

Калужский филиал федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»

На правах рукописи



ГОЛУБИНА Светлана Александровна

**ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ОТВАЛОВ ПЛУГОВ
ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКОЙ ВИБРОДУГОВОЙ НАПЛАВКОЙ**

05.20.03 – Технологии и средства технического обслуживания
в сельском хозяйстве

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель – доцент,
доктор технических наук
Булычев Всеволод Валериевич

Калуга – 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	5
1 Состояние вопроса. Методы повышения износостойкости отвалов плугов	11
1.1 Конструктивные особенности отвалов плугов.....	11
1.2 Анализ причин выхода из строя отвалов плугов.....	15
1.3 Способы и технологии упрочнения деталей почвообрабатывающих машин	18
1.4 Технологические возможности вибродуговой наплавки и применяемое оборудование.....	24
1.5 Анализ конструкций и принципов действия механизмов для импульсной подачи присадочной проволоки.....	28
1.6 Выводы.....	33
2 Теоретические предпосылки повышения износостойкости отвалов плугов полуавтоматической вибродуговой наплавкой.....	35
2.1 Обеспечение равной износостойкости поверхности отвалов плугов ..	35
2.2 Расчетная оценка износостойкости поверхностей с неперекрывающимися валиками наплавленного металла при абразивном изнашивании	37
2.2.1 Обоснование требований к технологии наплавки деталей плугов с учетом их прогнозируемой износостойкости	37
2.2.1.1 Определение высоты валиков наплавленного металла с учетом прогнозируемой износостойкости деталей плугов.....	37
2.2.1.2 Выбор параметров наложения точек наплавленного металла с учетом прогнозируемой износостойкости деталей плугов.....	39
2.3 Математическое моделирование температурных полей при полуавтоматической вибродуговой наплавке	46
2.4 Математическое моделирование поверхностной твердости упрочняемой поверхности	52
2.5 Выводы.....	55

3	Разработка способа и оборудования для полуавтоматической вибродуговой наплавки.....	57
3.1	Разработка принципа действия и кинематической схемы подающего механизма для полуавтоматической вибродуговой наплавки	57
3.2	Исследование процесса возвратно-поступательной подачи присадочной проволоки в подающем канале	62
3.3	Разработка конструкции экспериментального механизма подачи проволоки для полуавтоматической вибродуговой наплавки	69
3.4	Предварительный расчет режимов вибродуговой наплавки отвалов плугов	71
3.5	Выводы	76
4	Программа и методика экспериментальных исследований упрочнения отвалов плугов полуавтоматической вибродуговой наплавкой	77
4.1	Программа экспериментальных исследований	77
4.2	Методика проведения экспериментов в лабораторных условиях	78
4.2.1	Разработка методики экспериментального исследования процесса полуавтоматической вибродуговой наплавки	78
4.2.2	Разработка методики экспериментальных исследований износа неупрочненных отвалов плугов и определение коэффициентов локальной интенсивности изнашивания	79
4.2.3	Выбор схем наложения сварных швов для обеспечения равной износостойкости поверхностей отвалов плугов.....	82
4.3	Методика проведения эксперимента в производственных условиях...	85
4.4	Выводы	86
5	Результаты экспериментальных исследований упрочнения отвалов плугов полуавтоматической вибродуговой наплавкой	88
5.1	Результаты исследования процесса полуавтоматической вибродуговой наплавки	88

5.2	Результаты экспериментальных исследований износа неупрочненных отвалов плугов и разработка схем наложения сварных швов	90
5.3	Результаты исследования процесса изнашивания упрочненных поверхностей отвалов плугов в процессе эксплуатации	95
5.4	Выводы	98
6	Производственные рекомендации и экономическая эффективность исследований	100
6.1	Производственные рекомендации по упрочнению отвалов плугов полуавтоматической вибродуговой наплавкой.....	110
6.2	Экономическая эффективность технологии упрочнения отвалов плугов полуавтоматической вибродуговой наплавкой	101
	Заключение	110
	Список литературы	113
	Приложение А	132
	Приложение Б	133
	Приложение В	134
	Приложение Г.....	135
	Приложение Д.....	136
	Приложение Е.....	137
	Приложение Ж.....	138

ВВЕДЕНИЕ

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 перекрывающимися 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 перекрывающимися 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 её торца. Практическая значимость работы заключается в разработке методики определения зон преимущественного упрочнения отвала на основе

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.

1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ОТВАЛОВ ПЛУГОВ

1.1 Конструктивные особенности отвалов плугов

В сельскохозяйственном производстве Российской Федерации ежегодно возделывается более чем 80 млн. га посевных площадей [26, 45, 79]. Для выполнения технологического процесса необходимо производить механическую обработку почвы: вспашку, глубокое рыхление, культивацию, фрезерование, боронование и др. Основной обработкой почвы, как известно, является вспашка [81, 138]. В общих затратах энергии при возделывании сельскохозяйственных культур доля вспашки составляет более 35% [135].

При проведении технологических операций в сельскохозяйственном производстве широко используются тонкие плоские детали в виде рабочих органов почвообрабатывающих машин (лемеха плугов, полевые доски, отвалы корпусов плугов). Эти детали работают в условиях абразивного изнашивания и значительных статических и динамических нагрузок [52, 138]. Ресурс деталей рабочих органов плугов в значительной степени определяет производительность и агротехнические сроки. Рабочие органы плугов должны иметь высокую прочность и износостойкость, так как в процессе работы происходит затупление лезвий из-за непрерывного взаимодействия металла с почвой и растениями, а также изменение их формы и размеров.

Отвалы являются одной из наиболее металлоемких и дорогостоящих деталей корпуса плуга. Отвал представляет собой изогнутую стальную пластину, располагающуюся под углом к стенке борозды [64]. В процессе работы отвала корпуса плуга происходит отрезание пласта почвы от стенки борозды, его деформирование, сдвиг в сторону и оборачивание верхнего слоя вниз. При этом происходит скалывание, деформация и перемещение почвы по рабочей поверхности корпуса плуга. Одновременно происходит заделка дернины, пожнивных остатков и сорняков в основание борозды [138].

Как известно, воздействие отвала на почву зависит от геометрической формы его поверхности, угла расположения и элементов конструкции [64]. Основными элементами конструкции плуга с классическим культурным отвалом (рисунок 1.1) являются [81, 87]: лемех 1, грудь отвала 4 – расположенная выше лемеха в передней части, крыло 7 – задняя часть, с левой стороны отвал ограничен полевым обрезом 3 для того, чтобы грудь отвала не задевала стенку борозды. С правой стороны корпус ограничен бороздным обрезом 8, чтобы отвал полностью оборачивал пласт и при этом крыло не задевало пласт. В верхней части отвала верхний обрез 6 предотвращает пересыпание почвы.

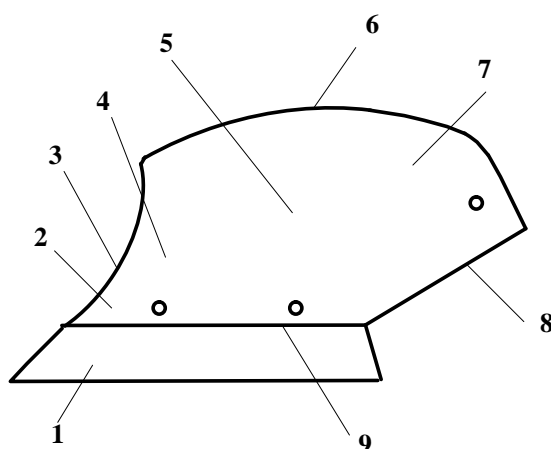


Рисунок 1.1 – Корпус плуга: 1 – лемех; 2 – носик; 3 – полевой обрез; 4 – грудь; 5 – рабочая область; 6 – верхний обрез; 7 – крыло; 8 – бороздный обрез; 9 – стыковой обрез

В современных технологиях обработки почвы используются четыре основных группы форм отвалов: винтовые, полувинтовые, цилиндрические, культурные (рисунок 1.2) [64, 81, 87, 88].

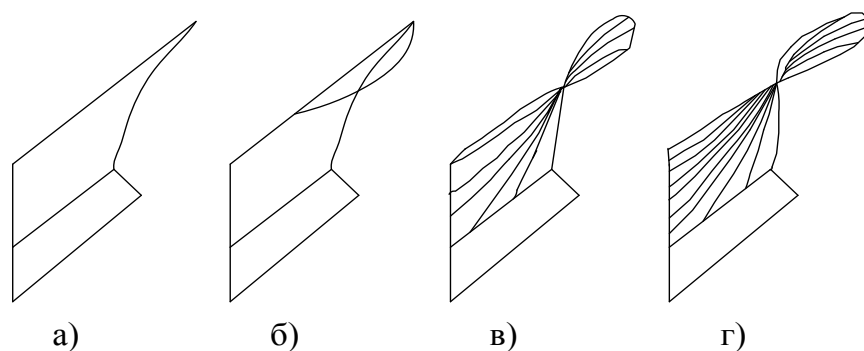


Рисунок 1.2 – Схема форм рабочих поверхностей отвалов
а – цилиндрический; б – культурный; в – полувинтовой; г – винтовой

У цилиндрических отвалов поверхность соответствует части цилиндра и вызывает сильное напряжение почвы, что способствует ее разрыхлению. В отличие от винтовых, он поднимает пласт на себя и скручивает в косую трубку. Такие отвалы адаптированы для гребневой глубокой пахоты.

Профиль цилиндро-винтовых отвалов разделен на две части: цилиндрическую и винтовую. Такая форма геометрии обеспечивает определенную универсализацию отвалов и делает их многоцелевыми.

Рабочая поверхность у культурного отвала имеет крошащую грудь с малой кривизной. По мере подъема пласта почвы по детали происходит улучшение крошения и возрастает оборачиваемость. Отвалы с такой рабочей поверхностью наиболее распространены и устанавливаются практически на всех плугах общего назначения.

Полувинтовые отвалы обеспечивают недостаточное крошение пласта почвы, но хорошую его оборачиваемость. Они применяются при вспашке тяжелых, связных почв. Но в тоже время необходима установка дополнительного удлинителя-пера для доваливания в борозду почвенного пласта.

При вспашке винтовыми отвалами переворачивание пласта происходит по винтовой траектории с невысокой скоростью оборота. Отвалы такой формы рекомендованы к применению при пахоте, не требующей большой глубины, т.к. основным фактором является оборот пласта, а не его крошение. Выбор формы винтового отвала (вогнутая, выпуклая или прямолинейная) основывается на минимальном расходе энергии на деформацию пласта и максимальном снижении залипания почвы.

Почвенные условия оказывают большое влияние на интенсивность изнашивания почвообрабатывающих машин, на расход запасных частей и, соответственно, на затраты по поддержанию работоспособности почвообрабатывающих машин в процессе их эксплуатации [58].

Процесс перемещения почвы по отвалу зависит от ее состава и физико-механических свойств. Большинство физических и физико-механических свойств почв зависит от их механического состава [52, 108].

Механический состав почвы является важной характеристикой, необходимой для определения производственной ценности почвы, ее плодородия, способов обработки и т.д. От механического состава почвы зависят почти все физические и физико-механические свойства почвы: влагоемкость, водопроницаемость, порозность, воздушный и тепловой режим, водоподъемная сила и др. В значительной степени он определяет плодородие почв и трудность обработки. В связи с этим противопоставляют «тяжелые, холодные» глинистые почвы «легким, теплым» песчаным [52, 80, 108, 158] .

Для территории Калужской области характерны дерново-подзолистые почвы с различным механическим составом. В зависимости от почвообразующих пород встречаются легко- и среднесуглинистые, песчаные и супесчаные типы почв [80]. Однако преобладающими являются среднесуглинистые и супесчаные почвы. Состав почв и их свойства обуславливают применение, в основном, плугов с культурной поверхностью отвала. Используются плуги как отечественного ПЛН-3-35, ПЛН-5-35, так и зарубежного производства Gregoire Besson, Kverneland, Lemken (EurOpal). Например, Государственное предприятие «Калужская машинно-технологическая станция» (ГП «Калужская МТС») имеет в распоряжении плуги: Kverneland RN-100, Kverneland PN-100, Kverneland LM-85, Lemken (EurOpal) M-100. Сельхозартель «Колхоз «Маяк»» использует плуги ПЛН-3-35 и ПЛН-5-35, а также Gregoire Besson R4, R47, R7 / R71, SP9, SPLM9, SPSL9 / SPSF, 9 SPER.

Отвалы работают в условиях абразивного изнашивания и могут испытывать удары камней. По этой причине рабочая поверхность отвалов должна обладать определенной износостойкостью. В отечественном производстве материалом для изготовления отвалов корпусов плугов в основном используется малоуглеродистая сталь марки Ст.2 или трёхслойная сталь [50, 90, 101]. Отвалы, изготовленные из стали Ст.2 должны подвергаться цементации на глубину 1,5-2,2 мм с последующей закалкой до твердости HRC 50-62. При использовании для изготовления отвалов трехслойной стали, она имеет поверхностные слои из стали 65Г и внутренний слой из стали Ст.2. Поверхностные слои с более высокой

твердостью придают отвалу достаточную износостойкость, а менее твердый внутренний слой приданию прочности – устойчивости к изгибающему моменту и ударам почвы. Толщина каждого слоя примерно одинакова. Формообразование и упрочняющую термообработку проводят как один технологический процесс. Твердость горячекатаных листов и полос должна быть не более 269 НВ, а определяемая на закаленных образцах – не менее HRC 56. Шероховатость рабочей поверхности отвалов должна быть не выше $R_a = 2,5$ мкм и соответствовать шероховатости поверхности проката. Известны отвалы, изготавливаемые из трехслойной стали при помощи прокатки. Для наружных слоев используется сталь 10, а для внутреннего – сталь 60. Применяется также штамповка из монометалла (сталь 32Г2Р, сталь 36ГР). Изготовленные таким способом отвалы для обеспечения необходимой твердости (HRC 47...63) и абразивной стойкости подвергаются последующей термообработке.

Для улучшения качества обработки почвы, обеспечения отвалам достаточной долговечности и наработки, они могут выполняться с различными упрочняющими покрытиями [19, 83]. Применение материалов, способствующих повышению износостойкости отвалов, приводят к росту ресурса плуга. Однако, зачастую, из-за неравномерного изнашивания по рабочей поверхности происходит нерациональное использование дорогостоящих присадочных материалов.

1.2 Анализ причин выхода из строя отвалов плугов

Износ рабочих органов почвообрабатывающих машин происходит в процессе непрерывного взаимодействия с почвой [7, 60, 61, 68, 107]. На интенсивность и характер износа влияет природа и свойства почвы, а также условия взаимодействия почвы и рабочих органов. В процессе эксплуатации в деталях почвообрабатывающих машин и агрегатов происходит значительное изменение технологических характеристик и конструктивных параметров [9, 47,

62, 150]. Эти процессы возникают, в основном, на наиболее нагруженных поверхностях деталей в результате трения в абразивной среде.

При изучении опубликованных работ [52, 58, 158] в качестве основных факторов, определяющих износ рабочих органов почвообрабатывающих машин, приводятся: механический состав, влажность, плотность и однородность почвы, скорость движения и форма рабочих органов, а также свойства материалов, из которых они изготовлены.

В результате ускоренного изнашивания рабочих поверхностей лемешно-отвальных плугов происходит снижение качества обработки почвы, увеличение тягового сопротивление агрегатов, а также возникают дополнительные эксплуатационные расходы, связанные с повышением расхода топлива и простоями машин, связанными с заменой изношенных деталей, уменьшается межремонтный ресурс плуга в целом [8, 61, 79, 103, 105, 149].

Интенсивность изнашивания деталей рабочих органов почвообрабатывающих орудий, в том числе и отвалов плугов, на различных почвах будет значительно отличаться из-за различия почв по их изнашивающей способности, [52, 143, 162, 172]. По данным Новикова В.С. [103, 105] средняя наработка на отказ для грудей отвалов может составлять от 10 до 100 га, для крыльев отвалов может составлять от 40 до 270 га.

Анализ литературных источников показал, что детали отвалов плугов изнашиваются неравномерно [11, 52, 78, 83, 98, 103, 126]. Наиболее характерные зоны износа отвалов корпусов плугов (рисунок 1.3) – полевой обрез и плоскость [103].

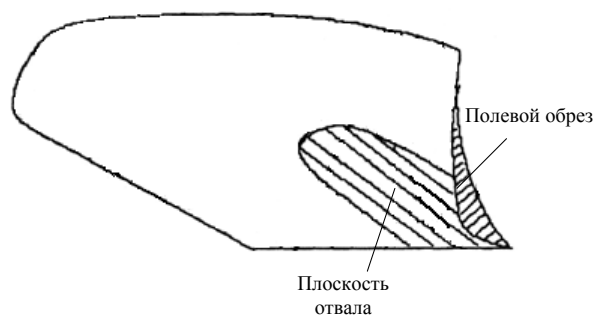


Рисунок 1.3 – Характерные зоны изнашивания отвала [103]

Осмотр овалов плугов после эксплуатации в ГП «Калужская МТС» и сельхозартели «Колхоз «Маяк»» показал [26], что изнашиванию подвергаются как плоскость отвала, вплоть до сквозного истирания, так и кромки (рисунок 1.4).



Рис. 1.4 – Сквозное изнашивание плоскости отвала плуга Gregoire Besson

Износ отвалов и вызванное этим ослабление болтовых креплений может приводить к образованию трещин (рисунок 1.5).



а)



б)

Рис. 1.5 Дефекты отвалов после эксплуатации: – а) изнашивание потаенных головок болтов в зоне крепления отвала плуга Kvernerland к корпусу; б) поперечная трещина в носовой части отвала плуга Kvernerland

Наибольшие значения давления почвы воздействуют на грудь отвала, вследствие этого износ этой части отвала происходит значительно интенсивнее, чем у крыла отвала. Для плугов, работающих в особо тяжелых условиях, могут использоваться корпуса плугов со сменной грудью отвала.

Для снижения силы трения почвы и облегчения скольжения пласта почвы рабочую поверхность отвала полируют. Наличие на рабочей поверхности неровностей, вмятин, трещин, коррозионных участков приводит к залипанию таких

мест почвой и, как следствие, к нарушению процесса вспашки, увеличению тягового сопротивления плуга.

Как правило, интенсивно изнашивается полевой обрез отвала. У нормального отвала линия полевого обреза должна выступать от стойки на 18 мм; в изношенных отвалах выступ составляет обычно 2-6 мм.

В работе Новикова В.С. [103] предлагается выбраковка отвалов: по критерию образования сквозного истирания – на песчаных, супесчаных и легкосуглинистых почвах, по критерию износа полевого обреза – на глинистых и тяжелых суглинистых почвах

1.3 Способы и технологии упрочнения деталей почвообрабатывающих машин

В настоящее время для повышения износостойкости деталей почвообрабатывающих машин разработано большое количество технологических процессов, часто неравноценных по своим технико-экономическим показателям [3, 6, 10, 12, 21, 22, 42, 46, 55-57, 59, 79, 84, 91, 95, 103, 104, 106, 125, 127, 128, 131, 140, 141, 145, 154-157].

Основными способами упрочнения отвалов плугов [17, 48, 66, 78, 85-87, 89, 92, 93, 94, 96, 132] являются: ручная дуговая наплавка – сплошная, либо в виде сетки (рисунок 1.6 а, б); установка керамических пластин (рисунок 1.6 в); нанесением композиционных покрытий (рисунок 1.6 г).

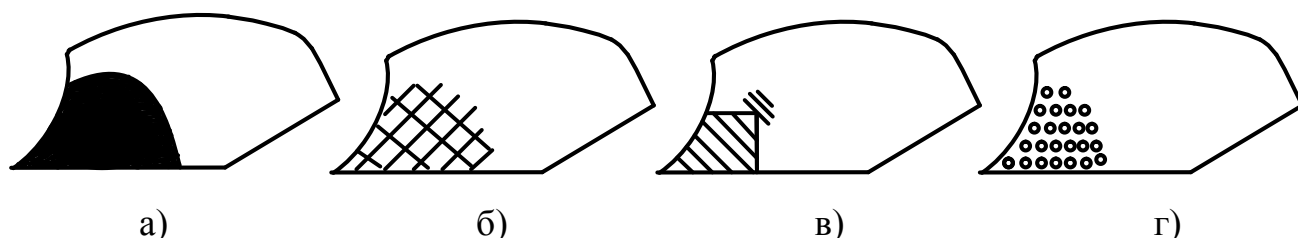


Рисунок 1.6 – Схема способов упрочнения отвалов плугов:

а – сплошная дуговая наплавка; б – дуговая наплавка в виде сетки;
в – упрочнение керамическими пластинами; г – упрочнение композиционными материалами

Ручная дуговая наплавка в основном производится электродами Т-590 и Т-620 переменным или постоянным током [65, 78, 79, 145]. Отмечается, что это позволяет увеличить ресурс детали до 1,5-2,0 раз. Однако, большая зона термического влияния, возникающая при использовании этого способа, может приводить к прожогу кромок, короблению поверхности отвала, а также, из-за снижения сопротивления изгибу основного металла, к поломкам отвалов.

При использовании композиционных материалов и керамических пластин они устанавливаются в наиболее изнашиваемые места [103, 104]. Однако следует отметить относительную сложность технологического процесса при фрезеровании гнезд на груди отвала из-за геометрии поверхности и цементации верхнего слоя, а также то что, при работе на каменистых и засоренных почвах велика вероятность отрыва пластин в процессе работы.

Для восстановления отвалов плугов учеными Брянской ГСХА предлагается использование абразивостойкого дисперсионно-упрочненного композита на основе эпоксидной смолы [85]. Это способ позволяет устранять сквозное протирание с сохранением механических свойств и форм восстанавливаемой детали без термического и деформационного воздействия в период формирования покрытия. Одновременно вышеуказанные ученые предлагают использование способа бронирования для поверхностей отвалов с лучевидным износом. Способ заключается в приклеивании на поверхность отвала стальных термоупрочненных до HRC 50-53 пластин. Этот способ также не предполагает термического и деформационного воздействия в период формирования покрытия [86].

В настоящее время для увеличения ресурса других рабочих органов плуга разработано значительное количество технологий. Подразделением ГОСНИТИ предложена технология армирования новых лемехов наплавочными валиками, наносимыми в наиболее изнашиваемых местах путем ручной дуговой наплавки [95]. Отмечается что, применение этого способа увеличивает наработку упрочненных деталей в 1,8-2 раза по сравнению с серийно выпускаемыми.

ЗАО «Рубцовский завод запасных частей» использует технологию упрочнения лемехов индукционной наплавкой [79].

В институте машиноведения РАН разработана технология лазерного упрочнения и наплавки поверхностей трения культиваторных лап [79]. При закалке лучом лазера на ширину до 30 мм. Эта технология показывает повышение износостойкости упрочненных лап в 3-4 раза по сравнению с серийно выпускаемыми.

При использовании технологии упрочнения лемехов напайкой металлокерамических пластин [154, 156], разработанной в Оренбургском аграрном университете, ресурс рабочих органов плуга повышается в 3-4 раза. Однако упрочненные этим способом плуги не могут эффективно использоваться на почвах, засоренных камнями.

В случае применения газовой наплавки основной и присадочный металлы расплавляют пламенем, получаемым при сгорании смеси какого-либо горючего газа с кислородом [79, 145]. Процесс осуществляется как с применением как прутковых, так и порошковых материалов. Однако этот способ характеризуется возникновением высоких сварочных деформаций и значительным тепловложением в деталь. Высокая стоимость расходных материалов и повышенная трудоемкость также осложняют применение этого способа.

Процесс упрочнения тонкостенных деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин может осуществляться электроискровыми методами [164]. При этом предотвращаются прожоги и уменьшаются термические деформации в упрочняемых и восстанавливаемых деталях за счет применения дуги малой мощности и электроискрового переноса присадочного металла. Достигается увеличение износостойкости рабочих органов почвообрабатывающих машин не менее чем в 1,4...2 раза в зависимости от типа почвы, а также снижение стоимости и трудоёмкости упрочнения деталей плугов за счет снижения объема присадочного материала по сравнению с другими технологиями упрочнения сварочными методами. Однако способ характеризуется малой производительностью, что затрудняет упрочнение значительных площадей.

Исследователи ФГОУ ВПО «Брянская государственная сельскохозяйственная академия» предлагают ряд способов для упрочнения

лемехов плугов. Так, Михальченковым А.М. предложен способ повышения износостойкости плужных лемехов сварочным армированием [84, 91] путем наплавки валиков в области наибольшего износа носка лемеха. Непрерывная наплавка подковообразных валиков или валиков, имеющих форму полуэллипса, осуществляется с последующим быстрым охлаждением носка в воде. При этом обеспечивается образование закалочных структур в носке лемеха и наплавленных валиках. Повышение ресурса лемехов плугов происходит за счет повышения прочностных характеристик и увеличения степени проскальзывания абразивных частиц по поверхности, что снижает коэффициент трения и уменьшает износ [91, 95].

Козарез И.В. предлагает использование двухслойной наплавки при упрочняющем восстановлении лемеха [63]. Такая технология препятствует трещинообразованию износостойкого поверхностного слоя и одновременно уменьшает склонность возникновения изломов восстановленной области. Относительно мягкий подслоя способствует образованию структур, позволяющих снизить вероятность образования трещин. С увеличением времени термического влияния, особенно в период остывания в процессе наплавки, происходит снижение остаточных напряжений. Благодаря этим приемам при восстановлении лучевидного износа в области носка лемеха возможно увеличение ресурса лемеха с 25 до 35 га в соответствии с технологическими вариантами и условиями эксплуатации.

В РГАУ Новиковым В.С. рассмотрен метод повышения ресурса рабочих органов плуга путем нанесения на них композиционного материала с коэффициентом трения, превышающим коэффициент трения почвы по стали, создавая на наиболее изнашиваемом участке эффект залипания поверхности, защищая ее от абразивного износа. Материалом, обеспечивающим создание тонкого почвенного слоя на наиболее изнашиваемых участках рабочих органов в условиях обработки абразивных песчаных, супесчаных и легких суглинистых почв является клеевая композиция на основе клеевой пленки (КП) ВК-36 и

корундового порошка. Долговечность рабочих органов плуга при использовании этого способа повышается в 2 раза выше серийного [103, 104].

При наплавке токами высокой частоты происходит расплавление смеси флюса и порошка наплавочного сплава (например, зернистого сормаита), наложенной на наплавляемую поверхность посредством подводимого индуктора, обеспечивающего выделение достаточной тепловой мощности [145]. Сормайт нагревается до температуры его плавления (1150 °С). Толщина получаемого слоя более 0,4 мм. Этот способ наплавки характеризуется возможностью регулирования глубины закаленного слоя, высокой производительностью, отсутствием обезуглероживания и окалинообразования, а также минимальным короблением детали. Однако применение этого способа ограничивается высокой стоимостью оборудования.

В случае использования науглероживания для упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин [22] происходит насыщение поверхностного слоя углеродом до получения структуры белого чугуна. При этом высокая твердость и износостойкость, повышение пределов контактной выносливости и выносливости при изгибе при сохранении вязкой сердцевины, могут быть обеспечены последующей закалкой. Для реализации этого способа необходимы сложное и дорогостоящее оборудование, высококвалифицированный персонал, а также соблюдение особых требований по технике безопасности.

