон упрочнения следует уточнять экспериментальным путем.

Условие технико-экономической целесообразности упрочнения детали

$$k_n - \zeta_{ЗТВ} (1 - k_{ЗТВ}) - 1 > \frac{SЦ_n}{C_0}, \quad (14)$$

где k_n , $k_{ЗТВ}$ – относительная износостойкость наплавленного металла и разупрочненного металла соответственно;

$\zeta_{ЗТВ}$ – отношение площади разупрочненного металла к площади наплавки;

S – общая площадь детали, подвергаемая упрочнению;

$Ц_n$ – стоимость наплавки единицы площади поверхности детали;

C_0 – стоимость исходной детали.

Упрочненные отвалы плугов и их детали эксплуатировались в течение 2005-2015 г. хозяйствами области, в частности, ГП «Калужская МТС» и в сельскохозяйственной артели «Колхоз «Маяк»». Среднее повышение износостойкости составило 1,4 – 1,8 раз. Экономический эффект составил более 300 тыс. рублей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Плоскости и кромки отвалов плугов подвергаются в процессе эксплуатации неравномерному абразивному изнашиванию, что вызывает целесообразность дополнительного упрочнения наиболее нагруженных зон. Эффективным способом повышения износостойкости деталей плугов является дуговая наплавка перекрывающимися валиками. Для снижения тепловложения в основной металл целесообразно применение вибродуговой наплавки в струях воды.

2. Определение зон поверхности отвала, требующих упрочнения, предложено выполнять по результатам расчетов локального коэффициента интенсивности изнашивания не упрочненного отвала. Коэффициент представляет собой отношение интенсивности изнашивания в точке замера к осредненной по всей поверхности интенсивности изнашивания. Осредненную интенсивность изнашивания следует находить как среднее арифметическую интенсивность по всей поверхности. Физический смысл предложенного коэффициента состоит в том, что в целях обеспечения равной износостойкости всей поверхности отвала упрочнять следует зоны, для которых коэффициент больше 1.

3. Математическое моделирование показало, что при вибродуговой наплавке увеличение коэффициента поверхностной теплоотдачи α до 0,1 (Вт/см² К) приводит к более чем 2-х кратному уменьшению ширины зоны термического влияния. Особенно важно это при наплавке кромок, когда без охлаждения зона термического влияния почти в 2 раза больше, чем при наплавке плоскости. Снижение средней силы тока с 200 до 100 А и повышение α до 0,1 (Вт/см² К) позволяют снизить величину разупрочнения с 10 до 3...6 НРС. Ширина зоны отпуска не превышает при этом 2 мм.

4. Разработан механизм подачи присадочной проволоки для полуавтоматической вибродуговой наплавки (патент РФ на изобретение №2301728), получены кинематические зависимости для его расчета.

5. Показано, что перемещение торца проволоки на выходе из сварочной горелки является суммой продольных перемещений проволоки на входе подающего механизма и изменения длины проволоки в канале подачи проволоки из-за ее изгиба. Предложена математическая модель для описания подачи проволоки к сварочной горелке. На основании проведенных исследований при диаметре проволоки 1,6 мм и диаметре канала 2,5 мм длину подающего канала следует ограничивать 1,5 м.

6. Экспериментально установлено, что при амплитуде продольных колебаний торца присадочной проволоки более 3 мм возникает трудно контролируемое перемещение сварочной горелки из-за ее отскоков от поверхности детали. Поэтому при наплавке амплитуда продольных колебаний торца проволоки должна составлять от 1 до 2 мм. Скорость наплавки, определенная из условия стабильного формирования валика наплавленного металла, составила 0,2...0,3 см/с.

7. Экспериментально установлено, что при наплавке проволокой 65 Г диаметром 1,6 мм, частоте вибраций 10 Гц, амплитуде вибраций 1...2 мм возможно снизить силу сварочного тока до 80...100 А при стабильном формировании валика. При токах 100...150 А ширина шва составила 4...5 мм, твердость наплавленного металла – HRC 55...60. Ширина зоны разупрочнения составила 2...3 мм при твердости HRC 40...45.

8. На основании определения коэффициентов локальной интенсивности изнашивания и расчетной оценки интенсивности изнашивания упрочненных поверхностей, на рабочей поверхности отвала предложено выделить три зоны с различными схемами упрочнения: при $k_u \geq 2,0$ – наплавка сварными швами, при $1,5 \leq k_u < 2,0$ – наплавка сварными точками с расстояниями между ними 35 мм, при $1,0 < k_u < 1,5$ – наплавка сварными точками с расстояниями между ними 55 мм.