Вопросам увеличения ресурса деталей плугов, повышения износостойкости и долговечности посвящено значительное количество работ зарубежных ученых из Чехии, Германии, Хорватии, Китая и др. [168-171, 173, 174]. Фирма «Линд» (США) для обеспечения защиты от износа рабочих органов при работе в высокоабразивной среде предлагает покрытие «Wear-TUFF» [79]. Нанесение покрытия производится распылением или путем обливания с последующей температурной обработкой. Срок службы изделия может увеличиваться до двух-трех раз. Твердость покрытия составляет HRC 56-60. Также эта фирма использует износостойкие накладки и пластины для упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин. Накладки изготавливаются нанесением

износостойкого покрытия «Wear-TUFF» с твердостью до HRC 60 на относительно мягкие поверхности из стали. Для крепления пластин используются болтовые соединения.

Венгерская фирма «Инновельд» предлагает использование технологии упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин с применением твердого сплава семейства «Элкефем» на основе индукционного нагрева [79]. Отмечается, что технология позволяет увеличить срок службы рабочих органов почвообрабатывающих машин в 3,5-4 раза.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что основными способами упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин являются ручная дуговая и газовая наплавка, наплавка токами высокой частоты, науглероживание, постановка твердосплавных пластин (табл. 1.1).

Таблица 1.1 – Основные способы упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин

Наименование и схема способа	Характеристика способа	Недостатки способа
1. Ручная дуговая наплавка 1. Неперекрывающимися валиками 2. Сплошная наплавка	Электроды: Т-590, Т-620 Увеличивает износостойкость в 1,5-2 раза	Прожег кромок, коробление, большая зона термического влияния, неприменим при износе на передней части детали, высокая вероятность коробления и снижение прочности. Высокая стоимость материалов
2. Газовая наплавка 1. Порошковыми материалами 2. Прутковыми материалами	Материалы: ПГСР-3, ПГСР-4, сормайт Увеличивает износостойкость в 1,5-2 раза	Значительные тепловложения, высокие сварочные деформации. Высокая стоимость расходных материалов, повышенная трудоемкость. Ограничения получения износостойких слоёв, разбрызгивание металла
3. Наплавка ТВЧ	Регулируемая глубина закаленного слоя, высокая производительность, отсутствие обезуглероживания и окалинообразования, минимальное коробление детали	Высокая стоимость оборудования

Окончание таблицы 1.1

4. Науглероживание	Высокая твердость и износостойкость, повышение пределов контактной выносливости и выносливости при изгибе при сохранении вязкой сердцевины	Необходимость последующей закалки, сложное и дорогое оборудование, высококвалифицированный персонал, сложные требования по ТБ
5. Постановка металлокерамических пластин (пайка, склеивание, механическое соединение)	Повышает износостойкости и ресурс, в условиях суглинистых почв, в 4,6-5,0 раза по сравнению с серийными (неупрочненными) лемехами.	Не рекомендуется использовать для обработки каменистых почв, высокая вероятность отрыва пластин при работе.

Учитывая сложную конфигурацию отвалов и значительную площадь рабочих поверхностей, наиболее легко реализуемыми и низко-затратными способом упрочнения представляется применение различных видов дуговой наплавки. Однако, как отмечалось выше из-за малой толщины отвалов (5...8 мм), дуговая наплавка может вызывать их значительный нагрев, коробление, формирование широких зон отпуска. Наплавка кромок затруднена их прожогом. Поэтому целесообразна разработка технологии наплавки, которая позволит устранить эти недостатки.

Следует также отметить, что в настоящее время практически отсутствуют научно-обоснованные методики определения зон упрочнения отвалов плугов, с целью повышения равномерности их изнашивания. При этом актуальность данного подхода при упрочнении деталей почвообрабатывающих машин отмечена Новиковым В.С. [103] при разработке технологии упрочнения лемехов.

1.4 Технологические возможности вибродуговой наплавки и применяемое оборудование

Для упрочнения отвалов плугов целесообразно применять способ наплавки с минимальным тепловложением в основной металл [75, 133]. Одним из таких способов является вибродуговая наплавка в струях воды [100, 102, 134, 148, 164].

Процесс вибродуговой наплавки отличается от других способов механизированной наплавки тем [49, 100, 161], что торец присадочной проволоки совершает колебательное движение в плоскости, располагающейся перпендикулярно наплавляемой поверхности, а также охлаждением наплавленного слоя.

Колебания проволоки оказывают существенное влияние на весь ход процесса и качество наплавленного металла. Из-за вибраций проволоки процесс представляет собой чередование очень коротких циклов, состоящих из разрыва цепи, холостого хода и короткого замыкания (рисунок 1.7).

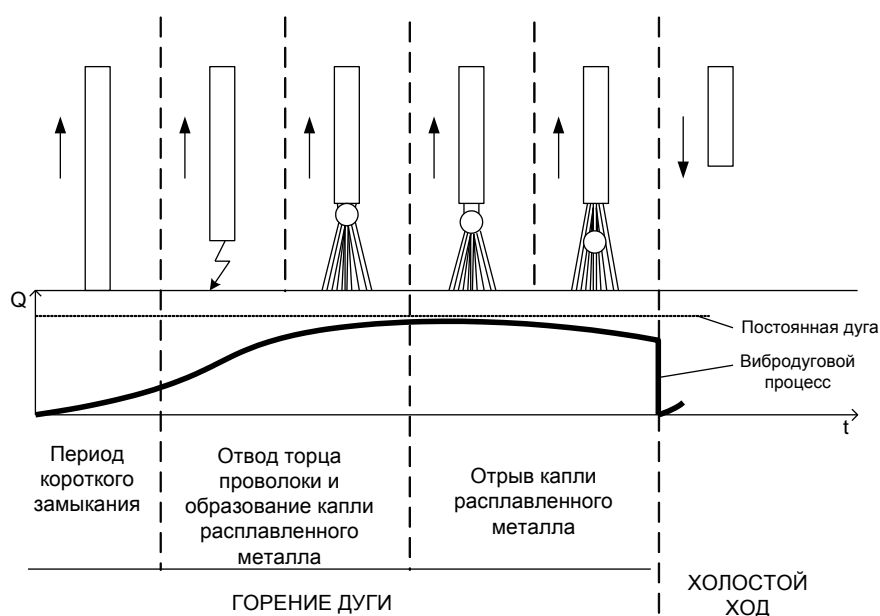


Рисунок 1.7 – Схема движения проволоки при вибродуговой наплавке

При коротком замыкании ток от почти нулевого значения быстро увеличивается до максимального, а напряжение, наоборот, падает до нуля. По мере отвода мундштука от поверхности детали полурасплавленное сечение конца проволоки уменьшается, а электрическое сопротивление возрастает. В момент разрыва напряжение и плотность тока достигает высоких значений, и после разрыва проволоки в образовавшемся промежутке возникает кратковременный электрический разряд. Образовавшаяся дуга оплавляет оставшийся на

поверхности детали металл проволоки, капли металла расплавленного конца проволоки также переходят в наплавленный шов. При дальнейшем увеличении расстояния между деталью и проволокой дуга гаснет, наступает период холостого хода, затем цикл повторяется.

Частая вибрация электрода (50-100 раз в секунду) вызывает столь же частое возбуждение дуговых разрядов, что способствует устойчивости процесса и переносу электродного металла небольшими порциями. Величина амплитуды вибрации электродной проволоки и угол её подвода к детали влияют на величину межэлектродного промежутка. С увеличением промежутка напряжение возрастает и интенсивность плавления металла увеличивается.

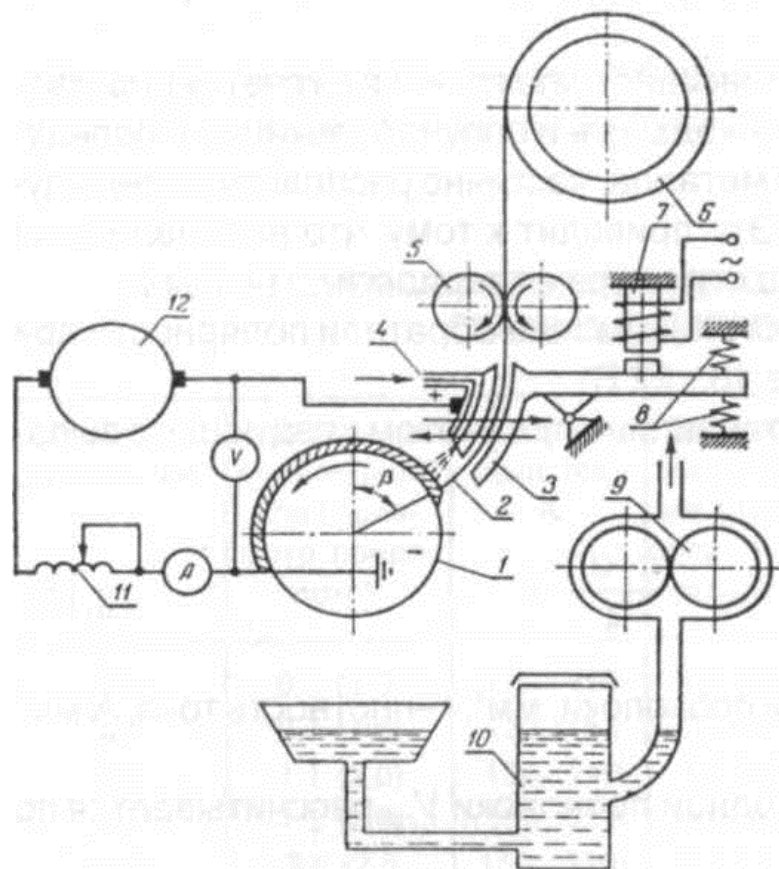
Из-за разрыва дуги при реализации процесса вибродуговой наплавки происходит мелкокапельный переход металла от проволоки к детали, сварочная ванна образуется с минимально возможными размерами, что позволяет получить достаточно хорошее сплавление присадочного металла с основным, небольшой нагрев детали и малую глубину термического влияния [36, 43, 54, 75]. Кроме того, при вибродуговой наплавке резко уменьшается выгорание легирующих элементов электродной проволоки. Вибродуговая наплавка позволяет получить относительно тонкие и прочные покрытия (толщиной 0,8-2,5 мм).

В настоящее время применяется, в основном, автоматическая вибродуговая наплавка [65, 102, 153]. Принципиальная схема установки (рисунок 1.8) для вибродуговой наплавки состоит из наплавочной головки, источника питания, дополнительной индуктивности (дресселя), системы подачи охлаждающей жидкости [100, 163, 164].

На суппорт токарного станка устанавливается наплавочная головка и одновременно с ним перемещается вдоль детали, а в центры станка устанавливается и приводится во вращение наплавляемая деталь [99, 164].

Установка для вибродуговой наплавки также имеет резервуар для охлаждающей жидкости (чаще всего используется 3-5%-ный раствор кальцинированной соды в воде), а также насос для подачи охлаждающей жидкости.

Охлаждающая жидкость подается двумя потоками: небольшое количество жидкости (до 0,3 л/мин) направляется непосредственно в зону горения дуги, что способствует охлаждению мундштука наконечника, остальное количество жидкости (2-2,5 л/мин) подается на некотором удалении от зоны горения непосредственно на наплавленный слой.



- 1 – наплаваемая деталь; 2 – электрод; 3 – вибрирующий мундштук;
 4 – канал для подачи охлаждающей жидкости; 5 – ролики подающего механизма;
 6 – кассета с электродной проволокой; 7 – вибратор; 8 – пружины; 9 – насос;
 10 – фильтр-отстойник; 11 – дроссель; 12 – генератор

Рисунок 1.8 – Установка для вибродуговой наплавки в струях воды [164]

За счет интенсивного охлаждения в наплавленном металле и зоне термического влияния возникают растягивающие напряжения, что может приводить к образованию трещин. Это является причиной снижения усталостной

прочности деталей. Однако качество наплавленного слоя зависит от режима наплавки и материала электродной проволоки.

Таким образом, применение процесса вибродуговой наплавки представляется возможным для упрочнения отвалов плугов. Однако, из-за сложной геометрии отвалов механизировать процесс наплавки затруднительно.

Существующие в настоящее время конструкции вибродуговых головок не позволяют производить процесс ручного манипулирования [40, 99, 153]. В частности, известные конструкции головок для вибродуговой наплавки, помимо обычного механизма для подачи проволоки имеет вибратор, который сообщает колебательное движение хоботку мундштука. В таких вибраторах устанавливается электромагнит, через обмотки которого пропускается переменный ток. В результате пластина (якорь), которая связана с хоботком (наконечником) головки, передает колебательное движение наконечнику с электродной проволокой из-за поочередного притягивания к электромагниту и отходу от него. При этом частота колебаний соответствует частоте перемены направления тока и равна 100 раз в секунду, амплитуда колебаний составляет 1,5 - 2,5 мм. Выпускаются наплавочные головки с механическим вибратором (ОКС-12-62М, ОКС-65-69), в которых колебательное движение наконечника головки реализуется посредством кулачкового или эксцентрикового привода [99, 153, 164].

Таким образом, возникает необходимость разработки технологического оборудования для реализации наплавки в полуавтоматическом режиме.

1.5 Анализ конструкций и принципов действия механизмов для импульсной подачи присадочной проволоки

В настоящее время получают развитие полуавтоматические процессы дуговой сварки с импульсной подачей электродной проволоки [18, 69, 71-74, 110-117, 119, 121, 159, 160]. Классификация устройств по принципу их действия [123] представлена на рисунке 1.9.



Рисунок 1.9 – Классификация устройств для реализации импульсной подачи присадочной проволоки по принципу их действия [123]

Так, известны устройства [111, 112-114, 116], в которых импульсная подача проволоки достигается на основе электромагнитов. Принцип работы механизмов этого типа заключается в сообщении якорю электромагнита и связанному с ним захвату проволоки возвратно-поступательного движения. При этом во время движения якоря в направлении зоны сварки захват заклинивает проволоку и перемещает ее на заданный шаг. Во время возвратного хода якоря захват свободно проскальзывает по проволоке, занимая исходное положение.

На рисунке 1.10 пояснена конструкция устройства импульсной подачи присадочной проволоки по патенту [111]. При подаче электроэнергии на катушку 5 якорь 6 втягивается в нее и тянет за собой якорь 8. При этом зажим 11 заклинивается, фиксируя проволоку 12. Зажим 16 свободно скользит по ней. После переключения электроэнергии на катушку 7 происходит обратный процесс, т. е. якорь 8 втягивается в катушку 7 и тянет за собой зажим 16 и якорь 6. В этом случае заклинивается зажим 16 и вместе с якорем 8 тянет проволоку 12 за собой, в то время как зажим 11 ее освобождает её.

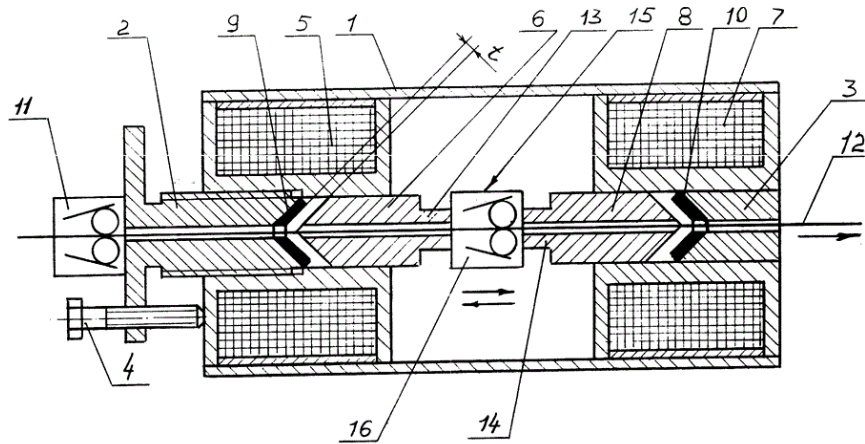


Рисунок 1.10 – Конструкция устройства импульсной плачи присадочной проволоки по патенту [111]

В устройстве [110] роль электромагнитов выполняет эластичная камера, заполняемая сжатым газом.

В устройстве [113] импульсная подача проволоки обеспечивается ее поперечными изгибами в подающем механизме. Механизм (рисунок 1.11) содержит корпус 1, внутри которого соосно расположены две электромагнитные катушки 2 и 3, имеющие стопоры 4, 5 и якоря 6,7 соответственно. Якоря 6 и 7 имеют общий хвостовик 8, в середине (средней части) которого выполнено отверстие 9. Механизм снабжен двумя шариковыми зажимами 10 и 11, образующими тракт прохождения проволоки 12, которая намотана на бобину 13. Катушки 2 и 3 расположены перпендикулярно оси прохождения проволоки 12, которая в свою очередь пропущена через отверстие 9 в хвостовике 8. При включении электропитания катушки 2 якорь 6 перемещается в ней до упора в стопор 4, при этом хвостовик 8 тянет за собой проволоку 12, которая свободно проходит через шариковый зажим 10, но заклинивается в зажиме 11. В результате проволока вынуждена разматываться с бобины 13, образуя дугу внутри механизма. При включении электропитания катушки 3 якорь 7 (вместе с хвостовиком 8) перемещается внутрь упомянутой катушки до упора в стопор 5. Проволока 12, проходя осевую линию тракта подачи, проталкивается через зажим 11, тогда как в зажиме 10 заклинивается. А далее - вытягивается из зажима 10, а в

зажиме 11 заклинивается. При поочередном включении катушек 2 и 3 проволока 12 до достижения осевой линии тракта подачи вначале выталкивается из механизма в зону сварки, а затем втягивается в механизм, разматываясь с бобины 13.

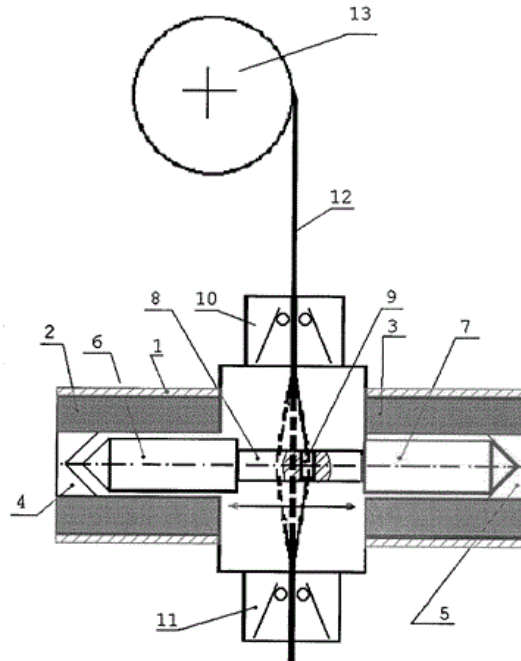


Рисунок 1.11 – Схема устройства импульсной подачи проволоки посредством поперечных изгибов [113]

Импульсная подача проволоки за счет поперечных изгибов реализована также в устройствах [115, 117]. Так, согласно изобретению [115] механизм подачи проволоки содержит два зажима 1 и 2 для проволоки 3, шток 4, ось которого расположена перпендикулярно оси прохождения проволоки, пропущенной через отверстие 5, выполненное в средней части штока, и устройство возвратно-поступательного перемещения штока в осевом направлении. Устройство возвратно-поступательного перемещения штока выполнено в виде пружины сжатия 6, установленной на одном конце штока. Другой конец штока, снабженный роликами 7, взаимодействует с дисковым кулачком 8, имеющим привод вращения 9. Расстояние между зажимами 1 и 2 регулируется винтами 10 с правой и 11 с левой резьбой, соединенными муфтой 12.

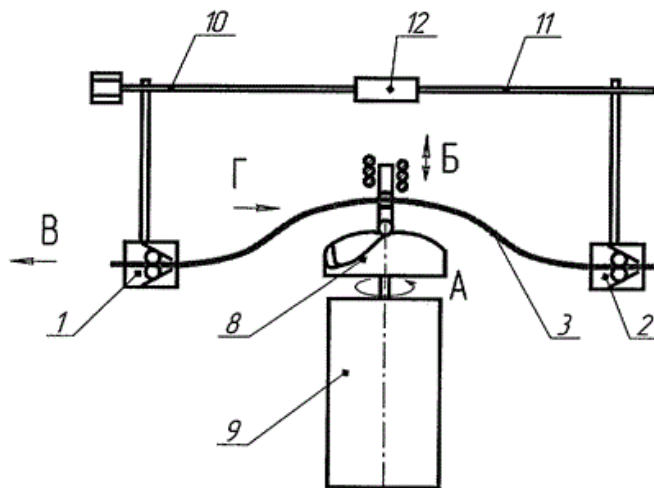


Рисунок 1.12 – Схема устройства импульсной подачи проволоки посредством поперечных изгибов [115]

Принцип действия другого аналогичного механизма [117] пояснен на рисунке 1.13.

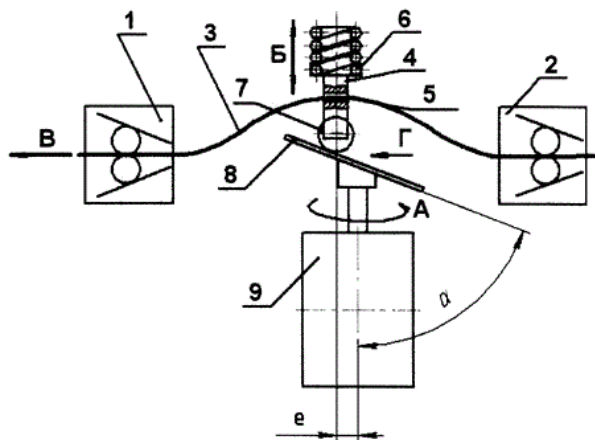


Рисунок 1.13 – Устройство импульсной подачи присадочной проволоки [117]

Механизм также содержит два зажима 1 и 2 для проволоки 3, шток 4 и устройство возвратно-поступательного перемещения штока в осевом направлении. Ось штока расположена перпендикулярно оси прохождения проволоки, пропущенной через отверстие 5, выполненное в средней части штока. Устройство возвратно-поступательного перемещения штока выполнено в виде пружины сжатия 6, установленной на одном конце штока, а на другом

расположен ролик 7, взаимодействующий с кулачком 8, имеющим привод вращения 9. Кулачок выполнен в виде диска и установлен под углом α на валу привода. Привод смещен в горизонтальной плоскости относительно штока.

Принципиальной особенностью всех вышерассмотренных устройств является обеспечение дискретной подачи проволоки к наплавляемой поверхности и отсутствие принудительного отвода от нее. Такие устройства не позволяют осуществить процесс вибродуговой наплавки, связанный с принудительным отводом проволоки от детали. В то же время принцип управления подачей присадочной проволоки за счет ее поперечного изгиба представляется перспективным для дальнейшего развития.

1.6 Выводы

1. Анализ возможных технологий упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин таких как лемехи, долота, культиваторы и др., показал, что основными способами упрочнения являются ручная дуговая и газовая наплавка, наплавка ТВЧ, науглероживание, постановка твердосплавных пластин. Однако вопрос упрочнения отвалов дуговой наплавкой является недостаточно исследованным.

2. В связи с неравномерностью изнашивания рабочих поверхностей отвалов 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 дополнительные затраты на формирование упрочненных слоев с избыточной износостойкостью. Однако, методики определения зон упрочнения рабочих поверхностей отвалов плугов отсутствуют.

3. Учитывая сложную конфигурацию отвалов, наиболее приемлемым способом упрочнения представляется дуговая наплавка неперекрывающимися валиками. Однако, широко применяемая ручная дуговая наплавка из-за малой

толщины отвалов (5...8 мм), вызывает их значительный нагрев, коробление, формирование широких зон отпуска. Наплавка кромок затруднена их прожогом. Для упрочнения отвалов плугов целесообразно применять вибродуговую наплавку, как способ с минимальным тепловложением в основной металл.

4. В связи со сложностью механизации процесса наплавки из-за сложной геометрии отвалов и отсутствия конструкций вибродуговых головок для ручного манипулирования существует необходимость разработки технологического оборудования для полуавтоматической вибродуговой наплавки.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ОТВАЛОВ ПЛУГОВ ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКОЙ ВИБРОДУГОВОЙ НАПЛАВКОЙ

2.1 Обеспечение равной износостойкости поверхности отвалов плугов

В процессе эксплуатации плуга износ отвала соответствует кривой (рисунок 2.1), характеризующей процесс абразивного изнашивания [23]. При этом виде изнашивания характерным отличием является отсутствие периода приработки и наличие двух периодов: процесса установившегося изнашивания и аварийного изнашивания. На этапе установившегося изнашивания (при работе в обычных условиях эксплуатации) скорость изменения износа практически постоянна, износ деталей меняется линейно с течением времени. Таким образом, в период установившегося изнашивания износы пропорциональны и коэффициент локальной интенсивности изнашивания тоже будет пропорционален наработке. После окончания периода нормальной работы из-за изнашивания и удаления упрочненного слоя деталей наступает более интенсивное аварийное изнашивание.



Рисунок 2.1 – Кривая абразивного износа

Из-за неравномерного изнашивания поверхности отвала плуга, критерием оптимальности применяемой технологии упрочнения может служить обеспечение равной износостойкости всей его рабочей поверхности [14, 15, 29, 34]. Таким образом возможно минимизировать площадь областей, подвергающихся упрочнению, а, следовательно, и дополнительному термическому и механическому воздействию, и, одновременно, исключить дополнительные затраты на формирование избыточно-упрочненных зон.

Определение зон упрочнения предлагается выполнять [34] на основе замеров износов бывшего в эксплуатации отвала. Коэффициент локальной интенсивности изнашивания определяется по выражению

$$k_u = \frac{I_i}{I_{cp}}, \quad (2.1)$$

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

Значение I_{cp} предложено рассчитывать по выражению

$$I_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^N I_i}{N}, \quad (2.2)$$

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.

При этом в зависимости от значений k_u могут применяться различные схемы наплавки, соответствующие требуемому повышению износостойкости в данных зонах.

2.2 Расчетная оценка износостойкости поверхностей с неперекрывающимися валиками наплавленного металла при абразивном изнашивании

2.2.1 Обоснование требований к технологии наплавки деталей плугов с учетом их прогнозируемой износостойкости

2.2.1.1 Определение высоты валиков наплавленного металла с учетом прогнозируемой износостойкости деталей плугов

Важными показателями, характеризующими объем наплавки и износостойкость упрочненных деталей, являются высота валиков наплавленного металла и твердость наплавленного слоя. Правильный выбор этих параметров позволит получить оптимальное соотношение между стоимостью упрочнения и ресурсом упрочняемых деталей [30, 76, 82, 165].

Для выбора данных параметров в зависимости от прогнозируемой износостойкости предлагается следующая методика расчета. Известно, что износостойкость I для конструкционных сталей является функцией твердости H изнашиваемого материала, и в первом приближении её можно представить линейной функцией [23, 137, 146]:

$$I = kH, \quad (2.3)$$

где k – постоянный коэффициент.