9. Разработаны технологические рекомендации по упрочнению отвалов плугов. Упрочненные отвалы и их детали эксплуатировались в течение 2005-2015 г.г. хозяйствами Калужской области, в частности, ГП «Калужская МТС» и сельскохозяйственной артели «Колхоз «Маяк»». Среднее повышение износостойкости составило 1,4-1,8 раза. Показано, что экономическая эффективность упрочнения возрастает со снижением общей площади упрочняемой поверхности, снижением стоимости присадочных материалов, уменьшения разупрочнения основного металла при наплавке. Экономический эффект составил более 300 тыс. руб.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

**Статьи в рецензируемых научных изданиях, в которых должны быть
опубликованы основные научные результаты диссертаций
на соискание ученой степени кандидата наук**

1. Булычев В.В. Совершенствование технологий упрочняющей наплавки деталей плугов на основе применения вибродуговых процессов / В.В. Булычев, А.И. Пономарев, С.А. Голубина // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2010. – №4. – С. 54 – 56.

2. Булычев В.В. Продлим ресурс деталей плугов / В.В. Булычев, В.Н. Сидоров, В.И. Еремеев, С.А. Голубина // Сельский механизатор. – 2011. – №6. – С. 34 – 35.

3. Голубина С.А. Повышение ресурса отвалов плугов полуавтоматической вибродуговой наплавкой // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 5. – С. Режим доступа: URL <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=10596> (дата обращения: 20.06.2016).

4. Голубина С.А. Совершенствование технологий упрочняющей наплавки отвалов плугов на основе расчетной оценки технико-экономической эффективности технологических процессов / С.А. Голубина // Труды ГОСНИТИ. Том 118. – М.: Изд-во ГОСНИТИ, 2015. – С. 187 – 193.

Статьи в других изданиях

5. Голубина С.А. Повышение выносливости деталей после вибродуговой наплавки в воде / С.А. Голубина // Прогрессивные технологии, конструкции и системы в приборо- и машиностроении: Материалы Всероссийской научно-технической конференции 2 – 4 декабря 2003 г., т. 3 – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003. – С. 13 – 14.

6. Голубина С.А. Расчетная оценка влияния импульсной подачи при-сачочной проволоки на производительность наплавки / С.А. Голубина, В.В. Булычев // Математическое моделирование сложных технических систем: Сборник статей. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – С. 83 – 89 (Труды МГТУ №588).

7. Булычев В.В. Устройство импульсной подачи проволоки для дуговой наплавки / В.В. Булычев, С.А. Голубина // Прогрессивные технологии, конструкции и системы в приборо- и машиностроении: Материалы Всероссийской научно-технической конференции 7 – 9 декабря 2004 г., т. 1 – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – С. 239 – 240.

8. Кодинцев Н.П. Повышение эффективности упрочнения стрелчатых лап культиваторов диффузионной металлизацией / Н.П. Кодинцев, С.А. Плахов, С.А. Голубина // Прогрессивные технологии, конструкции и системы в приборо- и машиностроении: Материалы Всероссийской научно-технической конференции 7 – 9 декабря 2004 г., т. 1 – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – С. 232.

9. Голубина С.А. Прогнозирование вероятности обеспечения качества наплавки изношенных деталей сельскохозяйственных машин / С.А. Голубина // Прогрессивные технологии, конструкции и системы в приборо- и машиностроении: Материалы региональной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых 20 – 22 апреля 2005 г., т. 1 – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. – С. 206.

10. Булычев В.В. К вопросу о выборе технологии упрочнения лемехов / В.В. Булычев, В.Н. Сидоров, С.А. Голубина С.А. и др. // Прогрессивные технологии, конструкции и системы в приборо- и машиностроении: Материалы Всероссийской научно-технической конференции 6 – 8 декабря 2005 г., т. 1 – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. – С. 238 – 239.

11. Голубина С.А. Расчет кинематики механизма подачи проволоки с возвратно-поступательными колебаниями / С.А. Голубина // Прогрессивные технологии, конструкции и системы в приборо- и машиностроении: Материалы Всероссийской научно-технической конференции 6 – 8 декабря 2005 г., т. 3 – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. – С. 66 – 68.

12. Голубина С.А. Экспериментальное устройство для исследования процесса вибродуговой полуавтоматической сварки и наплавки / С.А. Голубина, В.В. Булычев // Прогрессивные технологии, конструкции и системы в приборо- и машиностроении: Материалы Всероссийской научно-технической конференции 6 – 8 декабря 2005 г., т. 1 – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – С. 67 – 68.

13. Голубина С.А. Проектирование подающих механизмов для вибродуговой полуавтоматической наплавки / С.А. Голубина // Математическое моделирование сложных технических систем: Сборник статей. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. – С. 31 – 38 (Труды МГТУ №593).