С другой стороны, износостойкость можно определить как отношение интервала времени t к величине износа Δ детали за этот интервал:

$$I = \frac{t}{\Delta}, \quad (2.4)$$

Приравняв выражения (2.3) и (2.4), получаем, что наработку до достижения деталию предельного значения износа, можно определить как:

$$t_{np} = kH\Delta_{np}. \quad (2.5)$$

Для обеспечения равного ресурса новой неупрочненной детали толщины δ с допустимым износом Δ_0 , твердостью H_0 и детали, наплавленной износостойким валиком высотой δ_n и твердостью H_n , должно соблюдаться следующее условие:

$$k_n H_n \delta_n + k_p H_p \Delta_0 \geq k_0 H_0 \Delta_0, \quad (2.6)$$

где H_p – твердость слоя закаленного металла детали, подвергнутого разупрочняющему термическому воздействию процесса наплавки, k_n , k_p , k_0 – постоянные коэффициенты для наплавленного, разупрочненного и исходного основного металла.

Условие (2.6) справедливо, если толщина δ_p разупрочненной зоны основного металла равна или превышает допустимую величину износа Δ_0 основного металла. Если же $\delta_p < \Delta_0$ (рисунок 2.2), то неравенство (2.6) будет иметь следующий вид:

$$k_n H_n \delta_n + k_0 H_0 \delta_{осн} + k_p H_p \delta_p \geq k_0 H_0 \Delta_0, \quad (2.7)$$

где $\delta_{осн} = \Delta_0 - \delta_p$.

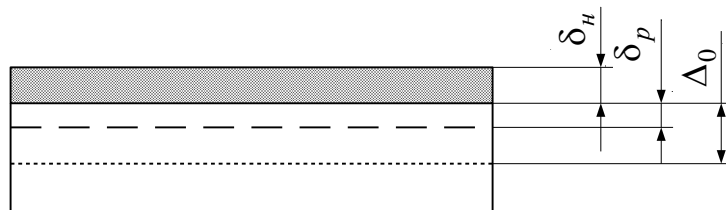


Рис. 2.2 – Схема для расчета параметров наплавляемого валика металла

В случае, когда твердость износостойкого наплавленного слоя превышает твердость основного и разупрочненного металла не более чем на HRC 10 – 15, можно принять допущение: $k_n = k_0 = k_p$. С учетом этого допущения неравенство (2.7) после преобразований можно представить так:

$$H_n \delta_n \geq H_0 (\Delta_0 - \delta_{осн}) - H_p \delta_p. \quad (2.8)$$

В случае, если толщина δ_p разупрочненной зоны основного металла равна или превышает допустимую величину износа Δ_0 основного металла, неравенство (2.6) с учетом принятого допущения можно привести к виду:

$$H_n \delta_n \geq \Delta_0 (H_0 - H_p). \quad (2.9)$$

Выражения (2.8) и (2.9) были получены, исходя из условия равных ресурсов нового и упрочненного отвала. На практике же требуется, чтобы технология упрочнения была экономически оправдана более высоким ресурсом, например, в n раз, упрочненных деталей по сравнению с новыми. Для этого правые части неравенств (2.6) и (2.7) умножим на n и после преобразований получим:

$$H_n \delta_n = nH_0 [\Delta_0 - (\delta_{очн}/n)] - H_p \delta_p, \quad (2.10)$$

$$H_n \delta_n = n\Delta_0 [H_0 - (H_p/n)], \quad (2.11)$$

где $n > 1$ – коэффициент увеличения ресурса упрочненного отвала по сравнению с новым.

Полученные уравнения позволяют приблизительно оценить высоту валика наплавленного металла. В расчетах приняли, что твердость основного металла составляет HRC 50 [101], твердость наплавленного металла HRC 60 тогда, полагая $n = 1,5 \dots 2,0$ и с учетом того, что ширина разупрочненной зоны основного металла отвала зависит от техники и режимов наплавки, в среднем, её значения находятся в диапазоне 1,5-3 мм, получаем, что высота валика должна составлять 2...3 мм.

2.2.1.2 Выбор параметров наложения точек наплавленного металла с учетом прогнозируемой износостойкости деталей плугов

Вследствие термического воздействия при нанесении точек из высокоуглеродистого присадочного металла (твердостью HRC 60) основной металл детали в окрестности точек разупрочняется на 8 – 10 единиц по шкале твердости Роквелла [82]. Для определения количества точек наплавленного

металла, которое следует наносить на упрочняемую поверхность и какого диаметра должны быть эти точки, чтобы зоны разупрочнения существенно не влияли на общую износостойкость упрочняемых деталей плуга, была составлена следующая расчетная модель.

Предположим, что имеется некая упрочненная точечной техникой рабочая поверхность детали площадью S , на которую нанесено N точек наплавленного металла диаметром d_m . Разупрочненные зоны имеют форму колец, располагающихся вокруг нанесенных точек. Будем считать, что внутренний диаметр кольца равен d_m , а внешний – d_p . Отсюда, площадь наплавленного металла S_n в общей площади упрочненной поверхности равна:

$$S_n = N \frac{\pi d_m^2}{4}. \quad (2.12)$$

Площадь разупрочненной поверхности равна:

$$S_p = N \frac{\pi(d_p^2 - d_m^2)}{4}. \quad (2.13)$$

Площадь основного металла, не подвергшегося разупрочнению, равна:

$$S_o = S - S_n - S_p. \quad (2.14)$$

Если не принимать во внимание выпуклость точек наплавленного металла, то есть, допустить, что они имеют плоскую форму, то можно предположить, что средняя износостойкость упрочненной поверхности I_{cp} будет зависеть от соотношения твердостей и площадей трех разнородных зон: зоны наплавленного металла площадью S_n и твердостью H_n , зоны разупрочненного основного металла площадью S_p и твердостью H_p , а также от зоны основного неразупрочненного металла площадью S_o и твердостью H_o .

В первом приближении значение относительной средней износостойкости упрочненной поверхности можно оценить по формуле:

$$I_{cp} = k_n H_n \frac{S_n}{S} + k_p H_p \frac{S_p}{S} + k_o H_o \frac{S_o}{S}. \quad (2.15)$$

Подставляя (2.12 – 2.14) в (2.15), после преобразований получаем:

$$I_{cp} = N \frac{\pi d_m^2}{4S} (k_n H_n - k_p H_p) + N \frac{\pi d_p^2}{4S} (k_p H_p - k_o H_o) + k_o H_o. \quad (2.16)$$

Тогда повышение износостойкости упрочненной поверхности составит

$$n = \frac{I_{cp}}{k_o H_o} \quad (2.17)$$

или

$$n = \frac{N \frac{\pi d_m^2}{4S} (k_n H_n - k_p H_p) + N \frac{\pi d_p^2}{4S} (k_p H_p - k_o H_o) + k_o H_o}{k_o H_o}. \quad (2.18)$$

В качестве примера на рисунке 2.3 представлены результаты расчетов величины n по формуле (2.18). Анализ графиков (рисунок 11), показывает, что диаметр точек наплавленного металла влияет на износостойкость сильнее, чем размер зон разупрочнения. Так, уменьшение диаметра точки на 2 мм при неизменности прочих параметров приводит к уменьшению относительной средней износостойкости приблизительно на 30%, в то время как уменьшение диаметра внешней окружности разупрочненных зон на 2 мм при постоянстве остальных параметров – к уменьшению износостойкости примерно на 5%.

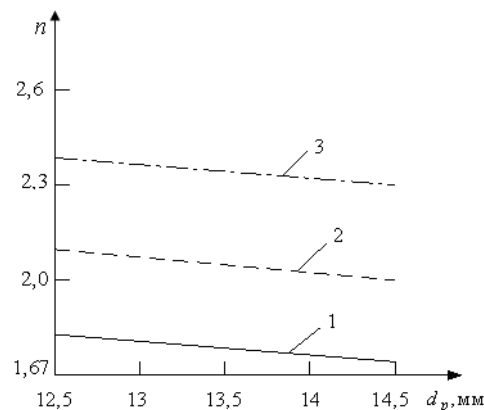


Рис. 2.3 – Зависимость повышения износостойкости от диаметра d_p внешней окружности зоны разупрочнения при различных диаметрах точек наплавленного металла (1 – $d_m = 8$ мм; 2 – $d_m = 9$ мм; 3 – $d_m = 10$ мм; $H_o = \text{HRC } 50$; $H_p = \text{HRC } 40$; $H_n = \text{HRC } 60$; $k_n = 1,8$; $k_p = 0,5$; $k_o = 0,6$; $N = 105$; $S = 14000 \text{ мм}^2$)

Формула (2.14) справедлива только в том случае, когда на упрочняемой поверхности площадью S имеются все три зоны: зоны наплавленного, разупрочненного и основного металлов. Это возможно в том случае, когда количество точек наплавленного металла, размещенных на поверхности площадью S , таково, что зоны разупрочнения не соприкасаются и не перекрывают друг друга. Другими словами, если соблюдается следующее условие:

$$N < \frac{4S}{\pi d_p^2}. \quad (2.19)$$

Из (2.18) можно определить количество точек, которое должно быть нанесено на упрочняемую поверхность площадью S , чтобы её износостойкость увеличилась в n раз:

$$N = \frac{k_o H_o (n-1) 4S}{\pi d_m^2 (k_n H_n - k_p H_p) + \pi d_p^2 (k_p H_p - k_o H_o)}. \quad (2.20)$$

Проведем с помощью формулы (2.20) расчет количества точек и расстояний между ними с учетом прогнозируемой износостойкости для схем точечной техники упрочнения отвалов корпусов плугов.

Тонкостенные детали отвалов корпусов плугов толщиной до 8 мм необходимо во избежание прожогов и термических деформаций упрочнять с использованием небольших сварочных токов. Опыт применения точечной техники наплавки показывает, что при сварочном токе 120 – 140 А за время 1 – 1,2с объем наплавленного металла принимает полусферическую форму диаметром 6 – 8 мм [151, 152]. При большем времени горения дуги объем принимает форму сферической капли. Такая форма нежелательна, так как увеличивает вероятность отрыва объема наплавленного металла от основного в процессе эксплуатации детали. Таким образом, оптимальным диаметром точек наплавленного металла для тонкостенных деталей является диаметр 6...8 мм.

Рассчитаем количество точек, которое должно быть нанесено на

упрочняемую поверхность детали площадью S , чтобы её износостойкость увеличилась в n раз.

Исходными данными для расчета примем следующие величины: диаметр наплавляемой точки $d_m = 8$ мм; твердость основного металла наплавляемой детали – $H_o = \text{HRC } 50$; твердость разупрочненного металла $H_p = \text{HRC } 40$; твердость наплавляемого металла $H_n = \text{HRC } 60$; $k_n = 1,8$ – коэффициент, характеризующий линейное изменение величины износа во времени наплавленного металла; $k_p = 0,5$ – коэффициент, характеризующий линейное изменение величины износа во времени разупрочненного металла; $k_o = 0,6$ – коэффициент, характеризующий линейное изменение величины износа во времени основного металла детали.

Коэффициенты линейного изменения износа взяты равными коэффициентам для железоуглеродистых сплавов [23, 67, 76], чьи твердости приблизительно соответствуют твердости наплавляемого, основного и разупрочненного металлов деталей.

Определим размер разупрочненной зоны, исходя из расчета температурного поля. Для расчета температурного поля примем схему сосредоточенного точечного источника, действующего на поверхности полубесконечного поля. Расчетная формула для такой схемы имеет вид [25, 77, 151]:

$$T(R,t) = \frac{2Q}{c\gamma 4\pi a t} e^{-\frac{R^2}{4at}}, \quad (2.21)$$

где $T(R,t)$ – температура рассматриваемой точки, находящейся на расстоянии R от точки внесения тепла через время t ; $c\gamma$ – удельная объемная теплоемкость нагреваемого тела; a – коэффициент температуропроводности; Q – количество теплоты, вводимой сварочным источником.

Количество теплоты можно определить по формуле:

$$Q = \eta \cdot I \cdot U, \quad (2.22)$$

где I, U – рабочий ток и напряжение сварочного источника постоянного

тока; η - коэффициент, представляющий собой отношение эффективной мощности дуги к её полной мощности.

Для нахождения радиуса внешней окружности зоны разупрочнения подставим в уравнение (2.21) значение температуры начала превращения мартенситной структуры в стали при нагреве, то есть температуры, при нагреве выше которой закаленный металл разупрочняется. Значение этой температуры для среднеуглеродистых сталей составляет 350°C [76, 77].

Подставляя в формулу (2.21) значение температуры начала отпускных превращений в стали, после преобразований получаем выражение для расчета радиуса внешней окружности разупрочненной зоны:

$$R_p = \sqrt{4at \cdot \ln \frac{2Q}{T_{M_n} \cdot c\gamma (4\pi at)^{1,5}}} \quad (2.23)$$

Так, для следующих исходных данных [76, 155]: $c\gamma = 4,8 \cdot 10^6 \text{ Дж/м}^3\text{C}$, $a = 7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, $t = 1 \text{ с}$, $I = 120 \text{ А}$, $U = 20 \text{ В}$, $\eta = 0,8$, радиус разупрочненной зоны равен: $R_p = 5,4 \text{ мм}$. Для тока, равного 140 А , и неизменности остальных параметров радиус возрастает до $R_p = 5,7 \text{ мм}$.

Для расчета параметров схемы упрочнения принимаем диаметр d_p внешней окружности разупрочненной зоны равным $11,5 \text{ мм}$.

Максимальное количество точек N_{\max} , которое можно разместить на упрочняемой поверхности, чтобы выполнялось условие (2.19), равно отношению $\frac{4S}{\pi d_p^2}$, округленному до ближайшего целого числа в меньшую сторону.

Расстояние между точками зависит от порядка их расположения. Наиболее перспективно для увеличения износостойкости расположение точек в шахматном порядке. Но, чтобы рассчитать расстояние L между центрами точек, воспользуемся простой моделью. Предположим, что точки нанесены на упрочняемую поверхность в ряд на одинаковом расстоянии друг от друга, а

внешние границы окружностей зон разупрочнения касаются границ прямоугольной поверхности площадью S (рисунок 2.4).

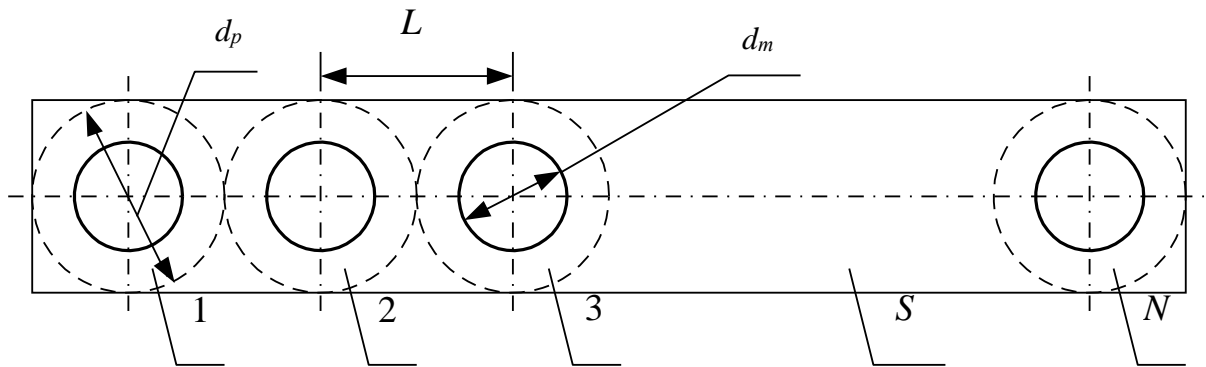


Рисунок 2.4 – Схема для расчета расстояния L между центрами точек, нанесенных на упрочняемую поверхность

Исходя из геометрических построений, получаем формулу для расчета расстояния L между центрами точек:

$$L = \frac{\left((S - d_p^2) / d_p \right)}{N - 1}. \quad (2.24)$$

Результаты расчета по формулам (2.19) и (2.24) для указанных выше исходных данных были сведены в таблицу 2.3.

Таблица 2.3 – Параметры наплавки отвала плуга

Наименование детали	N_{\max}	Коэффициент увеличения износостойкости, n	Количество точек наплавленного металла, N	Расстояние между точками L , мм
Отвал плуга Kvernerland $S = 72000 \text{ мм}^2$	244	1,5	122	51,6
		1,6	146	43,1
		1,7	171	37,8
		1,8	195	32,2
		1,9	220	28,5
		2,0	244	25,7

Таким образом, расчет показывает, что при выборе соответствующих параметров схемы точечного упрочнения тонкостенных деталей можно получить увеличение их износостойкости в 1,5...1,8 раз.

2.3 Математическое моделирование температурных полей при полуавтоматической вибродуговой наплавке

Для теоретической оценки эффективности применения вибродугового процесса применительно к наплавке тонкостенных деталей выполняется математическое моделирование температурных полей [25].

Расчет температурных полей при сварке и наплавке основан на решении дифференциального уравнения теплопроводности [77, 120, 151, 152]

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right), \quad (2.25)$$

где a – коэффициент температуропроводности, T – температура, t – время, x, y, z – координаты.

Коэффициент температуропроводности a составляет

$$a = \frac{\lambda}{c\rho}, \quad (2.26)$$

где λ – коэффициент теплопроводности, $c\rho$ – объемная теплоемкость.

Широко применяются аналитические решения уравнения (2.25), полученные благодаря ряду упрощений и схематизации условий реального сварочного процесса [77, 151, 152]. Так, в зависимости от геометрических размеров детали принимаемая расчетная схема может соответствовать случаям полубесконечного тела, пластины или стержня. Сварочный источник теплоты рассматривается в качестве точечного, линейного, плоского, или нормально-распределенного источника.

На основании проведенного анализа конструктивных особенностей деталей плугов, случаи наплавки валиков на плоскости быть сведены к расчетным схемам полубесконечного тела и пластины [37].

Распределение температурных полей точечного подвижного источника в полубесконечном теле описывается выражением

$$T(x, y, t) = T_n + \int_0^t \frac{2q(t')}{c\rho\sqrt{[4\pi a(t-t')]^3}} \exp\left(-\frac{(x-vt')^2 + y^2 + z^2}{4a(t-t')}\right) dt', \quad (2.27)$$

где T_n – начальная температура детали, $q(t)$ – мощность теплового источника, v – скорость движения источника.

Распределение температурных полей в пластине при действии линейного теплового источника описывается выражением

$$T(x, y, t) = T_n + \int_0^t \frac{q(t')}{4\pi c\rho\delta a(t-t')} \exp\left(-\frac{(x-vt')^2 + y^2}{4a(t-t')} - b(t-t')\right) dt', \quad (2.28)$$

где δ – толщина пластины, b – коэффициент теплоотдачи.

Коэффициент теплоотдачи рассчитывается по зависимости

$$b = \frac{2\alpha}{c\rho\delta}, \quad (2.29)$$

где α – коэффициент поверхностной теплоотдачи.

Выражение для расчета температурных полей при наплавке граней толстостенных деталей [77, 151, 152] получим на основе зависимости (2.28), воспользовавшись методом отражения и введя фиктивный источник теплоты. Так, точечный источник мощностью $q(t)$, действующий в точке A на поверхности $C-C'$ полубесконечного тела $C-B-C'$, привел бы [37] к возникновению теплового потока $Q + Q_\phi$ (рисунок 2.6).

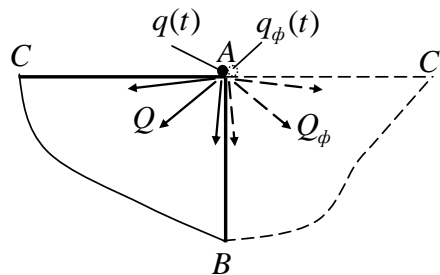


Рисунок 2.6 – Схема действия фиктивного точечного источника на ребре толстостенной детали

Из-за ограниченности расчетной области поверхностью $A-B$ тепловой поток Q_ϕ будет отражаться от нее и направляться в область $C-A-B$. Для учета влияния этого отраженного теплового потока на температурные поля в области $C-A-B$ введем в точку A дополнительный фиктивный источник теплоты мощностью $q_\phi(t) = q(t)$. Тогда температурное поле в теле $C-A-B$ будет описываться зависимостью

$$T(x, y, t) = T_n + \int_0^t \frac{4q(t)}{c\rho\sqrt{[4\pi a(t-t')]^3}} \exp\left(\frac{(x-vt')^2 + y^2 + z^2}{4a(t-t')}\right) dt'. \quad (2.30)$$

Случай наплавки торца тонкостенной детали можно свести к расчетной схеме [37], поясненной на рисунке 2.7

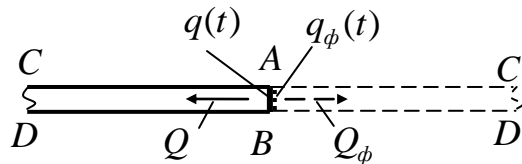


Рисунок 2.7 – Схема действия фиктивного линейного источника на торце тонкостенной детали

Линейный источник мощностью $q(t)$ действует на торце $A-B$ тонкостенной детали $C-A-B-D$. Для расчета температурных полей в детали можно воспользоваться выражением (2.31), учитывая наличие дополнительного фиктивного теплового источника $q_\phi(t) = q(t)$, расположенного на торце $A-B$

$$T(x, y, t) = T_n + \int_0^t \frac{2q(t)}{4\pi c\rho\delta a(t-t')} \exp\left(\frac{(x-vt')^2 + y^2}{4a(t-t')} - b(t-t')\right) dt'. \quad (2.31)$$

Расчет температурных полей от тепловых источников, действующих вблизи кромок, выполним также с помощью дополнительных фиктивных тепловых источников [25, 37, 151, 152]. Для выполнения условия адиабатической границы дополнительный фиктивный источник мощностью $q_\phi(t) = q(t)$ располагается

симметрично реальному относительно ограничивающей поверхности $A-B$ (рисунок 2.8).

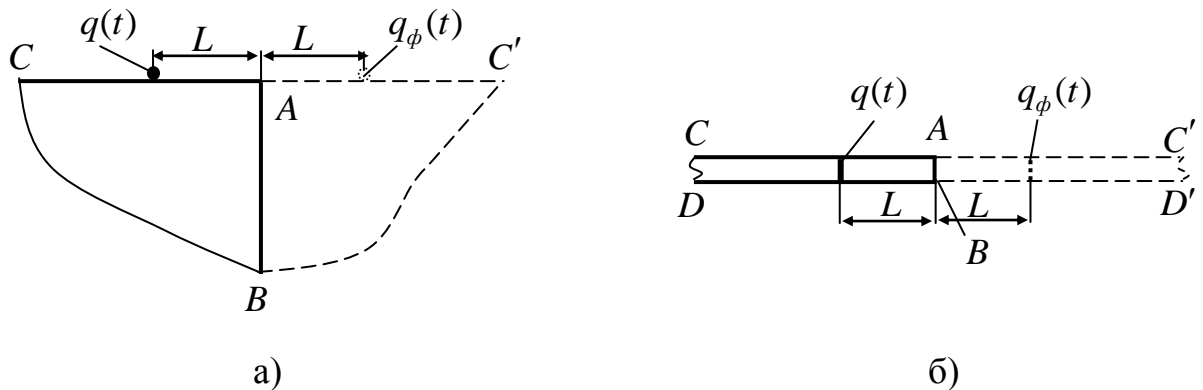


Рисунок 2.8 – Схемы расположения фиктивного точечного источника при наплавке валика вблизи ребра на толстостенной детали а) и тонкостенной детали б)

С учетом расположения фиктивного теплового источника мощностью $q_\phi(t)$ на поверхности полубесконечного тела (рисунок 2.8 а) сварочный цикл в произвольной точке с координатами (x, y, t) можно рассчитать по следующим зависимостям

$$T(x, y, t) = T_n + T_q + T_\phi \quad (2.32)$$

$$T_q = \int_0^t \frac{2q(t')}{c\rho\sqrt{[4\pi a(t-t')]^3}} \exp\left(\frac{(x-vt')^2 + y^2 + z^2}{4a(t-t')}\right) dt' \quad (2.33)$$

$$T_\phi = \int_0^t \frac{2q(t')}{c\rho\sqrt{[4\pi a(t-t')]^3}} \exp\left(\frac{(x-vt')^2 + (2L+y)^2 + z^2}{4a(t-t')}\right) dt', \quad (2.34)$$

где L - расстояние от теплового источника до кромки детали.

Для случая наплавки тонкостенной детали получим следующее выражение

$$T(x, y, t) = T_n + T_q + T_\phi \quad (2.35)$$

$$T_q = \int_0^t \frac{2q(t')}{4\pi c\rho\delta a(t-t')} \exp\left(\frac{(x-vt')^2 + y^2}{4a(t-t')} - b(t-t')\right) dt' \quad (2.36)$$

$$T_{\phi} = \int_0^t \frac{2q(t')}{4\pi c \rho \delta a(t-t')} \exp\left(\frac{(x-vt')^2 + (2L+y)^2}{4a(t-t')} - b(t-t')\right) dt'. \quad (2.37)$$

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 применим функциональную зависимость вида

$$q(t) = IU\mu \cdot S(t), \quad (2.38)$$

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.

Программирование функции $S(t)$ осуществим с помощью выражений [25]:

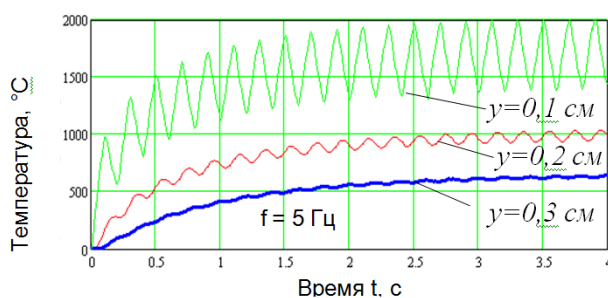
$$S(t) = \begin{cases} S \leftarrow 0 & \text{при } f(t) < d \\ S \leftarrow 1 & \text{при } f(t) \geq d \end{cases} \quad (2.39)$$

$$f(t) = \sin(\omega\pi t).$$

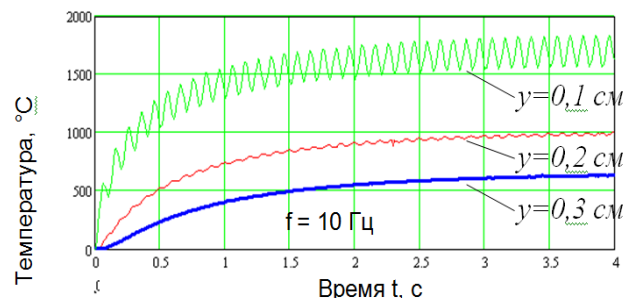
Функция $f(t)$ определяет частоту следования импульсов теплового источника за счет изменения переменной ω .

Импульсное действие сварочной дуги учитывали заданием программируемого периодического закона действия теплового источника. При этом расчет проводился для частоты пульсации f равной 5 и 10 Гц и удалении от оси шва y равном 0,1, 0,2 и 0,3 см.