14. Булычев В.В. Механизм подачи проволоки для полуавтоматической вибродуговой наплавки / В.В. Булычев, С.А. Голубина // Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки: Материалы 8-ой Международной практической конференции-выставки 11 – 14 апреля 2006 г., ч. 1 – СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2006. – С. 13 – 16.

15. Голубина С.А. Целесообразность разработки оборудования для вибродуговой полуавтоматической наплавки / С.А. Голубина // Прогрессивные технологии, конструкции и системы в приборо- и машиностроении: Материалы региональной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых 19 – 20 апреля 2006 г., т. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. – С. 239 – 240.

16. Голубина С.А. Технологические особенности полуавтоматической вибродуговой наплавки / С.А. Голубина // Научно-технические технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе: Материалы Всероссийской научно-технической конференции 5 – 7 декабря 2006 г., т. 3 – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. – С. 114 – 115.

17. Голубина С.А. Моделирование термических циклов при вибродуговой наплавке / С.А. Голубина // Научно-технические технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе: Материалы Всероссийской научно-технической конференции 11 – 13 декабря 2007 г., т. 2 – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – С. 130 – 131.

18. Голубина С.А. Моделирование структур металла при полуавтоматической вибродуговой наплавке / С.А. Голубина // Научно-технические технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе: Материалы Всероссийской научно-технической конференции 10 – 12 декабря 2008 г., т. 1 – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – С. 270 – 271.

19. Голубина С.А. Расчетные схемы для моделирования температурных полей при наплавке деталей плугов / С.А. Голубина // Научно-технические технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе: Материалы Всероссийской научно-технической конференции 17 – 18 декабря 2009 г., т. 1 – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. – С. 289 – 291.

20. Голубина С.А. Обеспечение равной износостойкости рабочей поверхности отвала плуга / С.А. Голубина // Научно-технические технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе: Материалы Всероссийской научно-технической конференции 7 – 9 декабря 2010 г., т. 1 – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – С. 300 – 301.

21. Голубина С.А. Технологические особенности упрочнения отвалов плугов полуавтоматической вибродуговой наплавкой / С.А. Голубина // Научные технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе: Материалы Всероссийской научно-технической конференции 4 – 6 декабря 2012 г., т. 2 – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012. – С. 109 – 112.

22. Голубина С.А. Перспективы упрочнения отвалов плугов / С.А. Голубина // Научные технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе: Материалы Всероссийской научно-технической конференции 25 – 27 ноября 2014 г., т. 2 – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. – С. 269 – 271.

23. Зуев Е.С. К вопросу исследования процесса подачи проволоки при упрочнении рабочих органов почвообрабатывающих машин / Е.С. Зуев, С.А. Голубина // Прогрессивные технологии, конструкции и системы в приборо- и машиностроении: Материалы Всероссийской научно-технической конференции 24 – 26 ноября 2015 г., т. 2 – Калуга: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. – С. 103 – 104.

24. Голубина С.А. Повышение износостойкости рабочих органов почвообрабатывающих орудий полуавтоматической вибродуговой наплавкой / С.А. Голубина // Агропромышленный комплекс на рубеже веков: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию агроинженерного факультета 26 – 27 ноября 2015 г., Ч. II. – Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», 2015. – С. 92 – 97.

25. Голубина С.А. Определение параметров режима полуавтоматической вибродуговой наплавки / С.А. Голубина // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2016. – № 11–4. – С. 14 – 16.

Патент

26. Пат. № 2301728. Российская Федерация, МПК В23К 9/022 (2006.01), В23К 9/133 (2006.01). Способ вибродуговой сварки с подачей электродной проволоки и устройство для подачи электродной проволоки / Булычев В.В., Дубровский В.А., Голубина С.А. Заявка: 2005127114/02, 30.08.2005. Бюл. № 18.

Просим принять участие в работе диссертационного совета 220.010.04 или выслать Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах с заверенными подписями по адресу: 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 13, ученому секретарю. Телефон (473) 224-39-39, 8-900-924-5638, e-mail: et@agroeng.vsau.ru.

Голубина Светлана Александровна

**ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ОТВАЛОВ ПЛУГОВ
ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКОЙ ВИБРОДУГОВОЙ НАПЛАВКОЙ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 30.03.2017. Формат 60x90¹/₁₆. Бумага офсетная.
Усл.п.л. 1,25. Гарнитура Таймс. Тираж 100 экз. Заказ №67.

Отпечатано в Редакционно-издательском отделе
Калужского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана
248000, г. Калуга, ул. Баженова, 2, тел. 57-31-87