Результаты математического моделирования представлены на рисунке 2.9



а)

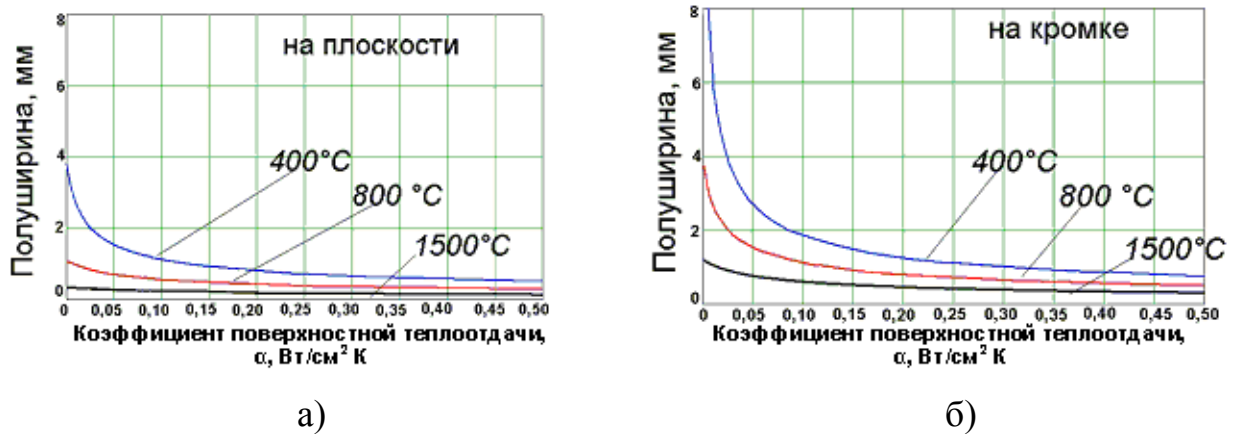


б)

Рисунок 2.9 – Термические циклы основного металла при частоте вибраций 5 Гц а) и при частоте вибраций 10 Гц б)

Расчеты показали, что при силе тока от 100 до 200А явление термоциклирования влияет на распределение температурных полей в основном металле при частоте менее 5 Гц. При частоте более 10 Гц импульсное действие теплового источника оказывает малое влияние на распределение температурных полей. Поэтому в дальнейших расчетах использовали постоянное среднее значение тока наплавки.

Результаты расчета сварочных циклов основного металла представлены на рисунке 2.10



а) б)
Рисунок 2.10 – Зависимость ширины изотерм от коэффициента поверхностной теплоотдачи а) на плоскости; б) на кромке

Расчеты сварочных циклов точек основного металла на оси шва показали, что как при наплавке поверхности, так и кромки даже небольшое увеличение коэффициента теплоотдачи приводит к резкому уменьшению ширины зоны термического влияния. Особенно важно это при наплавке кромок, когда без охлаждения зона термического влияния на кромке почти в 2 раза больше, чем на поверхности. Таким образом, охлаждение необходимо, особенно при наплавке кромок.

2.4 Математическое моделирование поверхностной твердости упрочняемой поверхности

Упрочнение слоя наплавленного металла происходит непосредственно в процессе наплавки за счет интенсивного теплоотвода в тело детали и принудительного охлаждения поверхности детали и зоны наплавки охлаждающей жидкостью, как правило, водой [27, 82, 100]. Однако твердость наплавленных поверхностей неоднородна – объемы закаленного металла разделены прослойками частично отпущенного металла с пониженной твердостью.

Наличие “мягких” участков может влиять на эксплуатационные характеристики почвообрабатывающих орудий, такие как износостойкость. Более того, нижние значения получаемой твердости наплавленной поверхности могут просто выходить за рамки указанных в нормативно-технической документации, что ставит вопрос и о принципиальной возможности упрочнения таких деталей. Учитывая, что производственный процесс упрочнения деталей носит, как правило, единичный или мелкосерийный характер, становится ясна важность предварительной оценки предполагаемой “пятнистости” поверхностной твердости в зависимости от режимов наплавки [24, 27].

Механизм формирования разупрочненных участков в покрытии пояснен на рис. 2.11

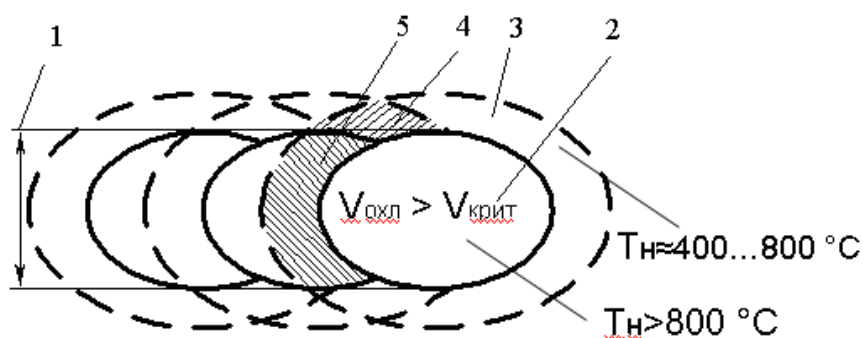


Рисунок 2.11 – Механизм формирования разупрочненных участков в покрытии:
 1 – ширина зоны закалки; 2 – зона закалки; 3 – зона отпуска;
 4 – зона двойного отпуска; 5 – зона однократного отпуска

Объемы металла сварных точек, претерпевающие в процессе нагрева аустенитное превращение, после прекращения действия импульса сварочного тока охлаждаются со скоростями порядка до 1500 °C/с и более, что приводит к их закалке [76, 77, 82]. В ранее закаленных объемах металла, нагреваемых до меньших температур, происходят процессы частичного отпуска. При этом, как видно из рисунка 2.11, объемы металла, расположенные у края формируемого валика наплавленного металла, нагреваются до более высоких температур отпуска и, следовательно, сильнее разупрочняются, чем расположенные на оси формируемого валика.

Известно, что температура начала аустенитного превращения (T_{Ac1}) в сталях зависит от условий нагрева. Также сдвигаются в область повышенных значений (на 100...150 °C) и температурные интервалы первого и третьего превращений при отпуске [82]. Таким образом, можно считать, что в условиях процесса разупрочнению подвергаются объемы металла, расположенные между изотермами 400...1000 °C.

Количественную оценку влияния температуры и продолжительности изотермического отпуска на степень разупрочнения закаленного металла можно получить из зависимости Холломона-Джейфа [77].

$$P = T[C + \lg(t)]10^{-3}, \quad (2.40)$$

где P – снижение твердости стали в единицах Роквелла после отпуска; T – температура изотермического отпуска в градусах Кельвина; t – длительность отпуска в часах; C – эмпирическая константа.

Используем данную зависимость для расчета степени разупрочнения участка, отпущенного единичным валиком. Очевидно, что наибольшему отпуску подвергаются объемы металла, нагреваемые до температур, близких к температурам начала аустенитного превращения. Примем наибольшую температуру нагрева таких объемов $T_{\max} = 1000$ °C. В качестве параметра T ,

используемого в выражении (2.40), примем среднеинтегральную температуру T_{cp} нагрева данных объемов

$$T_{cp} = \frac{\int_{t_{\langle +min \rangle}}^{t_{\langle -min \rangle}} T_H(t) dt}{t_{\langle -min \rangle} - t_{\langle +min \rangle}}, \quad (2.41)$$

где t_u – продолжительность импульса сварочного тока; $t_{\langle +min \rangle}, t_{\langle -min \rangle}$ – моменты достижения температуры $T_{min} = 400 \text{ } ^\circ\text{C}$ при нагреве и при охлаждении после окончания импульса сварочного тока; $T(t)$ – зависимость температуры нагрева и охлаждения от времени.

При аппроксимации функции $T(t)$ однотипными линейными зависимостями

$$T_{cp} = \frac{T_{max} + T_{min}}{2}. \quad (2.42)$$

Во всех рассмотренных случаях скорости охлаждения в диапазоне температур от 800 до 500°С градусов значительно превышают критические (рисунок 2.12), что указывает на образование закалочных структур в объемах металла, нагреваемого выше аустенитного превращения [24].

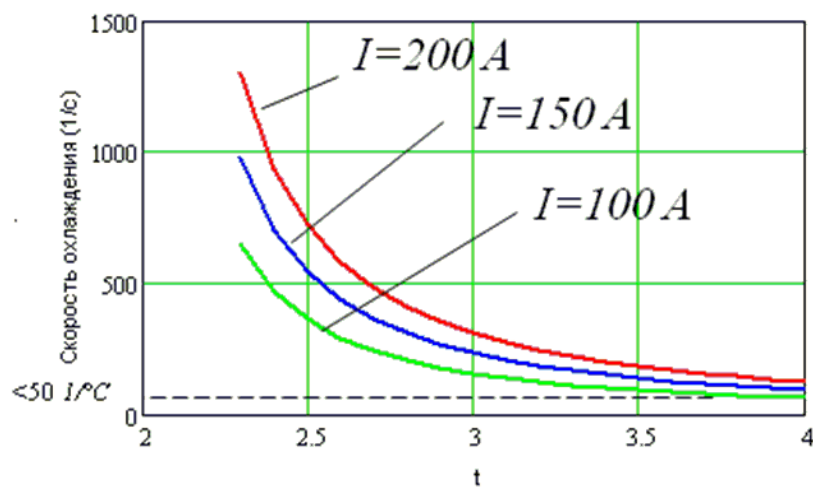


Рисунок 2.12 – Зависимость скорости охлаждения от силы сварочного тока

Значение разупрочнения (рисунок 2.13) при нагреве основного металла ниже этих температур оценивали по зависимости Холомона-Джейфа [24].

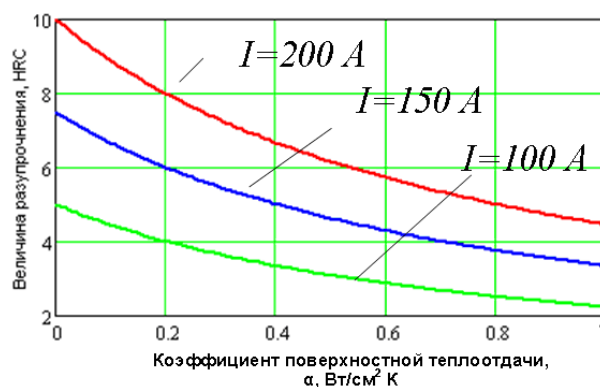


Рисунок 2.13 – Зависимость разупрочнения от коэффициента поверхностной теплоотдачи α при различных значениях сварочного тока

При анализе графических зависимостей можно заметить, что без охлаждения снижение твердости может достигать 10 ед. по шкале Роквелла. Снижение силы тока до 100 А и дополнительное охлаждение позволяют снизить разупрочнение до 3...6 ед. по шкале HRC. Таким образом, проведенные расчеты свидетельствуют о перспективности применения процесса вибродуговой наплавки в воде для упрочнения тонкостенных деталей отвалов.

2.5 Выводы

1. Определение зон упрочнения предложено выполнять на основе замеров износов бывшего в эксплуатации отвала и последующего расчета предложенного коэффициента локальной интенсивности изнашивания k_u . Упрочнению подлежат зоны с $k_u > 1$.

2. Получены зависимости, позволяющие сформулировать основные требования к технологии упрочнения (твердость наплавленного металла, долю наплавляемой поверхности, расстояние между зонами наплавленного металла, величину разупрочнения основного металла в зоне термического влияния (ЗТВ) и др.), необходимые для обеспечения заданного коэффициента локальной интенсивности изнашивания.

3. Расчетным путем установлено, что применение вибродуговой наплавки тонкостенных деталей позволяет уменьшить ширину зоны разупрочнения до 1...2 мм и снизить разупрочнение основного металла в зоне термического влияния с 10 до 3...6 единиц по шкале HRC.

3. РАЗРАБОТКА СПОСОБА И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКОЙ ВИБРОДУГОВОЙ НАПЛАВКИ

3.1 Разработка принципа действия и кинематической схемы подающего механизма для полуавтоматической вибродуговой наплавки

Дискретный режим горения дуги и широкие возможности управления скоростью охлаждения наплавленного металла при вибродуговой наплавке обуславливают основные преимущества этой технологии – небольшой нагрев и минимальную деформацию наплавленной детали, малую зону термического влияния, возможность получения наплавленного металла с требуемыми твердостью и износостойкостью без последующей термообработки [38, 100]. Как было отмечено ранее, в настоящее время вибрация проволоки при наплавке обеспечивается использованием устройств с электромагнитным или электромеханическим приводом, при этом колебательное движение через коромысло передается мундштуку наплавочной головки. Недостатком этих устройств являются значительные габариты и масса, что приводит к необходимости их размещения на наплавочных станках и реализации только механизированного варианта процесса наплавки.

Для устранения этого недостатка нами предложен способ полуавтоматической вибродуговой сварки с помощью устройства [118], схематично поясненного на рисунке 3.1 (Патент РФ №2301728).

Устройство состоит из привода 1 подачи электродной проволоки 2 с постоянной скоростью, в качестве которого могут быть использованы серийно выпускаемые механизмы подачи проволоки сварочных полуавтоматов. 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 [16,

118].

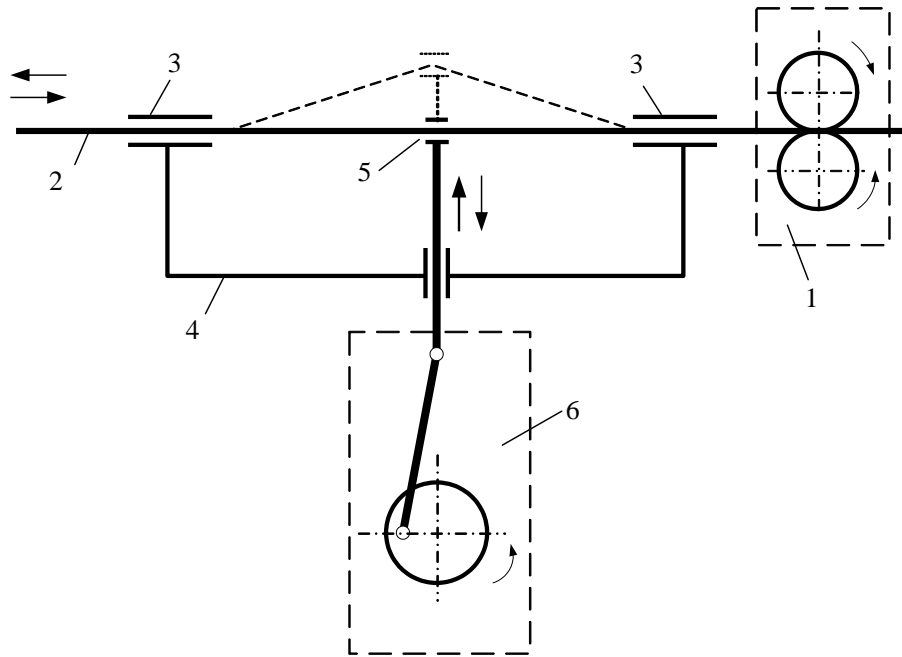


Рисунок 3.1 – Схема механизма подачи присадочной проволоки

Определим влияние основных параметров конструкции устройства на процесс импульсной подачи проволоки [4, 44, 53, 129, 136]. Расчетная схема [13, 32] представлена на рисунке 3.2.

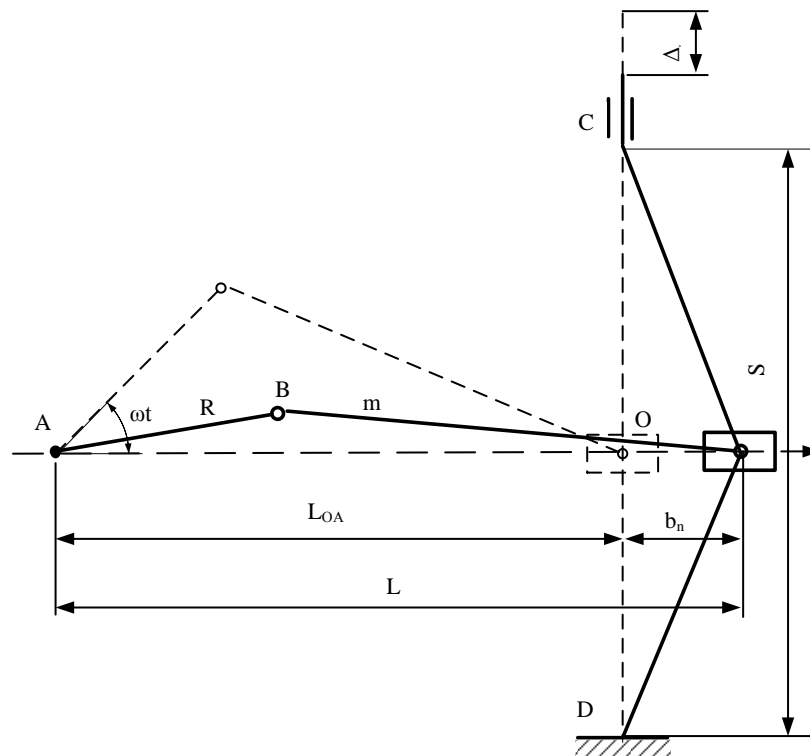


Рисунок 3.2 – Расчетная схема механизма подачи присадочной проволоки

Расстояние между осью вращения кривошипа т. А и ползуном составляет

$$L = R \cos \omega t + \sqrt{m^2 - (R \sin \omega t)^2}, \quad (3.1)$$

где R - радиус кривошипа

ω – угловая скорость вращения кривошипа,

t – время,

m - длина шатуна.

В нашем случае начало координат удобно поместить в т. О, лежащей на оси CD тракта подачи проволоки. Тогда перемещение ползуна можно описать зависимостью

$$b = R \cos \omega t + \sqrt{m^2 - (R \sin \omega t)^2} - L_{OA}, \quad (3.2)$$

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

Из геометрических построений получим, что при $L_{OA} = m$ за один оборот кривошипа проволока получит два изгиба с одинаковой амплитудой R .

Тогда перемещение ползуна относительно оси CD составит

$$b_1 = R \cos(\omega t) + \sqrt{m^2 - (R \sin(\omega t))^2} - m. \quad (3.3)$$

При $L_{OA} = m + R$ и $L_{OA} = m - R$ за один оборот кривошипа произойдет один изгиб проволоки с амплитудой $2R$.

Тогда

$$b_2 = R \cos(\omega t) + \sqrt{m^2 - (R \sin(\omega t))^2} - (m + R) \quad \text{при } L_{OA} = m + R, \quad (3.4)$$

и

$$b_3 = R \cos(\omega t) + \sqrt{m^2 - (R \sin(\omega t))^2} - (m - R) \quad \text{при } L_{OA} = m - R. \quad (3.5)$$

При значениях $(m - R \leq L_{OA} \leq m)$ и $(m \leq L_{OA} \leq m + R)$ будут иметь место два несимметричных изгиба проволоки.

Введем коэффициент k_1 асимметрии цикла

$$k_1 = \frac{L_{OA} - m}{(m + R) - m} \quad (3.6)$$

Или после сокращения

$$k_1 = \frac{L_{OA} - m}{R}. \quad (3.7)$$

Физический смысл коэффициента k_1 следующий. При симметричном изгибе $L_{OA} = m$ и $k_1 = 0$. При односторонних изгибах - $k_1 = 1$ при $L_{OA} = m + R$ и $k_1 = -1$ при $L_{OA} = m - R$. При несимметричных изгибах - $0 < k_1 < 1$ при $m \leq L_{OA} \leq m + R$, $-1 < k_1 < 0$ при $m - R \leq L_{OA} \leq m$.

Выразим значение L_{OA} через коэффициент k_1

$$L_{OA} = k_1 R + m. \quad (3.8)$$

Подставив (3.8) в (3.2) получим

$$b = R \cos(\omega t) + \sqrt{m^2 - (R \sin(\omega t))^2} - (k_1 R + m). \quad (3.9)$$

Влияние коэффициента асимметрии k_1 на абсолютные отклонения $|b|$ пояснено на рисунке 3.3.

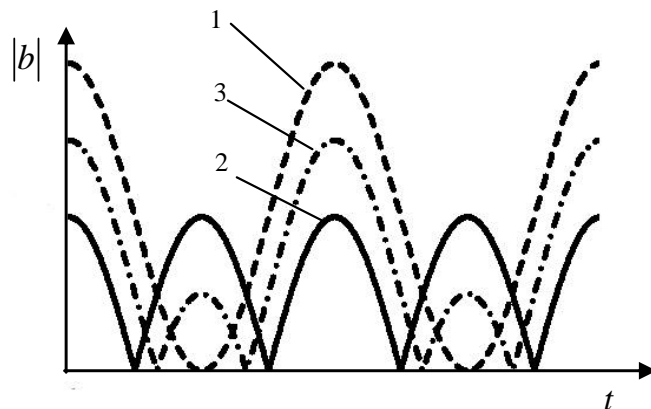


Рисунок 3.3 – Зависимость абсолютных отклонений от коэффициента асимметрии: 1 – $k_1 = 1$; 2 – $k_1 = 0$; 3 – $k_1 = 0,5$.

Продольные колебания ΔS торца проволоки, вызванные её поперечным изгибом b в первом приближении могут быть описаны зависимостью:

$$\Delta S = 2\sqrt{b^2 + \left(\frac{S}{2}\right)^2} - S. \quad (3.10)$$

Характер изменения абсолютных значений $|\Delta S|$ при различных значениях коэффициента k_1 пояснен на рисунке 3.4.

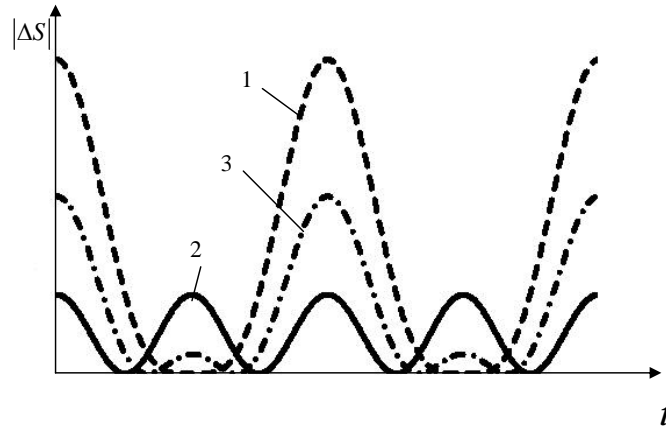


Рисунок 3.4 – Зависимость продольных колебаний торца проволоки от коэффициента асимметрии: 1 – $k_l=1$; 2 – $k_l=0$; 3 – $k_l=0,5$.

Дополнительные возможности по управлению импульсной подачей проволоки возникают при введении её начального изгиба b_0 , который возникает, если

$$L_{OA} > (m + R) \quad (3.11)$$

или

$$L_{OA} < (m - R). \quad (3.12)$$

Тогда перемещения ползуна будут описываться зависимостями:

$$b_4 = R \cos(\omega t) + \sqrt{m^2 - (R \sin(\omega t))^2} - (m + R + b_0) \quad \text{при } L_{OA} > (m + R), \quad (3.13)$$

$$b_5 = R \cos(\omega t) + \sqrt{m^2 - (R \sin(\omega t))^2} - (m - R - b_0) \quad \text{при } L_{OA} < (m - R). \quad (3.14)$$

Перемещение торца проволоки соответственно составят:

$$\Delta S_1 = 2\sqrt{b_4^2 + \left(\frac{S}{2}\right)^2} - \sqrt{b_0^2 + \left(\frac{S}{2}\right)^2} \quad (3.15)$$

$$\Delta S_2 = 2\sqrt{b_5^2 + \left(\frac{S}{2}\right)^2} - \sqrt{b_0^2 + \left(\frac{S}{2}\right)^2}. \quad (3.16)$$

Таким образом, предложенное устройство для вибродуговой полуавтоматической наплавки позволяет в широких диапазонах управлять параметрами вибрации торца проволоки за счет изменения расстояния $L_{оа}$, что может быть конструктивно легко осуществимо.

3.2 Исследование процесса возвратно-поступательной подачи присадочной проволоки в подающем канале

Возможность применения каналов подачи проволоки определяется двумя факторами:

- сопротивлением проталкивания проволоки,
- увеличением длины проволоки, находящейся в канале из-за её изгиба и скручивания.

Рассмотрим сопротивление проволоки в канале при её подаче. Ряд частных случаев рассмотрен в работах [70, 97, 122, 166], однако приведенные в них зависимости не позволяют выполнить оценку усилия проталкивания проволоки. Очевидно, что сила трения сопротивления при проталкивании проволоки через канал связана с её трением о стенки канала. По этой причине возникающая сила трения в значительной мере определяется особенностями деформации и скручивания проволоки в процессе её подачи.

В первую очередь рассмотрим случай изгиба проволоки диаметром d_{np} при её подаче по прямому каналу диаметром D из-за потери устойчивости.

Известно, что количество полуолн изгиба при потере устойчивости стержня можно определить по зависимости [1, 20]

$$n = \sqrt{\frac{FL_k^2}{\pi^2 EJ}}, \quad (3.17)$$

где F – сила, действующая на стержень (сила проталкивания проволоки),
 L – длина подающего канала,

EJ – жесткость проволоки при изгибе (E – модуль Юнга; J – осевой момент инерции сечения стержня).

Тогда при силе проталкивания проволоки от 50 до 100 Н и длине подающего канала от 1,5 до 2,0 м количество полуволин изгиба может составлять от 10 до 17.

Тогда одна волна полуизгиба проволоки происходит на длине канала. Причем величина длины полуволны не зависит от длины подающего канала.

$$l_k = \frac{L_k}{n}. \quad (3.18)$$

При силе проталкивания проволоки от 50 до 100 Н длина полуволин изгиба может составлять от 11 до 8 см.

Проволока изгибается в канале на величину изгиба v и упирается в стенки канала. В результате возникает сила трения $F_{тр}$.

Условием постоянной подачи присадочного материала является превышение величины силы проталкивания $F_{прот}$ над силой трения $F_{тр}$.

$$\Delta F = F_{прот} - F_{вых} = F_{тр}. \quad (3.19)$$

Для расчетов на устойчивость используется схема закрепления, представленная на рисунке 3.5:

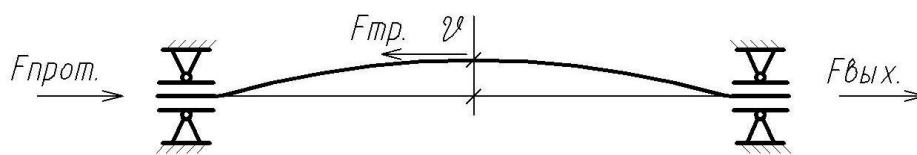


Рисунок 3.5 – Схема действия сил для расчетов на устойчивость

Для определения разницы сил проталкивания и на выходе из канала необходимо вычислить силу трения в точке контакта проволоки с направляющей (рисунок 3.6) [51].

$$F_{тр} = R_c \cdot f_{тр}, \quad (3.20)$$

где R_c – реакция в точке касания, $f_{тр}$ – коэффициент трения.

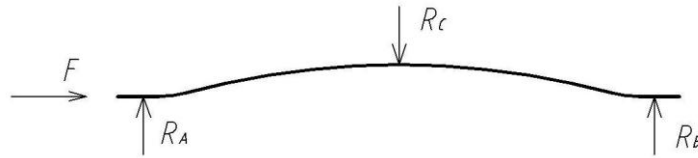


Рисунок 3.6 – Реакции в местах закрепления для расчетов на устойчивость

Для определения реакции R рассматриваем систему как статически неопределимую. Решая задачу, находим реакцию R как зависимость от силы проталкивания.

Методом сил раскрываем статически неопределимую систему [1].

$$\delta_{11} \cdot R_c + \Delta_{1F} = 0. \quad (3.21)$$

Коэффициент δ_{11} и свободный член Δ_{1F} находим с помощью интеграла Мора [1].

$$M = F \cdot v, \quad v = c_1 \cdot \text{Sin}(k \cdot z), \quad c_1 = \frac{D - d_{np}}{2}, \quad (3.22)$$

где c_1 – прогиб стержня в середине длины, k – коэффициент $\sqrt{\frac{F}{E \cdot I_x}}$, z – координаты, отсчитанные в данном направлении, D – диаметр направляющего канала, d_{np} – диаметр проволоки,

$$M_F^I = F \cdot (D - d_{np}) \cdot \text{Sin}\left(\sqrt{\frac{F}{EI_x}} \cdot Z\right); \quad \text{для } 0 \leq z \leq \frac{l}{2}. \quad (3.23)$$

$$M_F^{II} = F \cdot (D - d_{np}) \cdot \text{Sin}\left(\sqrt{\frac{F}{EI_x}} \cdot Z\right); \quad \text{для } \frac{l}{2} \leq z \leq l. \quad (3.24)$$

$$M_1^I = \frac{1}{2} z; \quad M_1^{II} = \frac{1}{2} (l - z). \quad (3.25)$$

$$\delta_{11}^I = \int_0^{\frac{l}{2}} \frac{1}{2} z \cdot \frac{1}{2} z dz = \frac{1}{4} \int_0^{\frac{l}{2}} z^2 dz = \frac{1}{4} \cdot \frac{z^3}{3} \Big|_0^{\frac{l}{2}} = \frac{1}{12} \cdot \frac{l^3}{8} = \frac{l^3}{96}. \quad (3.26)$$

$$\begin{aligned}\delta_{II}'' &= \int_{\frac{l}{2}}^l \frac{1}{2}(l-z) \cdot \frac{1}{2}(l-z) dz = \frac{1}{4} \int_{\frac{l}{2}}^l (l^2 - 2lz + z^2) dz = \frac{1}{4} \cdot (l^2 z - lz^2 + \frac{z^3}{3}) \Big|_{\frac{l}{2}}^l = \\ &= \frac{1}{4} \cdot \left[(l^3 - l^3 + \frac{l^3}{3}) - (\frac{l^3}{2} - \frac{l^3}{4} + \frac{l^3}{24}) \right] = \frac{l^3}{4} \cdot (\frac{1}{3} - \frac{1}{2} + \frac{1}{4} - \frac{1}{24}) = \frac{l^3}{96}\end{aligned}\quad (3.27)$$

$$\delta_{II} = \delta_{II}' + \delta_{II}'' \quad \text{и} \quad \delta_{II} = \frac{l^3}{96} + \frac{l^3}{96} = \frac{l^3}{48}\quad (3.28)$$

$$\begin{aligned}\Delta_{1F}' &= \int_0^{\frac{l}{2}} F \cdot (D - d_{np}) \cdot \frac{1}{2} \cdot z \cdot \text{Sin}(\sqrt{\frac{F}{EI_x}} \cdot z) dz = \frac{F \cdot (D - d_{np})}{2} \int_0^{\frac{l}{2}} z \cdot \text{Sin}(\sqrt{\frac{F}{EI_x}} \cdot z) dz = \\ &= \frac{F \cdot (D - d_{np})}{2} \left[\frac{\text{Sin}(\sqrt{\frac{F}{EI_x}} \cdot z)}{\frac{F}{EI_x}} - \frac{z \cdot \text{Cos}(\sqrt{\frac{F}{EI_x}} \cdot z)}{\sqrt{\frac{F}{EI_x}}} \right]_0^{\frac{l}{2}} = \\ &= \frac{F \cdot (D - d_{np})}{2} \left[\frac{\text{Sin}(\sqrt{\frac{F}{EI_x}} \cdot \frac{l}{2})}{\frac{F}{EI_x}} - \frac{\frac{l}{2} \cdot \text{Cos}(\sqrt{\frac{F}{EI_x}} \cdot \frac{l}{2})}{\sqrt{\frac{F}{EI_x}}} \right]\end{aligned}\quad (3.29)$$

$$\begin{aligned}\Delta_{1F}'' &= \int_{\frac{l}{2}}^l F \cdot (D - d_{np}) \cdot \frac{1}{2} \cdot (l-z) \cdot \text{Sin}(\sqrt{\frac{F}{EI_x}} \cdot z) dz = \\ &= \frac{F \cdot (D - d_{np})}{2} \left[(l \cdot \int_{\frac{l}{2}}^l z \cdot \text{Sin}(\sqrt{\frac{F}{EI_x}} \cdot z) dz - \int_{\frac{l}{2}}^l z \cdot \text{Sin}(\sqrt{\frac{F}{EI_x}} \cdot z) dz) \right] = \\ &= \frac{F \cdot (D - d_{np})}{2} \left[l \cdot \left(-\frac{\text{Cos}(\sqrt{\frac{F}{EI_x}} \cdot z)}{\sqrt{\frac{F}{EI_x}}} - \frac{\text{Sin}(\sqrt{\frac{F}{EI_x}} \cdot z)}{\frac{F}{EI_x}} + \frac{z \cdot \text{Cos}(\sqrt{\frac{F}{EI_x}} \cdot z)}{\sqrt{\frac{F}{EI_x}}} \right) \right]_{\frac{l}{2}}^l = \\ &= \frac{F \cdot (D - d_{np})}{2} \cdot \left(\frac{\text{Sin}(\sqrt{\frac{F}{EI_x}} \cdot l)}{\frac{F}{EI_x}} + \frac{l \cdot \text{Cos}(\sqrt{\frac{F}{EI_x}} \cdot \frac{l}{2})}{2 \cdot \sqrt{\frac{F}{EI_x}}} + \frac{\text{Sin}(\sqrt{\frac{F}{EI_x}} \cdot \frac{l}{2})}{\frac{F}{EI_x}} \right)\end{aligned}\quad (3.30)$$

$$\begin{aligned}
\Delta_{1F} &= \Delta_{1F}^I + \Delta_{1F}^{II} = \\
&= \frac{F \cdot (D - d_{np})}{2} \cdot \left(\frac{\text{Sin}\left(\sqrt{\frac{F}{EI_x}} \cdot \frac{l}{2}\right)}{\frac{F}{EI_x}} - \frac{l \cdot \text{Cos}\left(\sqrt{\frac{F}{EI_x}} \cdot \frac{l}{2}\right)}{2 \cdot \sqrt{\frac{F}{EI_x}}} - \frac{\text{Sin}\left(\sqrt{\frac{F}{EI_x}} \cdot l\right)}{\frac{F}{EI_x}} + \frac{l \cdot \text{Cos}\left(\sqrt{\frac{F}{EI_x}} \cdot \frac{l}{2}\right)}{2 \cdot \sqrt{\frac{F}{EI_x}}} + \frac{\text{Sin}\left(\sqrt{\frac{F}{EI_x}} \cdot l\right)}{\frac{F}{EI_x}} \right) = \\
&= \frac{EI_x \cdot F \cdot (D - d_{np})}{2} \cdot \left[2 \cdot \text{Sin}\left(\sqrt{\frac{F}{EI_x}} \cdot \frac{l}{2}\right) - \text{Sin}\left(\sqrt{\frac{F}{EI_x}} \cdot l\right) \right] \\
\nu &= 24 \frac{EI_x \cdot (D - d_{np})}{l^3} \left[2 \cdot \text{Sin}\left(\sqrt{\frac{F}{EI_x}} \cdot \frac{l}{2}\right) - \text{Sin}\left(\sqrt{\frac{F}{EI_x}} \cdot l\right) \right] = R_c = -\frac{\Delta_{1F}}{\delta_{11}}
\end{aligned} \tag{3.31}$$

Изгибающий момент в точке касания равен произведению силы проталкивания на величину изгиба проволоки в точке касания. Величину изгиба определяем с использованием задачи Эйлера [1]:

$\nu(z) = c_1 \cdot \text{Sin}(k \cdot z)$, где c_1 – прогиб стержня в середине длины, k – коэффициент $\sqrt{\frac{F}{E \cdot I_x}}$, z – координаты, отсчитанные в данном направлении

Таким образом, при использовании стальной проволоки $d_{np} = 1,6$ мм, диаметре направляющего канала $D = 2,5$ мм, силе проталкивания F от 50 до 100Н, модуле Юнга для стали $E = 2 \cdot 10^{11}$ Н/м², осевом моменте инерции сечения стержня $J_x = \frac{\pi \cdot d_{np}^4}{64}$ и длине направляющего канала l от 1,5 до 2,0 м, сила трения не превышает одного Ньютона. Таким образом, сила сопротивления мала, поэтому можно признать, что основное сопротивление связано с изгибанием канала и проталкиванием проволоки через мундштук сварочной горелки. Как отмечено выше, длина проволоки в канале l_{np} больше длины канала l_k из-за изгиба и скручивания проволоки при подаче.

При проталкивании проволоки к сварочной горелке в канале подачи возникают изгибы проволоки вследствие потери ее устойчивости (рисунок 3.7).

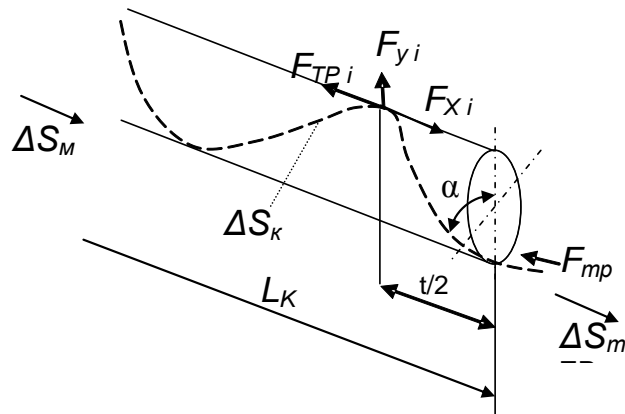


Рисунок 3.7 – Расчетная схема подачи проволоки по каналу

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 её изгиба

$$\Delta S_m = \Delta S_m + \Delta S_K. \quad (3.32)$$

На длине l_K , содержащей одну полудлину изгиба проволоки, длина проволоки l_{np} может быть определена как

$$l_{np} = \sqrt{(\pi(D - d_{np}))^2 + l_K^2}. \quad (3.33)$$

При длине канала L_K соответствующая длина проволоки в канале составит

$$L_{np} = n \cdot l_{np}. \quad (3.34)$$

Подставив полученные выражения в формулу (3.34) получаем

$$L_{np} = \sqrt{\frac{F \cdot L_K^2}{\pi^2 \cdot E \cdot J}} \cdot \sqrt{(\pi(D - d_{np}))^2 + l_K^2} = L_K \sqrt{(\pi(D - d_{np}))^2 \cdot \frac{F}{\pi^2 \cdot E \cdot \frac{\pi \cdot d_{np}^4}{64}} + 1}. \quad (3.35)$$

Отношение общей длины проволоки в канале L_{np} к общей длине подающего канала L_K

$$\frac{L_{np}}{L_k} = \sqrt{\left(\pi(D - d_{np})\right)^2 \cdot \frac{F}{\pi^2 \cdot E \cdot \frac{\pi \cdot d_{np}^4}{64}} + 1} \quad (3.36)$$

показывает, что общая длина проволоки в канале не зависит непосредственно от длины канала.

Таким образом, при силе проталкивания от 50 до 100 Н и диаметре подающего канала 2,5 мм при диаметре присадочной проволоки 1,6 мм отношение длины проволоки в канале к длине канала близка к единице и составляет 1,001... 1,002.

Разница общей длины проволоки в канале L_{np} и общей длины подающего канала L_k составляет

$$\Delta S_k = L_{np} - L_k = L_k \sqrt{\left(D - d_{np}\right)^2 \frac{64F}{\pi d_{np}^4 E} + 1} - L_k. \quad (3.37)$$

Выполненные расчеты показали, что с увеличением силы проталкивания, зазора между проволокой и стенками канала и длины канала происходит увеличение ΔS_k , 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_k может достигать 4 мм, что является неприемлемым.

Определяющим фактором допустимой длины канала является разница между длиной канала L и длиной проволоки l_{np} , находящейся в канале. С увеличением длины канала увеличивается число полувольтных изгибов n , сила трения $F_{тр}$ и превышение длины проволоки над длиной канала $\Delta L = l_{np} - L_k$.

На основании вышеизложенного, ограничиваем длину подающего канала 1,5 м. При разработке технологических рекомендаций необходимо указать недопустимость резких изгибов и скручивания подающего канала.

3.3 Разработка конструкции экспериментального механизма подачи проволоки для полуавтоматической вибродуговой наплавки

Для реализации процесса полуавтоматической вибродуговой наплавки согласно патента РФ на изобретение №2301728 с учетом зависимостей, полученных при разработке принципа действия и кинематической схемы, разработан экспериментальный образец устройства, представленного на рисунке 3.8 (а – вид спереди, б – вид сзади), позволяющий исследовать процесс импульсной циклической подачи присадочной проволоки в широких диапазонах варьирования кинематических параметров механизма [13, 31, 41]. Устройство состоит из сварной рамы 1, на основании которой размещен электродвигатель 2. Проволока 3 от серийного подающего механизма 4 подается к сварочной горелке через направляющие трубки 5 и гибкую трубку 6, в качестве которого была использована навитая из проволоки пружина. Пружина соединена со штоком 7 кривошипно-шатунного механизма. При вращении кривошипа происходит периодическое поперечное оттягивание гибкой трубки, приводящее к изменению длины канала подачи проволоки от подающего механизма к сварочной горелке, и, как следствие, возникновение возвратно-поступательной вибрации торца проволоки относительно мундштука горелки. Для управления амплитудой колебаний, реализации согласно заявленному способу процессов сварки и наплавки с несимметричными циклами вибрации, в устройстве предусмотрен ряд регулировочных средств. Длина изгибаемого участка гибкой трубки может быть уменьшена за счет упоров, устанавливаемых в прорези 8 корпуса механизма. Амплитуда возвратно-поступательного перемещения штока регулируется путем перестановки оси крепления шатуна 9 в отверстия фланца-кривошипа 10, выполненных на различном удалении от оси вращения фланца. Асимметрия циклов возвратно-поступательной вибрации проволоки регулируется изменением длины штока, который представляет собой сборочный узел: направляющая планка штока имеет прорезь 11, в которой установлен фиксирующий болт,

отпустив который, можно уменьшить или увеличить общую длину штока [13, 29, 31].

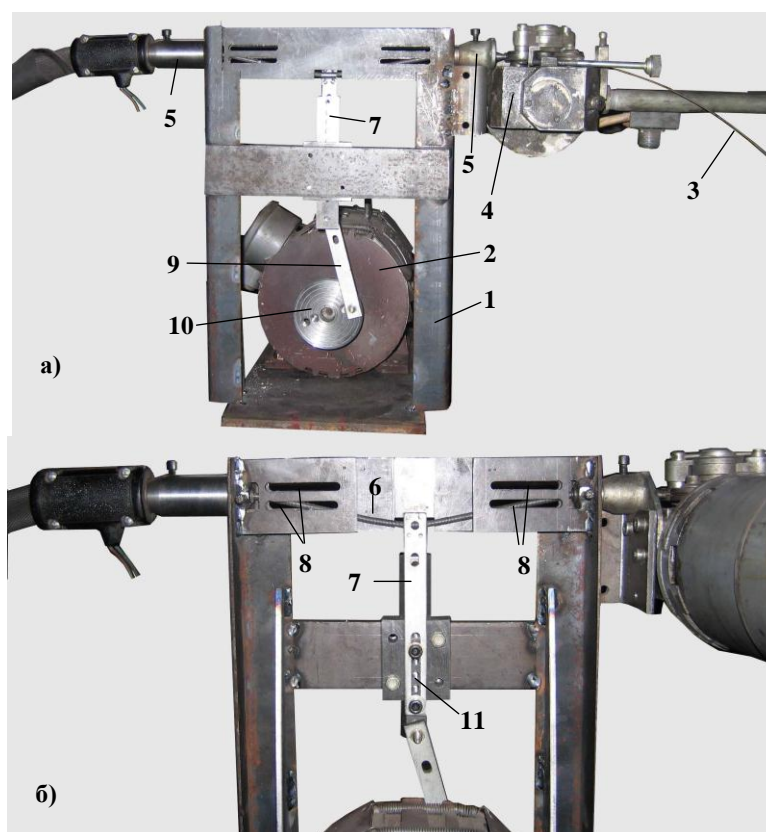


Рисунок 3.8– Экспериментальное устройство для подачи присадочной проволоки: а) вид спереди, б) вид сзади

Данный механизм обеспечивает максимальную амплитуду возвратно-поступательного перемещения проволоки при вращении кривошипа, которая составляет около 15 мм при одностороннем изгибе гибкой трубки, и около 7 мм при симметричном двустороннем изгибе. Эти значения значительно превышают амплитуды вибраций, применяемых при наплавке проволоками диаметром до 2 мм, но позволяют более детально исследовать непосредственно сам процесс подачи проволоки.

Следует отметить, что с помощью разработанного оборудования [40] могут быть реализованы следующие процессы:

- вибродуговая наплавка в среде охлаждающей жидкости или защитных газов (наплавка износостойких слоев);
- вибродуговая сварка в среде защитных газов (сварка тонколистового металла);

– сварка и наплавка с импульсной подачей проволоки (без замыкания дугового промежутка) с симметричным и несимметричным циклом подачи проволоки (повышение качества сварных соединений – уменьшение легирующих элементов, управление глубиной проплавления, управление термическим циклом и т.д.).

Расчетные 1 и экспериментально полученные 2 зависимости (рис.3.9) перемещения торца присадочной проволоки от угла поворота кривошипа, показывают их удовлетворительное соответствие.

Отклонения между данными, полученными путем математического моделирования, и экспериментальными объясняются изгибами проволоки в канале подающего механизма длиной около 2 м, а также сопротивлением проволоки в сварочной грелке. Таким образом, для более точных результатов при расчете перемещений торца проволоки необходимо учитывать конструктивные особенности направляющего канала и сварочной горелки.

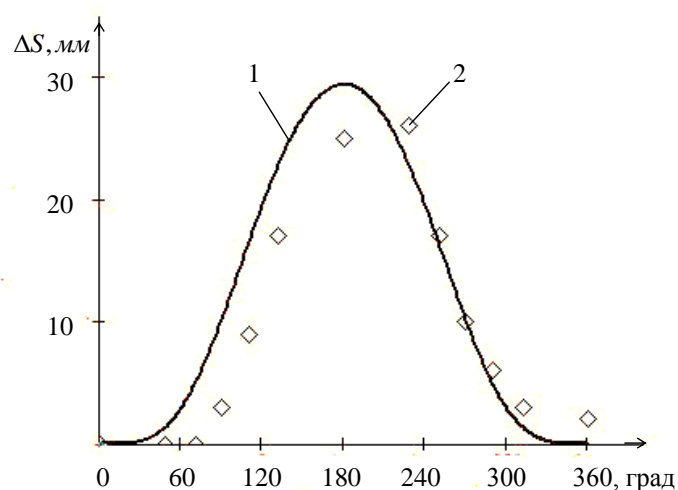


Рисунок 3.9 – Перемещение торца проволоки

Проведенные исследования показали пригодность применения разработанного механизма подачи проволоки для экспериментального исследования процесса полуавтоматической вибродуговой наплавки.

3.4 Предварительный расчет режимов вибродуговой наплавки отвалов плугов

Режим вибродуговой наплавки определяется электрическими и механическими параметрами [100, 161, 164]. К электрическим параметрам

относят напряжение и силу сварочного тока, полярность тока, индуктивность сварочной цепи. Механическими параметрами являются: скорость наплавки, скорость подачи проволоки, шаг наплавки, амплитуда вибрации и величина вылета проволоки. Качество получаемых при вибродуговой наплавке покрытий определяется правильным назначением электрических и механических параметров.

Марка присадочной проволоки выбирается в зависимости от требуемых свойств наплавленного слоя: твёрдости, износостойкости и условий работы детали [2, 5, 35, 100, 161].

Выбираем марку присадочной проволоки Нп-65Г ГОСТ 10543-98. Наплавочная проволока 65Г легированная с типичным химическим составом наплавленного металла: С – 0,60...0,71%, Мп – 0,90...1,2%, Si – 0,17...0,37%, Cr – не более 0,30 % Ni – не более 0,30 %. Типичная твердость наплавленного металла *HB* 230–310. Обеспечивает получение наплавленного металла с высокой износостойкостью.

Диаметр электродной проволоки определяется исходя из величины типа сварного соединения и положения шва в пространстве и толщины слоя, наносимого на поверхность материала (покрытия):

$$h = h_{TP} + z_1 + z_2, \quad (3.38)$$

где h_{TP} – требуемая толщина покрытия, мм; z_1 – припуск на обработку перед покрытием, мм (ориентировочно 0,05мм); z_2 – припуск на механическую обработку после нанесения покрытия, мм (последующая обработка не требуется);

$$h = 2 + 0,05 + 0 = 2,05 \text{ мм}$$

Диаметр присадочной проволоки $d_{np} = 1,6$ мм.

Ширина наплавленного слоя:

$$b = 2 \cdot d_{np} \quad (3.39)$$

$$b = 2 \cdot 1,6 = 3,2 \text{ мм}$$

Основными параметрами режимов механизированных способов наплавки,

являются сила тока (I , А), скорость подачи электродной проволоки ($V_{пр}$, м/мин), скорость наплавки (V_n , м/мин) и шаг наплавки (S , мм/об).

Силу сварочного тока можно определить, используя зависимости плотности тока D_I и коэффициента наплавки α_n от выбранного диаметра электрода, представленных на рисунке 3.10 [153]. По данным работы [164] $D_I = 55 \dots 75$ А/мм². В дальнейших расчетах примем $D_I = 55 \dots 70$ А/мм².

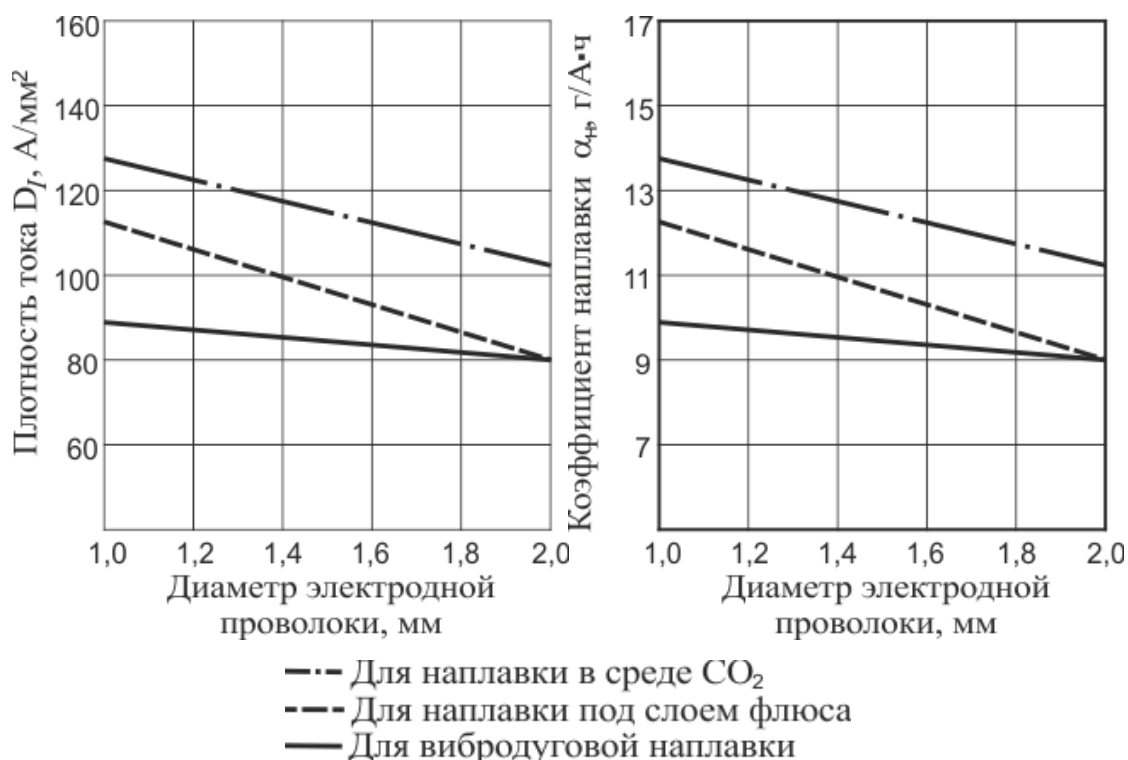


Рисунок 3.10 – Зависимость плотности тока и коэффициента наплавки от диаметра электродной проволоки [153]

Сила тока наплавки (I_n , А) определяется приблизительно по формуле [164]:

$$I_n = \frac{\pi}{4} \cdot d_{np}^2 \cdot D_I. \quad (3.40)$$

$$I_n = \frac{\pi}{4} \cdot 1,6^2 \cdot 70 = 140,67 \text{ А}$$

Силу тока наплавки принимаем 140А. Наплавка ведется на постоянном токе обратной полярности. Напряжение дуги определяется в зависимости от силы тока наплавки и составляет от 14 до 20В. Принимаем $U_d = 20$ В.

Скорость подачи электродной проволоки, м/ч, составит [164]

$$V_{np} = \frac{0,1 \cdot I_H \cdot U}{d_{np}^2} \quad (3.41)$$

$$V_{np} = \frac{0,1 \cdot 140 \cdot 20}{1,6^2} = 109,38 \text{ м/ч};$$

В работах [151, 152] скорость подачи V_{np} определяется по формуле:

$$V_{np} = \frac{4\alpha_p \cdot I_H}{\pi d_{np}^2 \cdot \rho} \quad (3.42)$$

где α_p - коэффициент расплавления проволоки, г/А·ч; d_{np} - диаметр электродной проволоки, мм; ρ - плотность наплавленного металла (для стали $\rho = 7,85$ г/см³).

Значение α_p рассчитывается по формуле

$$\alpha_p = 2 + \sqrt{\frac{I_{св}}{d_{np}}} \quad (3.43)$$

$$\alpha_p = 2 + \sqrt{\frac{140}{1,6}} = 11,35 \text{ г/А·ч}$$

$$V_{np} = \frac{4 \cdot 11,35 \cdot 140}{\pi \cdot 1,6^2 \cdot 7,85} = 100,73 \text{ м/ч}, \text{ м/ч}$$

Таким образом, расчеты по формулам (3.41) и (3.42) практически совпали. Принимаем $V_{np} = 100$ м/ч.

Подача или шаг наплавки S определяется ориентировочно как $S = (1,2 \dots 2,0) \cdot d_{np}$, $S = 2 \cdot d_{np} = 2 \cdot 1,6 = 3,2$ мм.

Скорость наплавки составит [164]:

$$V_n = \frac{\pi \cdot d_{np} \cdot V_{np} \cdot \eta}{4 \cdot h \cdot S \cdot k} \quad (3.44)$$

где η - коэффициент использования электродного металла, $\eta = 0,8 \dots 0,9$;

a - коэффициент, учитывающий отклонение фактической площади сечения наплавленного валика от площади прямоугольника, $a = 0,7 \dots 0,85$;

$$V_n = \frac{3,14 \cdot 1,6^2 \cdot 100 \cdot 0,9}{4 \cdot 2,05 \cdot 3,2 \cdot 0,7} = 39,38, \text{ м/ч}$$

При выборе скорости наплавки следует учитывать [100, 124], что между скоростью подачи электродной проволоки и скоростью наплавки должно быть выдержано соотношение V_{np}/V_n , для вибродуговой наплавки равное 1,3–3,3. Данное требование выполняется: $V_{np}/V_n = 100/39,38 = 2,54$ (наилучшие показатели при $V_{эл}/V_n = 2$)

Объем наплавленного металла, см^3 :

$$Q_{HM} = F_n \cdot h, \quad (3.45)$$

где F_n – площадь наплавленной поверхности, см^2 ; h – высота наплавленного слоя, см .

Для валика, наплавленного вдоль кромки отвала:

$$Q_{HM} = 63 \cdot 0,5 \cdot 0,3 = 9,45, \text{ см}^3$$

Масса расплавленного металла, г

$$G_n = Q_{HM} \cdot \rho \quad (3.46)$$

$$G_n = 9,45 \cdot 7,85 = 74,18 \text{ г}$$

Масса израсходованной сварочной проволоки, г, определяется по формуле

$$G_{np} = G_n (1 + \psi), \quad (3.47)$$

где ψ – коэффициент потерь на угар и разбрызгивание $\psi = 0,08 \dots 0,12$ [100]. Принимаем $\psi = 0,1$.

$$G_{np} = 74,18(1 + 0,1) = 81,6, \text{ г}$$

Это составляет 5,17 м.

Для расчета точечной наплавки принимаем, что максимальное количество точек $N = 104$ шт.

Объем наплавленного металла составит:

$$Q_{HM} = N \frac{1}{2} \cdot \frac{4}{3} \pi R_T^3 \quad (3.48)$$

$$Q_{HM} = 104 \frac{1}{2} \cdot \frac{4}{3} \pi \cdot 0,4^3 = 13,93 \text{ см}^3$$

Масса расплавленного металла по формуле (3.45) составит

$$G_n = 13,93 \cdot 7,85 = 109,35, \text{ г}$$

Масса израсходованной сварочной проволоки, г, определим по формуле (3.47):

$$G_{np} = 109,35(1 + 0,1) = 120,30, \text{ г}$$

Тогда длина проволоки в этом случае составит 7,62 м.

Таким образом, максимальный расход присадочной проволоки на упрочнение точками и валиками областей, в которых коэффициент интенсивности изнашивания превышает единицу, составит 12,8 м.

3.5 Выводы

1. Предложен способ полуавтоматической вибродуговой сварки, разработана кинематическая схема подающего механизма и определены его основные конструктивные и кинематические параметры.

2. Разработана конструкция подающего механизма (патент РФ №2301728) и создан опытный образец для экспериментального исследования процесса полуавтоматической вибродуговой наплавки, получены математические зависимости для расчета амплитуды и частоты вибрации торца проволоки.

3. 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 её 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.

4. Выполнен предварительный расчет основных параметров режима процесса вибродуговой наплавки.

4. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ УПРОЧНЕНИЯ ОТВАЛОВ ПЛУГОВ ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКОЙ ВИБРОДУГОВОЙ НАПЛАВКОЙ

4.1 Программа экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования проводились в два этапа: на первом – провели лабораторные исследования, связанные с изучением процесса полуавтоматической вибродуговой наплавки, неравномерности изнашивания отвалов, рациональным схемами упрочнения; на втором – производственные испытания упрочненных отвалов.

Для достижения цели и решения поставленных задач программой предусматривается проведение лабораторных исследований в следующей последовательности:

- разработать конструкторскую документацию и изготовить экспериментальный образец подающего механизма присадочной проволоки для полуавтоматической вибродуговой наплавки;

- исследовать процесс полуавтоматической вибродуговой наплавки. При этом базовыми параметрами процесса полуавтоматической вибродуговой наплавки приняты значения, определенные в теоретических исследованиях – сила тока наплавки от 100 до 200А, частота вибраций электрода 100 Гц, напряжение наплавки 20 В;

- исследовать величины износа отвалов плугов и определить коэффициенты локальной интенсивности изнашивания;

- определить зоны упрочнения отвалов плугов с учетом коэффициентов локальной интенсивности изнашивания и получить соответствующие схемы наложения сварочных швов для обеспечения равной износостойкости поверхности плужного отвала.

Для достижения цели и решения поставленных задач программой экспериментальных исследований в производственных условиях предусматривается:

– исследование процесса изнашивания упрочненных поверхностей отвалов плугов в процессе эксплуатации.

4.2 Методика проведения экспериментов в лабораторных условиях

4.2.1 Разработка методики экспериментального исследования процесса полуавтоматической вибродуговой наплавки

Лабораторные исследования процесса полуавтоматической вибродуговой наплавки проводятся для проверки возможности ведения вибродугового процесса в полуавтоматическом режиме, а также для выбора присадочного материала и режимов процесса упрочнения поверхностей плужных отвалов.

В результате опытов планируется проверить и уточнить конструктивные и кинематические параметры разработанного экспериментального устройства, обеспечивающие возможность ведения полуавтоматического процесса.

На первом этапе необходимо исследовать стабильность формирования валика наплавленного металла в условиях ручного перемещения сварочной горелки при различных амплитудах колебаний присадочной проволоки. Для этого необходимо определить амплитуду колебаний присадочной проволоки, при которой не будет наблюдаться отскакивание сварочной горелки от наплаваемой поверхности. Исходя из условия обеспечения прямолинейности перемещения сварочной горелки, экспериментальное исследование допустимой амплитуды вибрации присадочной проволоки проводится с использованием проволоки 65Г диаметром 1,6 мм. Сварочная дуга не зажигается. Траектория перемещения сварочной горелки фиксируется по следам ударного воздействия торца проволоки об опираемую поверхность. Удовлетворительной траекторию перемещения

сварочной горелки можно считать в случае формирования сплошной линии отпечатков без разрывов и единичных отскоков.

Далее необходимо провести опыты по определению значений скорости перемещения сварочной горелки и скорости наплавки в ручном режиме, обеспечивающими стабильность горения дуги и формирование валика наплавленного металла. Для проведения экспериментальных исследований присадочной проволокой также служит проволока 65Г диаметром 1,6 мм. В зону наплавки подается охлаждающая жидкость (раствор глицерина в воде). Для повышения стабильности горения дуги и снижения разбрызгивания в сварочную цепь включается сварочный дроссель. Средняя скорость наплавки на основании п.3.4 принята 39 м/ч. Реальная скорость перемещения сварочной горелки сварщиком определяется на основании анализа видеосъемки процесса наплавки на цифровую камеру.

В качестве рационального режима полуавтоматической вибродуговой наплавки принимаются значения, при которых обеспечена прямолинейность валика наплавленного металла и стабильность формирования шва.

Для контроля геометрических параметров швов необходимо провести наплавку точек и валиков на вырезанных из отвала плуга образцах. Необходимо измерить диаметры точек и длины и ширины валиков наплавленного металла.

Твердость упрочненных поверхностей деталей определяется по методу Роквелла на приборе ТК–2 в соответствии с требованиями ГОСТ 9013-59. Микротвердость образцов, вырезанных из отвала, измеряется на приборе ПМТ–3 (ГОСТ 9450-76) при нагрузке на индентор 1Н. Результаты измерений обрабатываются с помощью программы “Microsoft Excel”.

4.2.2 Разработка методики экспериментальных исследований износа неупрочненных отвалов плугов и определение коэффициентов локальной интенсивности изнашивания

С целью последующей разработки технологических схем наплавки необходимо выполнить исследования износов деталей плугов, уточнить зоны

преобладающего изнашивания, требующие преимущественного упрочнения.

Для измерения толщины отвала плуга в изношенных местах предлагается использовать разработанное приспособление (рисунок 4.1), которое состоит из следующих основных деталей: верхнего уголка 1, промежуточного профиля 2, нижнего профиля 3, зажима 4, микрометра 5, фиксирующего болта 6 и уголка 7.

Устройство представляет собой сварную конструкцию. Верхний уголок приварен к промежуточному профилю, в свою очередь приваренному к опорному нижнему профилю. На свободном конце уголка приварен зажим 4, в который вставлен микрометр 5, фиксируемый болтом 6. Для возможно более точного измерения толщины износа отвалов плугов в изношенных местах на нижний профиль приварен уголок 7, на который опирается поверхность отвала при измерениях.

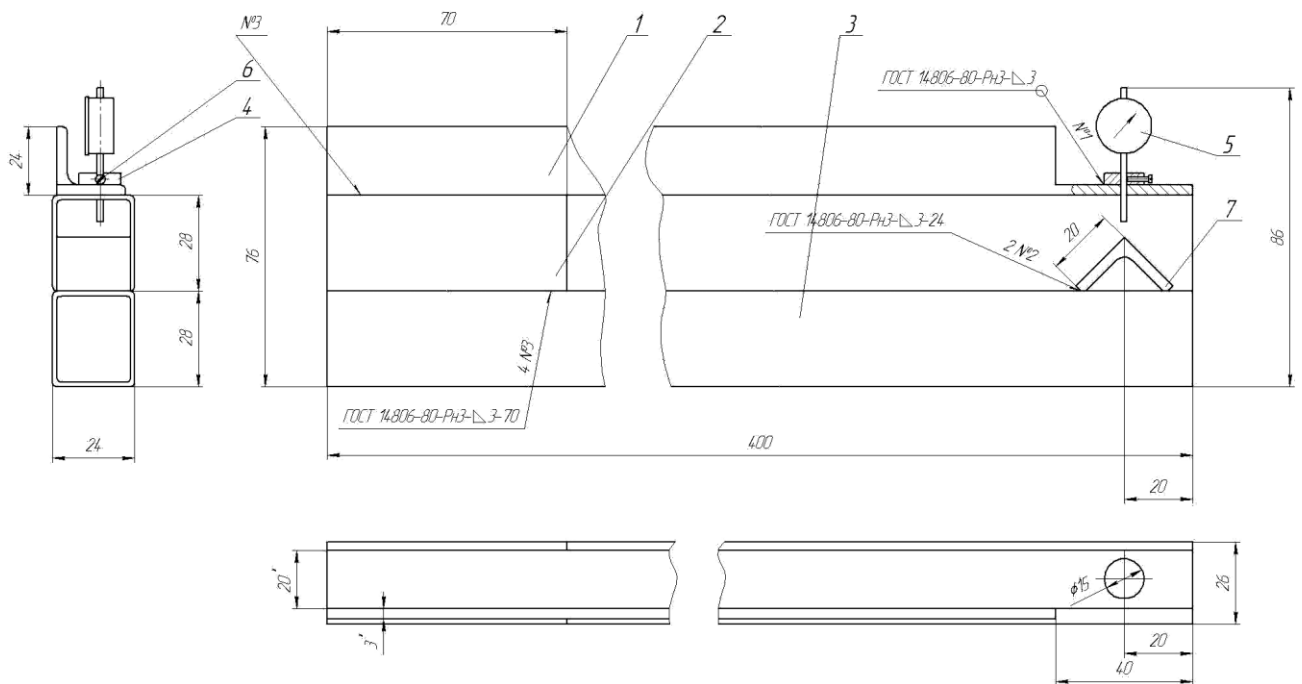


Рисунок 4.1 – Чертеж приспособления для измерения износа

Приспособление работает следующим образом: предварительно очищенный от грязи, пыли, растительных остатков отвал осматривается, визуально определяются наиболее изношенный участок отвала. Этот участок размечают и разлинейвают. На приспособлении оттягивают шток микрометра и вставляют тело отвала между верхним уголком и нижней опорой устройства. Выставляют

показания микрометра на нуль. Далее, устанавливая шток микрометра в полученных точках, измеряют толщину наиболее изношенных участков отвала плуга.

Для изучения изменения геометрии отвалов в процессе эксплуатации и разработки схем упрочняющей наплавки были проведены замеры толщин у 14 отвалов плугов Gregoire Besson разработанным приспособлением по предварительной разметке. Для определения величины износа определяли разность между исходной толщиной отвала и толщиной после эксплуатации. Для измерения были выбраны отвалы после наработки 100...200 га после пахоты на дерново-подзолистых легко- и среднесуглинистых почвах.

Измерение толщины проводилось (рисунок 4.2) по семи горизонтальным линиям (I – VII), расположенным на расстоянии 30 мм и в трех – на расстоянии 60 мм друг от друга. На груди отвала измерения проводились на расстоянии 30 мм друг от друга, а на крыле и рабочей поверхности отвала – на расстоянии 60 мм друг от друга.

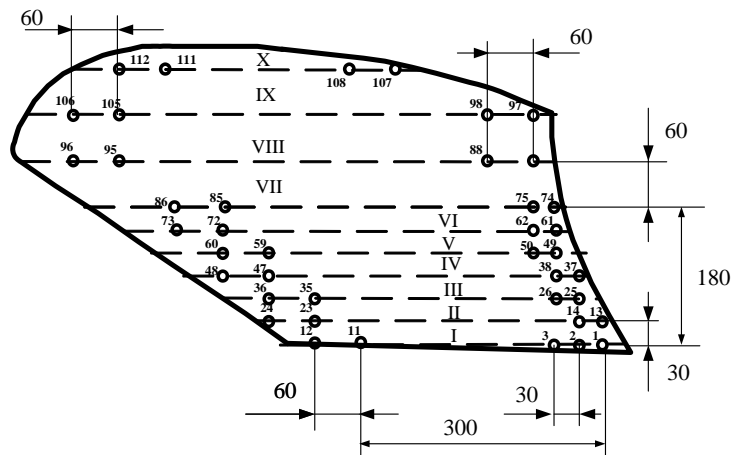


Рисунок 4.2 – Схема измерения толщин отвала

Для определения областей упрочнения по результатам проведения измерений толщин отвалов требуется определить коэффициенты локальной интенсивности изнашивания поверхности отвала и области, которые необходимо подвергать упрочнению согласно методике, предложенной в главе 2.1.

Для этого необходимо определить I_{cp} среднюю величину износа в точках измерений по выражению:

$$I_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^N I_i}{N},$$

где N – количество точек замера,

Коэффициент локальной интенсивности изнашивания определяется по выражению:

$$k_u = \frac{I_i}{I_{cp}},$$

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

Областями упрочнения отвала будут являться те части поверхности, в которых коэффициент локальной изнашивания будет превышать 1.

С целью разработки технологий упрочнения, обеспечивающих повышение равномерности изнашивания отвалов плугов считаем целесообразным выделить следующие области, в которых коэффициент локальной интенсивности изнашивания будет находиться в пределах: область I – 2,00 и более, область II – от 1,50 до 2,00, область III – от 1,00 до 1,50 и область IV – менее 1,00.

4.2.3 Выбор схем наложения сварных швов для обеспечения равной износостойкости поверхностей отвалов плугов

Для проведения экспериментальных исследований износостойкости упрочненных отвалов необходимо определить технологические схемы наплавки в зависимости от полученных коэффициентов локальной интенсивности изнашивания.

Исходя из выражения средней износостойкости

$$I_{cp} = \frac{S_n}{S} (k_n H_n - k_p H_p) + \frac{S_p}{S} (k_p H_p - k_o H_o) + k_o H_o \quad (4.1)$$

и для того, чтобы средняя износостойкость упрочненной точечной техникой поверхности площадью S была в n раз выше износостойкости поверхности новой детали той же площади, необходимо, чтобы выполнялось следующее равенство:

$$I_{cp} = nk_o H_o. \quad (4.2)$$

Приравняв (4.1) и (4.2) получим

$$nk_o H_o = \frac{S_n}{S} (k_n H_n - k_p H_p) + \frac{S_p}{S} (k_p H_p - k_o H_o) + k_o H_o. \quad (4.3)$$

Принимая долю наплавляемой поверхности как отношение площади наплавки к общей площади поверхности отвала

$$\bar{S} = \frac{S_n}{S}. \quad (4.4)$$

После преобразований с учетом выражения для определения площади наплавленной точки (2.12) и приняв допущение о пропорциональности между наплавленной и разупрочненной поверхностью, $S_p = \xi S_n$, где ξ – коэффициент пропорциональности получаем

$$\bar{S} = \frac{k_o H_o (n-1)}{(k_n H_n - k_p H_p) + \xi (k_p H_p - k_o H_o)}. \quad (4.5)$$

Принимаем твердость основного металла наплавляемой детали $H_o = 50$ HRC; твердость наплавляемого металла H_n равной HRC 60, твердость разупрочненного металла H_p равной HRC 40 и $k_o = 0,6$, $k_n = 1,8$, $k_p = 0,5$ – коэффициент, характеризующий линейное изменение величины износа во времени основного, наплавленного и разупрочненного металла соответственно. Результаты расчета по зависимости (4.5) показали, что для повышения износостойкости упрочненной поверхности площадью S в 1,5 раза выше износостойкости поверхности новой детали той же площади необходимо

наплавить не менее 18% площади, для повышения в 1,8 раз требуется наплавить не менее 28% площади, а в 2 раза – не менее 35% от общей площади поверхности.

Такие значения площади упрочненной наплавкой поверхности могут быть обеспечены как постановкой точек наплавленного металла, так и нанесением неперекрывающихся валиков. При коэффициенте локальной интенсивности изнашивания $k_u \geq 2$ и доле упрочненной поверхности области не менее 35% от общей площади поверхности отвала рекомендуется использовать наплавку валиками. При коэффициенте локальной интенсивности изнашивания $1,5 \leq k_u < 2$ доля упрочненной поверхности должна составлять не менее 28% от общей площади поверхности отвала рекомендуется использовать точечную наплавку. При коэффициенте локальной интенсивности изнашивания $1 \leq k_u < 1,5$ доля упрочненной поверхности должна составлять не менее 17% от общей площади поверхности отвала рекомендуется использовать точечную наплавку.

Технологические схемы наплавки, удовлетворяющие условиям доли упрочненной поверхности по отношению ко всей поверхности области отвала представлены на рисунке 4.3.

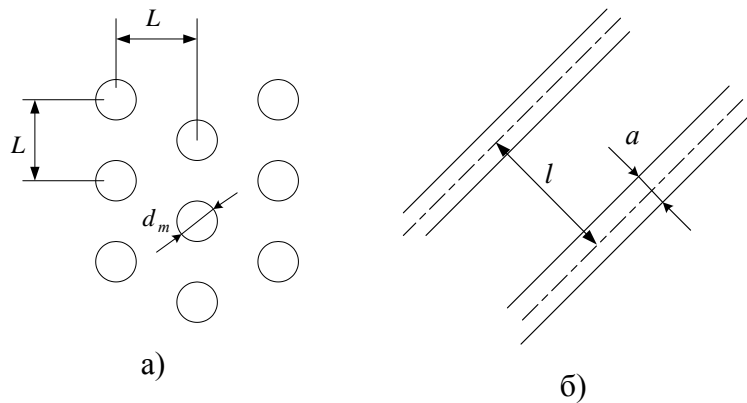


Рисунок 4.3 – Схемы наложения а) точек наплавленного металла, б) валиков наплавленного металла

Количество точек наплавленного металла определяем по методике, предложенной в главе 2. Таким образом, максимальное количество точек N_{max} диаметром d_m и с зоной разупрочнения d_p , которое можно разместить на упрочняемой поверхности равно:

$$N_{max} = \frac{4S}{\pi d_p^2}. \quad (4.6)$$

Полученное значение необходимо округлить до ближайшего целого числа в меньшую сторону.

Расстояние L между центрами наплавленных точек:

$$L_1 = \frac{\left((S - d_p^2) / d_p \right)}{N - 1}. \quad (4.7)$$

При наложении валиков общая длина шва составит

$$S_n = a \cdot b. \quad (4.8)$$

Расстояние между валиками l должно обеспечить неперекрывание зон разупрочнения.

4.3 Методика проведения экспериментов в производственных условиях

Для выявления картины изнашивания плужных отвалов наиболее предпочтительными являются производственные испытания в хозяйствах. Они позволяют получить достоверные результаты в условиях действительного протекания процессов.

Для получения достоверных результатов при проведении полевых испытаний должны быть соблюдены ряд требований:

- достаточная повторность опытов, определяемая количеством испытуемых однотипных отвалов;
- сравнительный характер испытания, т.е. одновременная эксплуатация упрочненных и неупрочненных отвалов;
- единообразие требований к условиям проведения испытаний, в том числе по эксплуатационным характеристикам пахотного агрегата, агротехническим требованиям к обработке почв, схемам и методам проведения замеров.
- идентичность методики оценки результатов измерения износа и определения интенсивности изнашивания испытуемых отвалов, как упрочненных,

так и неупрочненных;

Подготовка отвалов к полевым испытаниям заключается, в наплавке присадочной проволокой зон, с коэффициентом локальной интенсивности изнашивания, превышающим единицу, полуавтоматической вибродуговой наплавкой с нанесением сплошного валика вдоль кромок и точек на прилегающей поверхности. При этом на одном уровне должны выдерживаться параметры режима наплавки: сварочный ток, напряжение дуги, скорость наплавки.

Износ плужного отвала определяется во время весенней и осенней вспашки. Пахоту осуществляли на дерново-подзолистых легко- и среднесуглинистых почвах на полях с ровным рельефом [28].

Вспашка производится тракторами К-744. Опытные отвалы устанавливаются на плуги Gregoire Besson. Плуги оснащаются как упрочненными, так и неупрочненными отвалами.

Износ оценивается разницей между соответствующими размерами отвала плуга до эксплуатации и после определенной наработки.

Величина износа определяется в выделенных зонах I, II, III, IV с коэффициентом локальной интенсивности изнашивания 2,00 и более, от 1,50 до 2,00, от 1,00 до 1,50 и менее 1,00 соответственно.

Измерения проводятся: для отвалов в состоянии поставки после наработки близкой к предельной по критерию сквозного истирания рабочей поверхности, для упрочненных – при измерениях неупрочненных, а также по достижении наработки, соответствующей прогнозируемому повышению ресурса. Полученные в результате измерений данные сравниваются с размерами деталей до начала эксплуатации.

4.4. Выводы

1. Разработаны методики экспериментальных исследований по определению зон упрочнения поверхностей отвала плуга на основании замеров отвалов, бывших в эксплуатации и расчета коэффициента локальной интенсивности изнашивания.

2. Разработана методика экспериментальных исследований процесса полуавтоматической вибродуговой наплавки и проведению полевых испытаний отвалов корпусов плугов на примере Gregoire Besson с оценкой интенсивности изнашивания отвалов по различным вариантам наплавки поверхности.
3. Определены основные параметры схем наложения сварочных швов и точек с целью выравнивания износостойкости всей рабочей поверхности отвала плуга.

5 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ УПРОЧНЕНИЯ ОТВАЛОВ ПЛУГОВ ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКОЙ ВИБРОДУГОВОЙ НАПЛАВКОЙ

5.1 Результаты исследования процесса полуавтоматической вибродуговой наплавки

Проведенные экспериментальные исследования позволили выявить два основных различия ведения процесса вибродуговой наплавки в полуавтоматическом режиме от процесса механизированной вибродуговой наплавки. Во-первых, при механизированной наплавке сварочная горелка закрепляется на суппорте установки, а торец присадочной проволоки размещается на заранее установленном расстоянии от наплавляемой поверхности. Поэтому при любой амплитуде вибрации проволоки существует возможность снизить усилие прижатия проволоки к детали. Кроме того, закрепление сварочной горелки на суппорте установки обеспечивает прямолинейность формирующего валика наплавленного металла. При полуавтоматической наплавке сварщик опирает торец присадочной проволоки и, соответственно, сварочную горелку на наплавляемую поверхность.

Вторым отличием полуавтоматического процесса вибродуговой наплавки от механизированной является определенное варьирование скорости наплавки из-за ручного перемещения сварочной горелки.

Как показали эксперименты, при достижении некоторой амплитуды колебаний присадочной проволоки начинает наблюдаться отскакивание сварочной горелки от наплавляемой поверхности, что приводит к нарушению прямолинейности и стабильности формирования валика наплавленного металла [28]. По этой причине было проведено экспериментальное исследование допустимой амплитуды вибрации присадочной проволоки исходя из условия обеспечения прямолинейности перемещения сварочной горелки. Подаваемой проволокой служила пружинная проволока 65Г диаметром 1,6 мм. Сварочная дуга

не зажигалась. Траектория перемещения сварочной горелки фиксировалась по следам ударного воздействия торца проволоки об опираемую поверхность. Удовлетворительной траектория перемещения сварочной горелки считалась в случае формирования сплошной линии отпечатков без разрывов и единичных отскоков. Установлено, удовлетворительное поддержание траектории перемещения горелки обеспечивается при амплитуде колебаний не более 2...3 мм. Последующая наплавка единичных валиков при амплитудах 1 мм и 4 мм подтвердили полученные выводы.

Установлено, что варьирование скорости наплавки в полуавтоматическом режиме в диапазоне 15... 20 % приводит к изменению геометрических параметров валика наплавленного металла не более чем на 7... 10%, что свидетельствует о возможности реализации процесса вибродуговой наплавки в полуавтоматическом режиме.

Экспериментальное исследование процесса наплавки на определенных в главе 2 режимах позволили установить, что без вибрации снижение силы тока менее 140...150 А приводит к нестабильному горению дуги и ее обрывам. Наложение вибрации позволяет снизить силу тока даже до 80...100 А при стабильном формировании валика. Ширина шва с уменьшением силы тока уменьшается с 3,5...4,0 мм до 2 мм.

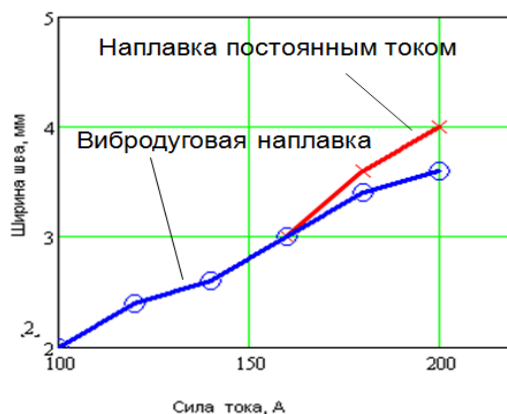


Рисунок 5.1 – Зависимость ширины шва от силы тока наплавки

Замеры микротвердости показали снижение ширины зоны разупрочнения, а также более слабое снижение твердости в этой зоне (рисунок 5.2). Это подтверждает результаты математического моделирования.

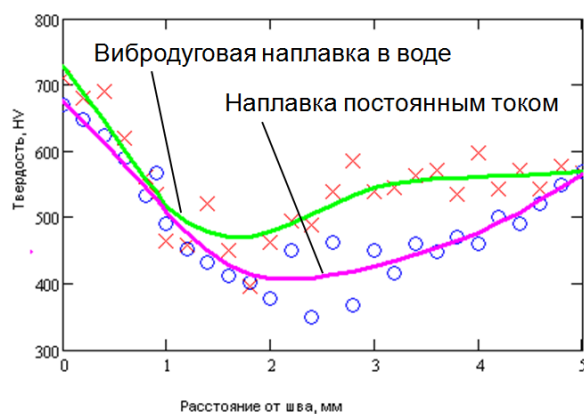


Рисунок 5.2 – Изменение твердости с удалением от валика наплавленного металла

Таким образом, теоретические и экспериментальные исследования показали возможность и целесообразность применения процесса вибродуговой полуавтоматической наплавки для упрочнения отвалов плугов.

5.2 Результаты экспериментальных исследований износа неупрочненных отвалов плугов и разработка схем наложения сварных швов

Для определения зон преимущественного поверхностного изнашивания были разработаны схемы замеров. Для выполнения замеров изготовлено приспособление, оснащенное индикаторной головкой.

Замеры изношенного отвала показали, что износы могут достигать нескольких миллиметров. Область наиболее интенсивного изнашивания находится в передней части в груди отвала и в нижней части крыла. При этом изнашивание площади не превышает 30% общей поверхности отвала (рисунок 5.3)



Рисунок 5.3 – Вид изношенного отвала (мелом штриховой линией обведена зона наибольшего изнашивания груди отвала)

Износы рабочих кромок детали могут составлять более десяти миллиметров.

Износ отвала в верхней части полевого обреза и в верхней части крыла практически отсутствует.

Это указывает на целесообразность упрочнения передней части груди отвала и кромок.

Значения износов неупрочненных отвалов исследовали в ходе натурных испытаний в хозяйствах Калужской области. Величины износа отвалов по линиям приведены в приложении А. Характер износов представлен на рисунках 5.4 и 5.5

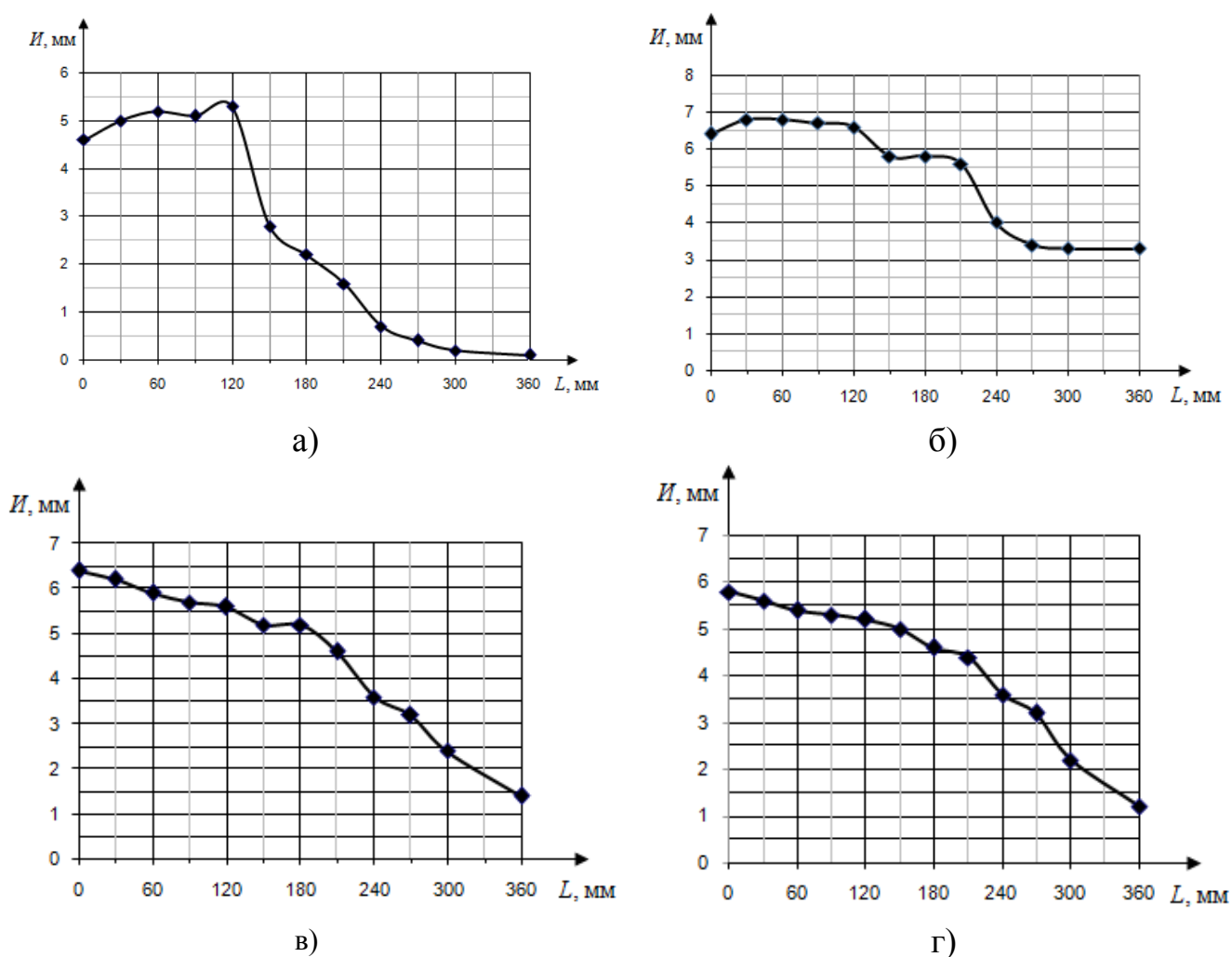
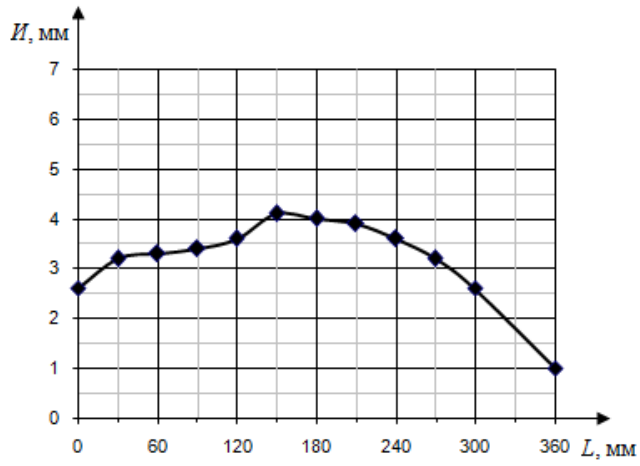
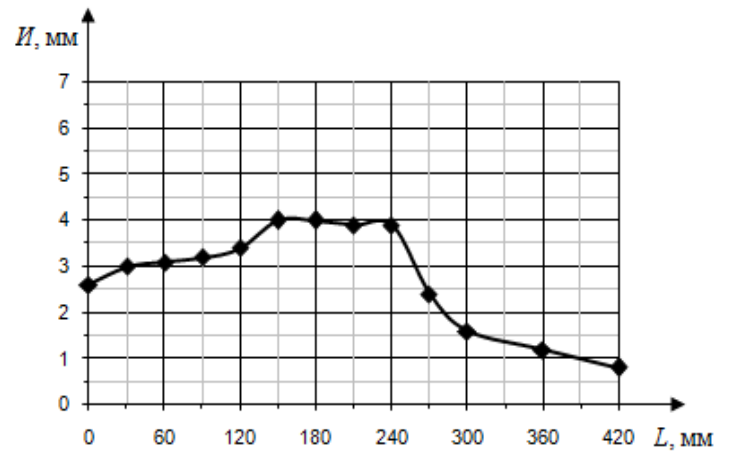


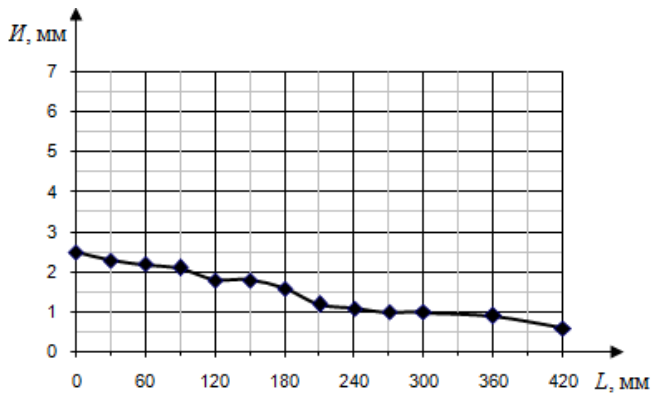
Рисунок 5.4 Характер износа отвалов в горизонтальной плоскости а) – г) по линиям I – IV соответственно



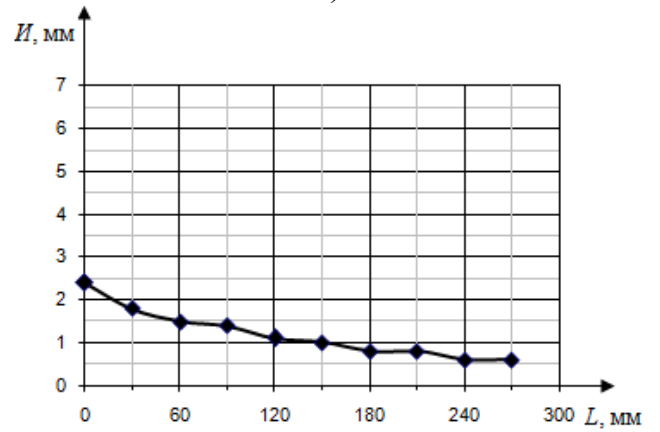
д)



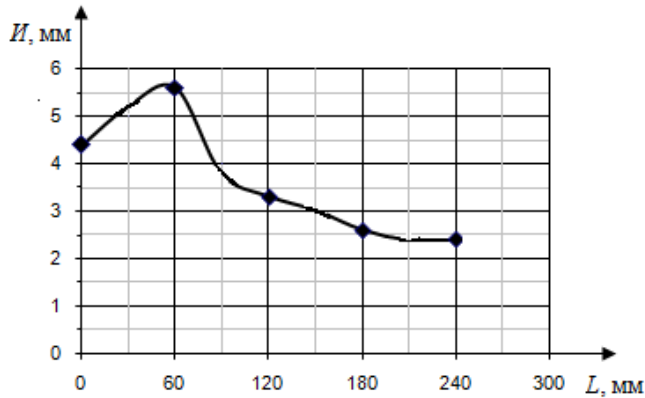
е)



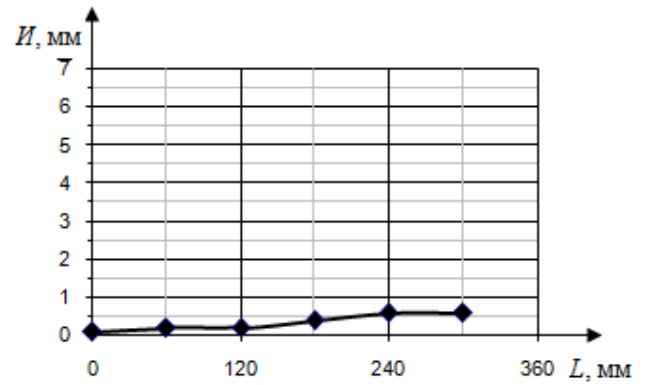
ж)



з)



и)



к)

Рисунок 5.5 – Характер износа отвалов в горизонтальной плоскости д) – к) по линиям V – X соответственно

На основании проведенных замеров величины износа определены коэффициенты локальной интенсивности изнашивания (таблица 5.1)

Таблица 5.1 – Коэффициенты локальной интенсивности изнашивания

№ точк и	К-т интенсив- ности износа	Область к-та интенсив- ности износа	Необходи- мость упрочнения +/-	№ точк и	К-т интенсив- ности износа	Область к-та интенсив- ности износа	Необ- ходи- мость упроч- нения +/-
Линия I				Линия II			
1	1,51	II	+	13	2,00	I	+
2	1,54	II	+	14	2,09	I	+
3	1,60	II	+	15	2,09	I	+
4	1,57	II	+	16	2,06	I	+
5	1,63	II	+	17	2,03	I	+
6	0,86	IV	-	18	1,79	II	+
7	0,68	IV	-	19	1,79	II	+
8	0,49	IV	-	20	1,72	II	+
9	0,22	IV	-	21	1,23	III	+
10	0,12	IV	-	22	1,05	III	+
11	0,06	IV	-	23	1,02	III	+
12	0,03	IV	-	24	1,02	III	+
Линия III				Линия IV			
25	2,00	I	+	37	1,79	II	+
26	1,97	II	+	38	1,72	II	+
27	1,82	II	+	39	1,66	II	+
28	1,76	II	+	40	1,63	II	+
29	1,72	II	+	41	1,60	II	+
30	1,60	II	+	42	1,54	II	+
31	1,60	II	+	43	1,42	III	+
32	1,42	III	+	44	1,35	III	+
33	1,11	III	+	45	1,11	III	+
34	0,86	IV	-	46	0,99	IV	-
35	0,83	IV	-	47	0,80	IV	-
36	0,80	IV	-	48	0,99	IV	-
Линия V				Линия VI			
49	0,80	IV	-	61	0,80	IV	-
50	0,99	IV	-	62	0,92	IV	-
51	1,02	III	+	63	0,95	IV	-
52	1,05	III	+	64	0,99	IV	-
53	1,11	III	+	65	1,05	III	+
54	1,26	III	+	66	1,23	III	+
55	1,23	III	+	67	1,23	III	+
56	1,20	III	+	68	1,20	III	+
57	1,11	III	+	69	1,20	III	+
58	0,99	IV	-	70	0,74	IV	-
59	0,80	IV	-	71	0,49	IV	-
60	0,80	IV	-	72	0,43	IV	-
				73	0,40	IV	-

Окончание таблицы 5.1

Линия VII				Линия VIII			
74	0,77	IV	–	87	0,74	IV	–
75	0,71	IV	–	88	0,55	IV	–
76	0,68	IV	–	89	0,46	IV	–
77	0,65	IV	–	90	0,43	IV	–
78	0,55	IV	–	91	0,34	IV	–
79	0,55	IV	–	92	0,31	IV	–
80	0,49	IV	–	93	0,25	IV	–
81	0,37	IV	–	94	0,25	IV	–
82	0,34	IV	–	95	0,18	IV	–
83	0,31	IV	–	96	1,26	II	+
84	0,31	IV	–				
85	0,28	IV	–				
86	1,17	II	+				
Линия IX				Линия X			
97	1,35	III	+	107	0,03	IV	–
98	0,99	IV	–	108	0,06	IV	–
99	0,95	IV	–	109	0,06	IV	–
100	0,83	IV	–	110	0,12	IV	–
101	0,80	IV	–	111	1,17	III	+
102	0,77	IV	–	112	1,23	III	+
103	0,71	IV	–				
104	0,71	IV	–				
105	0,80	IV	–				
106	1,17	III	+				

По определенным коэффициентам локальной интенсивности изнашивания области упрочнения ($k_u > 1$) распределяются по поверхности отвала по схеме (рисунок 5.6)

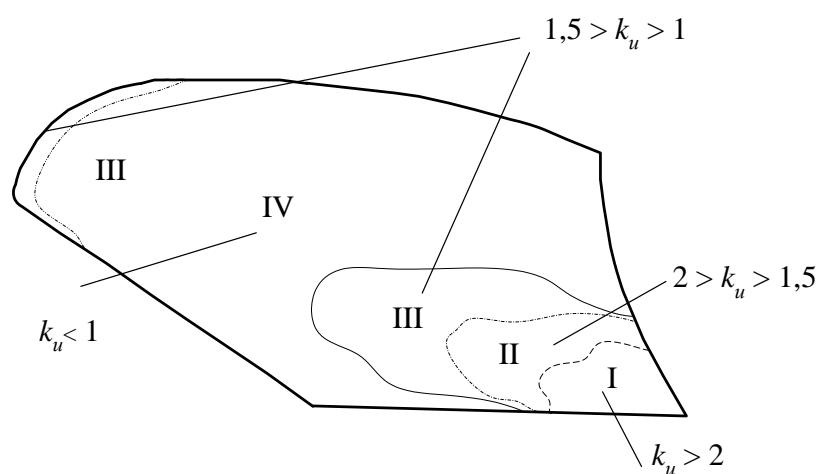


Рисунок 5.6 – Области упрочнения отвалов

Исходя из технологических особенностей полуавтоматической вибродуговой наплавки целесообразно применение следующих схем упрочнения: для области I – валиками, II и III – точками.

Упрочнение отвалов плугов может проводиться путем наложения различных видов валиков и точек присадочного материала в различных областях поверхности согласно методике, разработанной в главе 2.

На основании результатов расчета размеров, количества точек, длины и ширины валиков наплавленного металла принимаем значения, приведенные в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Параметры наплавленного металла

Область упрочнения отвала	Площадь упрочнения, мм ²	Максимальное количество точек	Диаметр точек, мм	Расстояние между точками/валиками, мм	Ширина валика, мм	Длина валика, мм
I	3150	–	–	8,0	5,0	630,0
II	3600	34	8,0	35	–	–
III-1	5400	51	8,0	55	–	–
III-2	2000	19	8,0	55	–	–

5.3 Результаты исследования процесса изнашивания упрочненных поверхностей отвалов плугов в процессе эксплуатации

Отвалы, упрочненные по разработанным в главе 2 методикам, эксплуатировались в хозяйствах на территории Калужской области. Замеры проводились разработанным приспособлением в областях, определенных в главе 4. Для обеспечения необходимой точности оценки величины износа отвалов плугов, упрочненных в зонах, в которых коэффициент локальной интенсивности изнашивания превышает единицу, измерения необходимо производить таким образом, чтобы точки замеров не попадали непосредственно в места наплавки (точки и валики).

Результаты замеров приведены в таблице приложения Б. По результатам измерений определены коэффициенты локальной интенсивности изнашивания –

как отношение значения износа в точке к осредненному износу по всей поверхности (Таблица 5.3).

Таблица 5.3 – Коэффициенты локальной интенсивности изнашивания

№ точки	К-т локальной интенсивности изнашивания неупрочненного отвала	К-т локальной интенсивности изнашивания упрочненного отвала	№ точки	К-т локальной интенсивности изнашивания неупрочненного отвала	К-т локальной интенсивности изнашивания упрочненного отвала
Область I			Область IV		
1.	2,00	1,45	1.	0,86	1,14
2.	2,09	1,41	2.	0,68	0,91
3.	2,09	1,59	3.	0,49	0,68
4.	2,06	1,55	4.	0,22	0,27
5.	2,03	1,64	5.	0,12	0,18
6.	2,00	1,55	6.	0,06	0,09
Область II			7.	0,03	0,04
1.	1,51	1,18	8.	0,86	1,14
2.	1,54	1,18	9.	0,83	1,14
3.	1,60	1,32	10.	0,80	1,09
4.	1,57	1,27	11.	0,99	1,32
5.	1,63	1,32	12.	0,80	1,09
6.	1,79	1,55	13.	0,99	1,32
7.	1,79	1,55	14.	0,80	1,05
8.	1,72	1,45	15.	0,99	1,32
9.	1,97	1,64	16.	0,99	1,32
10.	1,82	1,50	17.	0,80	1,09
11.	1,76	1,45	18.	0,80	1,09
12.	1,72	1,41	19.	0,80	1,09
13.	1,60	1,36	20.	0,92	1,23
14.	1,60	1,36	21.	0,95	1,27
15.	1,79	1,45	22.	0,99	1,27
16.	1,72	1,36	23.	0,74	1,00
17.	1,66	1,32	24.	0,49	0,68
18.	1,63	1,27	25.	0,43	0,64
19.	1,60	1,27	26.	0,40	0,59
20.	1,54	1,23	27.	0,77	1,00

Окончание таблицы 5.3

	Область III		28.	0,71	0,95
1.	1,23	1,00	29.	0,68	0,95
2.	1,05	0,86	30.	0,65	0,91
3.	1,02	0,82	31.	0,55	0,77
4.	1,02	0,82	32.	0,55	0,68
5.	1,42	1,27	33.	0,49	0,50
6.	1,11	1,05	34.	0,37	0,45
7.	1,42	1,14	35.	0,34	0,41
8.	1,35	1,14	36.	0,31	0,41
9.	1,11	1,09	37.	0,31	0,36
10.	1,02	0,82	38.	0,28	1,00
11.	1,05	0,82	39.	0,74	0,73
12.	1,11	0,82	40.	0,55	0,64
13.	1,26	1,18	41.	0,46	0,59
14.	1,23	1,18	42.	0,43	0,45
15.	1,20	1,18	43.	0,34	0,45
16.	1,11	1,09	44.	0,31	0,36
17.	1,05	1,09	45.	0,25	0,36
18.	1,23	1,14	46.	0,25	0,27
19.	1,23	1,14	47.	0,18	1,27
20.	1,20	1,14	48.	0,99	1,27
21.	1,20	1,14	49.	0,95	1,14
22.	1,35	1,32	50.	0,83	1,14
23.	1,17	1,05	51.	0,80	1,14
24.	1,17	1,09	52.	0,77	0,95
25.	1,23	1,09	53.	0,71	0,95
26.	1,26	1,23	54.	0,71	1,09
27.	1,17	1,05	55.	0,80	0,05
			56.	0,03	0,09
			57.	0,06	0,09
			58.	0,06	0,18
			59.	0,12	0,34

Проведенный анализ (таблица 5.4) показал снижение коэффициентов локальной интенсивности изнашивания в упрочненных областях (I, II, и III) с одновременным увеличением коэффициента локальной интенсивности изнашивания в неупрочненных областях (IV).

Таблица 5.2 Средние значения коэффициента локальной интенсивности изнашивания в областях отвала корпуса плуга

К-т 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.

Проведенные замеры показали целесообразность упрочнения передней кромки отвала наплавкой сплошного валика. Интенсивность изнашивания прилегающих к ней плоскостей меньше, что позволяет применить «пятнистое» упрочнение с увеличением расстояния между валиками и точками. Как показали эксперименты, схема «пятнистого» упрочнения должна препятствовать перемещению почвы по поверхности основного металла и образованию «овражного» износа не упрочненной поверхности.

5.4 Выводы

1. 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. Ширина шва составила 3...4 мм, твердость наплавленного металла – HRC 55...60. Полученные режимы рекомендуется использовать для упрочнения отвалов.
2. Замеры отвалов плугов после эксплуатации показали, что износ может достигать нескольких миллиметров с наибольшими значениями в передней части груди отвала и нижней части крыла.
3. 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.

4. По результатам испытаний упрочненных полуавтоматической вибродуговой наплавкой поверхностей отвалов корпусов плугов установлено, что в процессе эксплуатации происходит снижение коэффициентов локальной интенсивности изнашивания в упрочненных областях и увеличение – в неупрочненных. При этом интенсивность изнашивания становится более равномерной и происходит повышение ресурса в 1,4-1,8 раз.

6. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЙ

6.1 Производственные рекомендации по упрочнению отвалов плугов полуавтоматической вибродуговой наплавкой

Технологический процесс упрочнения включает все необходимые операции для возможной его реализации в условиях мастерских сельскохозяйственных предприятий [19, 49, 147]. Технология упрочнения деталей плуга полуавтоматической вибродуговой наплавкой состоит из следующих основных этапов:

На первом этапе при наличии следов коррозии, смазки и грязи детали необходимо очистить металлической щеткой и ветошью. При наличии лакокрасочных покрытий допускается очищать детали в зоне начала предполагаемого наложения продольных валиков. В случае применения точечной техники необходимо очистить предполагаемую зону упрочнения полностью. С помощью мела и линейки на упрочняемую деталь наносится контур зоны наплавки.

Затем выполняется наплавка валиков и точек на деталь согласно выбранной схеме, технике и режиму наплавки. Для защиты наплавляемого металла от стекания с кромок детали используются асбестовые прокладки. После наплавки деталь остывает на открытом воздухе. Рекомендуется использовать следующее оборудование для наплавки: выпрямитель сварочный дуговой ВДУ-306. Расходные материалы: присадочная проволока 65Г диаметром 1,6 мм. Полярность наплавки: обратная («←» на деталь).

Для проведения контроля рекомендуется произвести визуальный осмотр наплавленной поверхности. Допустимым является наличие единичных трещин в наплавленном металле. Не допустимы прожоги и термические деформации деталей, превышающие предельные значения деталей согласно техническим требованиям. Контроль расположения, ширины и усиления наплавленного на

деталь металла рекомендуется производить при помощи линейки, угломера и штангенциркуля.

Для деталей различной толщины и формы, а также имеющих различные факторы, лимитирующие их износостойкость, предлагаются оптимизированные схемы и техника упрочнения.

Следует не перегревать деталь во избежание прожогов. Рабочий ток: 100 ... 140 А. Ширина валика: 4...6 мм, общая длина – 630 мм, высота – 2...3 мм, расстояние между валиками – 8-10 мм. Диаметр точек: 8 – 10 мм, расстояние между точками – 35...55 мм, максимальное количество точек – 104.

6.2 Экономическая эффективность технологии упрочнения отвалов плугов полуавтоматической вибродуговой наплавкой

С целью снижения затрат на выполнение сварочных операций, предотвращения коробления деталей в практике повышения сопротивляемости абразивному изнашиванию рабочих поверхностей деталей все большее применение находят технологии «пятнистого» упрочнения, т.е. наплавки упрочняемой поверхности единичными, не перекрывающимися валиками. С целью определения путей совершенствования технологий наплавки, рассмотрим основные зависимости, влияющие на технико-экономическую целесообразность «пятнистого» упрочнения рабочих поверхностей деталей плуга [28, 29, 33].

Пусть срок службы базовой, не упрочненной детали составляет T_0 . Тогда за некоторое время T_c необходимо произвести n_0 замены детали

$$n_0 = \frac{T_c}{T_0} \quad (6.1)$$

$$n_0 = \frac{1350}{150} = 9$$

При сроке службы упрочненной детали $T_{упр}$ требуемое количество $n_{упр}$ замен составит

$$n_{упр} = \frac{T_c}{T_{упр}} \quad (6.2)$$

$$n_{упр} = \frac{1350}{270} = 5$$

Стоимость базовой детали обозначим C_0 . Стоимость $C_{упр}$ упрочненной детали может быть представлена в виде

$$C_{упр} = C_0 + C_{дон}, \quad (6.3)$$

где $C_{дон}$ - стоимость упрочнения базовой детали.

Стоимость упрочнения базовой детали [167] определяется из выражения

$$C_{дон} = ЗП + ЗМ + C_{оп} + C_{ост}, \quad (6.4)$$

где ЗП – полная заработная плата, руб.;

ЗМ – стоимость ремонтных материалов, руб.;

$C_{оп}$ – стоимость общепроизводственных расходов, руб.;

$C_{ост}$ – остаточная стоимость отвала после достижения предельного состояния ($C_{ост} = 0,1 \cdot C_0$), руб.;

Полная заработная плата

$$П = ЗП_{пр} + ЗП_{доп} + C_{есн}, \quad (6.5)$$

где $ЗП_{пр}$ – основная заработная плата, руб.;

$ЗП_{доп}$ – дополнительная заработная плата, $C_{доп} = 0,1 C_{пр}$, руб.;

$C_{есн}$ – начисления на единый социальный налог – 27,1 % от ($C_{пр} + C_{доп}$), руб.

Основная заработная плата

$$ЗП_{пр} = C_ч \cdot T_i, \quad (6.6)$$

где $C_ч$ – часовая тарифная ставка, принятая на предприятии. При работе сварщика 5-го разряда $C_ч = 70,2$ руб.;

$T_{упр}$ – трудоемкость упрочнения одного отвала, $T_{упр} = 0,5$ чел.-ч. (время упрочнения одного отвала, определенное при помощи хронометража, составляет 30 мин).

$$З_{ПР} = C_{ч} \cdot T_i = 70,2 \cdot 0,5 = 35,10 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата составит 3,51 руб., а начисления на единый социальный налог 10,46 руб. Тогда полная заработная плата согласно (5.3)

$$ЗП = 35,10 + 3,51 + 10,46 = 49,07 \text{ руб.}$$

В стоимости ремонтных материалов ($З_M$) учитывается стоимость приобретенных материалов, энергии, услуг других предприятий. При упрочнении отвалов они складываются из затрат на приобретение присадочного материала ($З_{ПМ}$) и расходов на оплату электроэнергии ($З_{ЭЛ}$).

$$З_M = З_{ПМ} + З_{ЭЛ}. \quad (6.7)$$

Затраты на приобретение электродного материала составят

$$З_{ПМ} = C_{пр} \cdot l_{пр} \cdot m_{пр}, \quad (6.8)$$

где $C_{пр}$ – стоимость присадочной проволоки 65Г, руб/кг;

$l_{пр}$ – длина расходуемой присадочной проволоки при наплавке валиков и точек, м;

$m_{пр}$ – масса одного метра присадочной проволоки, кг/м.

$$З_{ПМ} = 40,00 \cdot 12,8 \cdot 0,0158 = 8,09 \text{ руб.}$$

Затраты на оплату электроэнергии определяются из выражения

$$З_{ЭЛ} = W_{СВ} \cdot T_{напл} \cdot C_{ЭЛ}, \quad (6.9)$$

где $W_{СВ}$ – мощность сварочного аппарата, для сварочного агрегата ВДУ-306, кВт/ч.;

$T_{напл}$ – трудоемкость наплавки одного отвала, $T_{напл} = 0,2$ чел.-ч.

$C_{ЭЛ}$ – стоимость 1 кВт/ч. электроэнергии, $C_{ЭЛ} = 3,91$ руб.

$$З_{ЭЛ} = 34,0 \cdot 0,2 \cdot 3,91 = 26,59 \text{ руб.}$$

То есть материальные затраты, согласно (5.5), составят

$$З_M = 8,09 + 26,59 = 34,68 \text{ руб.}$$

Стоимость общепроизводственных расходов

$$C_{ОП} = R_{ОП} \cdot З_{ПР}, \quad (6.10)$$

где $R_{\text{ОП}}$ – коэффициент общепроизводственных расходов, $R_{\text{ОП}} = 0,4$

$$C_{\text{ОП}} = 0,4 \cdot 35,10 = 14,04 \text{ руб.}$$

Согласно (5.5) себестоимость упрочнения

$$C_{\text{доп}} = 49,07 + 34,68 + 14,04 + 450 = 547,79 \text{ руб.}$$

Затраты Z_0 на приобретение базовых деталей в течение некоторого срока T_c составят

$$Z_0 = n_0 C_0. \quad (6.11)$$

$$Z_0 = 9 \cdot 4500 = 40500, \text{ руб.}$$

Затраты $Z_{\text{упр}}$ на приобретение упрочненных деталей за этот же срок T_c составят

$$Z_{\text{упр}} = n_{\text{упр}} C_{\text{упр}}. \quad (6.12)$$

$$Z_{\text{упр}} = 5 \cdot (4500 + 547,79) = 25238,95, \text{ руб.}$$

Снижение затрат на приобретение деталей в случае их упрочнения оценим коэффициентом K_9

$$K_9 = \frac{Z_0}{Z_{\text{упр}}} \quad (6.13)$$

$$K_9 = \frac{40500}{25238,95} = 1,60$$

С учетом зависимостей (6.11-6.13) получим

$$K_9 = \frac{T_{\text{упр}} C_0}{T_0 (C_0 + C_{\text{доп}})} \quad (6.14)$$

$$K_9 = \frac{270 \cdot 4500}{150(4500 + 547,79)} = 1,60$$

Введем допущение о том, что сроки службы базовой и упрочненной деталей пропорциональны их износостойкостям U_0 и $U_{\text{упр}}$ соответственно.

Тогда

$$K_9 = \frac{U_{\text{упр}} C_0}{U_0 (C_0 + C_{\text{доп}})}. \quad (6.15)$$

При «пятнистом» упрочнении площадь наплавленной поверхности S_n оказывается меньше общей площади S детали, подлежащей упрочнению. Рядом с валиками наплавленного металла в зонах термического влияния (ЗТВ) происходит частичное разупрочнение основного металла. Таким образом, площадь S упрочняемой поверхности можно представить в виде суммы

$$S = S_0 + S_n + S_{ЗТВ}, \quad (6.16)$$

где S_0 – площадь поверхности с исходной износостойкостью, $S_{ЗТВ}$ – площадь поверхности с пониженной износостойкостью вследствие частичного отпуска осевого металла в ЗТВ.

Среднюю износостойкость $U_{упр}$ всей упрочненной поверхности найдем из зависимости [39]

$$k_{изн} U_{упр} S = U_0 S_0 + U_n S_n + U_{ЗТВ} S_{ЗТВ}, \quad (6.17)$$

где $k_{изн}$ – коэффициент пропорциональности, учитывающий влияние на среднюю износостойкость $U_{упр}$ других показателей технологии наплавки, таких как схема наложения сварных швов, высота валиков наплавленного металла и т.д.

С учётом выражения (10) получим

$$U_{упр} = \frac{U_0 \eta_0 + U_n \eta_n + U_{ЗТВ} \eta_{ЗТВ}}{k_{изн}}, \quad (6.18)$$

где $\eta_0 = \frac{S_0}{S}$ – доля площади поверхности основного металла, не подвергнутого изменениям структуры;

$\eta_n = \frac{S_n}{S}$ – доля площади поверхности основного металла, подвергнутого наплавке;

$\eta_{ЗТВ} = \frac{S_{ЗТВ}}{S}$ – доля площади поверхности основного металла, подвергнутого частичному разупрочнению вследствие процесса отпуска основного металла в ЗТВ.

$$\eta_n = \frac{23383}{53450} = 0,4375$$

$$\eta_{ЗТВ} = \frac{6832}{53540} = 0,1278$$

Примем допущение, что площадь отпущенной поверхности $S_{ЗТВ}$ пропорциональна площади наплавленного металла S_n

$$S_{ЗТВ} = \zeta_{ЗТВ} S_n, \quad (6.19)$$

где $\zeta_{ЗТВ}$ - коэффициент пропорциональности.

Тогда

$$\eta_{ЗТВ} = \zeta_{ЗТВ} \eta_n \quad (6.20)$$

$$0,1278 = \zeta_{ЗТВ} \cdot 0,4375$$

$$\zeta_{ЗТВ} = 0,2921$$

Допустим также, что стоимость $C_{дон}$ упрочнения базовой детали определяется в первую очередь площадью наплавки S_n . Тогда можно записать

$$C_{дон} = \eta_n S \Pi_n \quad (6.21)$$

где Π_n - стоимость наплавки единицы площади поверхности детали.

Таким образом, цена наплавки составит

$$\Pi_n = \frac{C_{дон}}{\eta_n S}$$

$$\Pi_n = \frac{547,79}{0,4375 \cdot 53450} = 0,0234, \text{руб} / \text{мм}^2$$

Приняв во внимание, что

$$\eta_0 = 1 - \eta_n - \eta_{ЗТВ} \quad (6.22)$$

В итоге получим

$$K_9 = \frac{U_0(1 - \eta_n - \eta_{ЗТВ}) + U_n \eta_n + U_{ЗТВ} \zeta_{ЗТВ} \eta_n}{k_{изн} U_0 \left(1 + \frac{\eta_n S \Pi_n}{C_0} \right)} \quad (6.23)$$

или

$$K_9 = \frac{1 + \eta_n(k_n - 1) - \zeta_{ЗТВ}\eta_n(1 - k_{ЗТВ})}{k_{изн} \left(1 + \frac{\eta_n S \Pi_n}{C_0} \right)}, \quad (6.24)$$

где $k_n = \frac{U_n}{U_0}$ – относительная износостойкость наплавленного металла,

$k_{ЗТВ} = \frac{U_{ЗТВ}}{U_0}$ – относительная износостойкость основного металла в ЗТВ.

Так как функция (6.24) монотонно изменяющаяся относительно параметра η_n , то при любом объеме наплавки упрочнение детали будет экономически выгодным ($K_9 > 1$) при выполнении условия

$$\frac{dK_9}{d\eta_n} > 0 \quad (6.25)$$

Продифференцируем выражение (6.24) по коэффициенту η_n и найдем значение производной $\frac{dK_9}{d\eta_n}$ при $\eta_n = 0$. После преобразований получим условие технико-экономической целесообразности упрочнения детали [33]

$$k_n - \zeta_{ЗТВ}(1 - k_{ЗТВ}) - 1 > \frac{S \Pi_n}{C_0} \quad (6.26)$$

$$1,8 - 0,2921(1 - 0,8) - 1 > \frac{53450 \cdot 0,0234}{4500}$$

$$0,742 > 0,278$$

Таким образом, упрочнение отвала плуга является целесообразным.

Анализ зависимостей (6.24) и (6.26) подтверждает ряд известных технологических рекомендаций по наплавке рабочих органов деталей почвообрабатывающих машин [139, 142, 144]. Так, полученные зависимости свидетельствуют о том, что технико-экономическая эффективность наплавки возрастает с повышением относительной износостойкости наплавленного металла k_n , увеличением стоимости исходной детали C_0 и снижением стоимостных затрат Π_n на наплавку единицы площади поверхности детали. Целесообразно снижать площадь S упрочняемой поверхности, что приводит к уменьшению затрат на

выполнение сварочных операций. Последнее указывает на необходимость четкого выделения наиболее нагруженных зон, требующих повышения износостойкости.

Зависимости (6.24) и (6.26) указывают также на значительное влияние ширины отпущенных дорожек и степени разупрочнения в ЗТВ основного металла, характеризуемых коэффициентами $\eta_{ЗТВ}$ и $k_{ЗТВ}$, на среднюю износостойкость и целесообразность упрочнения деталей.

Для определения экономической эффективности разработанной технологии используем методику, предложенную в работах [63, 167].

Экономическая эффективность упрочнения отвалов в состоянии поставки определяется по выражению

$$\mathcal{E} = \left(\frac{C_0 - C_{OCT}}{T_0} - \frac{C_{УПР} - C_{OCT}^{УПР}}{T_{УПР}} \right) \cdot T_{УПР}, \quad (6.27)$$

где C_0 , $C_{УПР}$ – стоимость отвала в состоянии поставки и после упрочнения соответственно, руб.;

C_{OCT} , $C_{OCT}^{УПР}$ – остаточная стоимость отвала в состоянии поставки и после упрочнения соответственно, руб.;

T_0 , $T_{УПР}$ – наработка отвала в состоянии поставки и после упрочнения соответственно, га.

Ресурс отвалов в состоянии поставки при пахоте на дерново-подзолистых среднесуглинистых и супесчаных почвах принимаем $T_0 = 150$ га, при упрочнении полуавтоматической вибродуговой наплавкой наработка повысится до $T_{УПР} = 270$ га. Тогда экономическая эффективность упрочнения в расчете на один отвал составит (6.27):

$$\mathcal{E} = \left(\frac{4500 - 450}{150} - \frac{5047,79 - 504,78}{270} \right) \cdot 270 = 2745,90 \text{ руб.}$$

В сельскохозяйственной артели «Колхоз «Маяк»» и ГП «Калужская МТС» используется не менее 110 отвалов. Таким образом, экономическая эффективность упрочнения 110 отвалов составит:

$$\mathcal{E}_{УПР} = 2747,90 \cdot 110 = 302269 \text{ руб.}$$

Таким образом, технология упрочнения отвалов плугов полуавтоматической вибродуговой наплавки позволит получить годовой экономический эффект в размере более 300 000 рублей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволяют сделать следующие выводы:

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 (Дж/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 (Дж/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 её 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.

8. 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 ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров А. В., Потапов В. Д., Державин Б. П. Сопротивление материалов. – М.: Высшая школа, 2000. – 560 с.: - ил.
2. Бабкин, А.С., Епифанцев Л.Т. Методики расчета оптимальных параметров дуговой сварки и наплавки / А.С. Бабкин, Л.Т. Епифанцев //Сварочное производство. – 2004.- № 2. – С. 3-6.
3. Батищев А.Н., Голубев И.Г., Лялякин В.П. Восстановление деталей сельскохозяйственной техники. – М.: Информагротех, 1995. – 296 с.
4. Бать М.И., Джанелидзе Г.Ю., Кельзон А.С. Теоретическая механика в примерах и задачах. Под ред. Д. Р. Меркина. Т. I. Статика и кинематика. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1984. – 504с.: ил.
5. Безбородов И.А. Совершенствование расчета параметров режима механизированной наплавки / И.А. Безбородов //Сварочное производство. – 2008.– № 1. – С. 5-9.
6. Беловод, А.И. К вопросу износостойкости восстановленных рабочих органов сельскохозяйственных машин / А.И. Беловод, А.А. Дудников, А.В. Канивец, В.В.Дудник // Наукові нотатки. – 2011. – № 31. – С. 33-36.
7. Бернштейн Д.Б. Абразивное изнашивание лемешного лезвия и работоспособность плуга / Д.Б. Бернштейн // Тракторы и сельхозмашины. – 2002. – №6. – С. 40–45.
8. Бернштейн Д.Б. Оценка возможности самозатачивания почворезущих элементов при абразивном изнашивании/ Д.Б. Бернштейн // Тракторы и сельхозмашины. – 1985. – №6.– С. 15–19.
9. Блохин, В.Н. Теоретическое исследование процесса износа армированных отвально-лемешных поверхностей / В.Н. Блохин, С.Н. Прудников, Л.А. Паршикова // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 2-1 (2015). – С. 23-25.
10. Будко, С.И. Методы повышения эффективности упрочения деталей лемешно-отвальных плугов дуговой наплавкой твердыми сплавами: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.03.06 / Будко Сергей Иванович. – Санкт-Петербург-

Пушкин., 2009 . – 20 с.

11. Будко, С.И. Об изменении геометрии отвалов плугов после их эксплуатации / С.И. Будко, Д.С. Зуева, М.М. Пехтерев // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. – 2004. – № 1 (3). – С. 164-169.
12. 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.
13. 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.
14. 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
15. Булычев, В.В. Совершенствование технологий упрочняющей наплавки деталей плугов на основе применения вибродуговых процессов / В.В. Булычев, А.И. Пономарёв, С.А. Голубина // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2010. – №4. – С. 54-56.
16. 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.
17. Буренко Л. А., Винокуров В. Н. Ремонт сельскохозяйственных машин. – М.: Росагропромиздат, 1991. – 201 с.
18. Брунов, О.Г. Способы импульсной подачи сварочной проволоки при сварке

плавящимся электродом в CO₂ / О.Г. Брунов, В.Т. Федько, А.П. Слистин // Сварочное производство. – 2002. – № 11. – С. 5-8.

19. Воловик Е. Л. Справочник по восстановлению деталей. – М.: Колос, 1981. – 351 с. с ил.

20. Вольмир А.С. Устойчивость деформируемых систем. - М. «Наука», 1967 – 984 с. ил.

21. Вольф, Н.В. Теоретические основы повышения ресурса лемеха плуга / Н.В. Вольф, Д.И. Петровский // Инновационные направления развития технологий и технических средств механизации сельского хозяйства: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию кафедры сельскохозяйственных машин агроинженерного факультета Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I 25 декабря 2015 года, – Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», 2015. – С. 119– 125.

22. Восстановление деталей машин. Сборник рекомендаций. Под общ. Ред. Ю.Л. Костюкова. – Тула. Приок. кн. изд-во, 1980. – 133 с.

23. Гаркунов Д.Н. Триботехника: Учебник для студентов втузов. – 2-е изд., перераб. И доп. – М.: Машиностроение, 1989. – 328 с.: ил.

24. Голубина, С.А. Моделирование структур металла при полуавтоматической вибродуговой наплавке / С.А. Голубина // Научные технологии в приборостроении и развитии 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.

25. Голубина, С.А. Моделирование термических циклов при вибродуговой наплавке / С.А. Голубина // Научные технологии в приборостроении и развитии 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.

26. Голубина, С.А. Перспективы упрочнения отвалов плугов / С.А. Голубина //

Наукоемкие 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

27. 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

28. 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.

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

30. 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.

31. 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).

32. 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.
33. 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
34. Голубина, С.А. Обеспечение равной износостойкости рабочей поверхности отвала плуга / С.А. Голубина //Научное развитие приборостроения и машиностроения 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.
35. Голубина, С.А. Определение параметров режима полуавтоматической вибродуговой наплавки / С.А. Голубина // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2016. – № 11-4. – С. 14-16.
36. Голубина, С.А. Расчетная оценка влияния импульсной подачи присадочной 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).
37. Голубина, С.А. Расчетные схемы для моделирования температурных полей при наплавке деталей плугов / С.А. Голубина // Научное развитие приборостроения и машиностроения 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.
38. Голубина, С.А. Технологические особенности полуавтоматической вибродуговой наплавки / С.А. Голубина // Научное развитие приборостроения и машиностроения 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.

39. 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.

40. 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.

41. 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.

42. Добычин, С.В. Методы поверхностного упрочнения режущих поверхностей деталей машин / С.В. Добычин, А.Р. Федорин, И.В. Царьков // Сетевой научный журнал ОрелГАУ. – 2016. – № 1 (6). – С. 127-130.

43. Дрюгеров, Н.Г., Сагиров Д.Х. Определение свойств дуги при импульсных процессах сварки / Н.Г. Дрюгеров, Д.Х. Сагиров // Сварочное производство. – 2004. – № 4. – С. 14-18.

44. Дунаев П. Ф., Леликов О. П. Конструирование узлов и деталей машин. - М.: Высшая школа, 2001. – 447 с. с ил.

45. Ерохин, М.Н. К вопросу об импортозамещении рабочих органов зарубежных почвообрабатывающих машин / М.Н. Ерохин, В.С. Новиков, Д.И. Петровский // Труды ГОСНИТИ. – 2015. – Т. 121. – С. 206-212.

46. Ерохин, М.Н. Повышение прочности и износостойкости лемеха плуга / М.Н. Ерохин, В.С. Новиков // Вестник Федерального государственного

образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина» Издательство «Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева». – 2008. – №3. – С. 100-107.

47. Ерохин, М.Н. Прогнозирование ресурса рабочих органов почвообрабатывающих машин / М.Н. Ерохин, В.С. Новиков, Д.М. Петровский // Сельский механизатор. – 2015. – №11. – С. 6-9.

48. Ерохин М.Н., Новиков В.С. Сопко А.А., Беликов И.А. и др. Новое направление повышения долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин – применение технической керамики. / Технология и средства технического сервиса машин в агропромышленном комплексе. – М.: МГАУ им. В.П. Горячкина, 2000. – с. 38-47.

49. Есенберлин Р.Е. Восстановление автомобильных деталей сваркой, наплавкой и пайкой. – М.: «Транспорт», 1994. 256 с.

50. Зуев А.А., Гуревич Д.Ф. Технология сельскохозяйственного машиностроения - М. «Колос», 1980 – 256 с. ил.

51. 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.

52. Износ деталей сельскохозяйственных машин. М.М. Севернев, Г.П. Каплун, В.А. Короткевич. – Ленинград: «КОЛОС» – 1972. – 288 с.

53. Иоселевич Г. Б. Детали машин. - М.: Машиностроение, 1982. – 386 с.

54. Ищенко, Ю.С. Характеристики управления переносом капли при сварке плавящимся электродом с короткими замыканиями / Ю.С. Ищенко, //Сварочное производство. – 1992. – №9– С. 24-25.

55. Кадырметов А.М. Повышение прочностных характеристик наплавленных и напыленных покрытий / А.М. Кадырметов, В.Н. Бухтояров, Д.И. Мисюнас // Воронежский научно-технический Вестник. – 2016. – Т. 4. № 4 (18). – С. 19-24.
56. Казанцев, С.П. Упрочняющие технологии восстановления и изготовления деталей почвообрабатывающих машин компенсирующих элементов и их преимущества/ С.П. Казанцев, М.А. Михальченкова, К.С. Поджарая //Труды ГОСНИТИ. – 2014.– Т.116.– С.102-107.
57. Канков, Т.Е., Кирюхин В.Г. Основные направления по повышению надежности лемехов и отвалов / Т.Е. Канков, В.Г. Кирюхин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1986. – № 9. – с. 12-14.
58. Каплук Г.П. Исследование влияния свойств почв на долговечность деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин. – Минск: Изд. Академии сельскохозяйственных наук БССР, 1966. – С. 54–68.
59. 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.
60. Кожухова, Н.Ю. Износы лемехов плугов производства компании VOGEL & NOOT / Н.Ю. Кожухова, К.С. Поджарая, М.А. Михальченкова //Труды ГОСНИТИ. – 2014. – Т.114. – №1. С. 150-156.
61. Козарез, И.В. Анализ и особенности износов плужных лемехов различных конструкций и динамика их изнашивания / И.В. Козарез // Труды инженерно-технологического факультета Сборник научных трудов. Под ред. Михальченкова А.М. – Брянск, 2015. – С. 128-138.
62. Козарез, И.В. Оценка специфики изнашивания деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин / И.В. Козарез // Евразийский союз ученых. – 2015. –№ 11-3 (20)3 (55). – С. 64-69.

63. Козарез, И.В. Упрочняющее восстановление плужных лемехов двухслойной наплавкой: дисс. ... канд. техн. наук: 05.03.06 / Козарез Ирина Владимировна. – Москва, 2009. – 19 с.
64. Комаристов В.Е., Дунай Н.Ф. Сельскохозяйственные машины. - М. «Колос», 1976 – 496 с. ил.
65. Кондратьев Е. Т., Кондратьев Е. Т. Восстановление наплавкой деталей сельскохозяйственных машин. – М.: Агропромиздат, 1989. – 95 с.: - ил.
66. Кононенко, А.С., Способы повышения долговечности отвалов / А.С. Кононенко, М.А. Михальченкова, А.А. Тюрева, С.Н. Прудников // Бюллетень научных работ Брянского филиала МИИТ. – 2014. – № 1 (5). – С. 23-27.
67. Конструкционные материалы: Справочник / под общ. ред. Б.Н. Арзамасова. – М.: Машиностроение, 1990. – 688 с.
68. Крагельский И.В. Трение и износ [Текст] / И.В. Крагельский. – М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.
69. Крюков, А.В. Повышение эффективности механизированной сварки в углекислом газе за счет применения импульсной подачи электродной проволоки: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.03.06 / Крюков Артем Викторович. – Барнаул., 2008. – 19 с.
70. Лебедев, В.А. Вопросы динамики системы подачи электродной проволоки //Сварочное производство. – 2008.- № 5. – С. 10-17.
71. Лебедев, В.А. Механизмы импульсной подачи электродной проволоки с регулированием параметров импульсов / В.А. Лебедев, В.Г. Пичак, В.Б. Смолярко // Автоматическая сварка. – 2001. – №5. – С. 31-37.
72. Лебедев, В.А. Новые механизмы для импульсной подачи электродной проволоки / В.А. Лебедев, В.Ф. Мошкин, В.Г. Пичак //Автоматическая сварка. – 1996.– № 5. – С. 39-45.
73. Лебедев, В.А. Особенности сварки сталей с импульсной подачей электродной проволоки / В.А. Лебедев //Сварочное производство. – 2007.- № 8. – С. 30-35.

74. Лебедев, В.А. Перспективные направления в конструировании механизмов подачи электродной проволоки / В.А. Лебедев, В.П. Никитенко // Автоматическая сварка. – 1983. – №7. – С. 61-69.
75. Лесков Г.И. Электрическая сварочная дуга. М.: «Машиностроение», 1979. с. 335.
76. Лившиц Л.С. Металловедение для сварщиков: сварка сталей. М.: «Машиностроение», 1979. – с.: 253
77. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: «Высшая школа» – 1976. – 600 с.
78. Лялякин, В.П. Долговечность плужных отвалов – аналитический обзор методов её повышения / В.П. Лялякин, А.М. Михальченков // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. – 2012. – № 1 (11). – С. 106-116.
79. Лялякин, В.П. Состояние и перспектива упрочнения и восстановления деталей почвообрабатывающих машин сварочно-наплавочными методами/ В.П. Лялякин, С.А. Соловьев, В.Ф. Аулов // Труды ГОСНИТИ. – 2014.– Т.115.– С. 96-104
80. Мамонтов В.Г., Панов Н.П., Кауричев Е.Н., Игнатъев Н.С. Почвоведение. – М.: КолосС, 2006. – 456 с.
81. Машиностроение. Энциклопедия: т IV. Сельскохозяйственные машины и оборудование / Под ред. И.П. Ксеновича. – М.: Машиностроение, 1998. – 720 с.
82. Металловедение и термическая обработка стали : справочник : В 3 т. / под ред. М. Л. Бернштейна, А. Г. Рахштадта. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Металлургия, 1983 - Т. 1 : Методы испытаний и исследования / Б. С. Бокштейн [и др.]. - 1983. - 352 с. : ил.;
83. Микотин В.Я. Технология ремонта сельскохозяйственных машин и оборудования. – М.: Колос, 1997. – 367 с.: ил.
84. Михальченков, А.М. Влияние наплавочного армирования на изнашивание восстановленных лемехов компании ФОГЕЛЬ И НООТ/ А.М. Михальченков, И.В. Козарез, Р.В. Горбачев //Труды ГОСНИТИ. –2013.– Т.111. №1. – С. 50-55.

85. Михальченков, А.М. Восстановление отвалов абразивостойким дисперсионно-упрочненным композитом на основе эпоксидной смолы / А.М. Михальченков, Р.Ю. Соловьев, Я.Ю. Бирюлина // Тракторы и сельхозмашины. – 2015. – № 3. – С. 49-51.
86. Михальченков, А.М. Восстановление отвалов различного назначения методом бронирования / А.М. Михальченков, А.А. Новиков // Тракторы и сельхозмашины. – 2015. – № 1.– С. 50-52.
87. Михальченков, А.М. Классификация конструкций отвалов сельскохозяйственного назначения / А.М. Михальченков, С.Н. Прудников, В.И. Лавров, Т.А. Ермакова //Бюллетень научных работ Брянского филиала МИИТ. – 2014. – № 1 (5). – С. 28-31.
88. Михальченков, А.М. Конструкции отвалов – особенности, критический анализ / А.М. Михальченков, С.Н. Прудников, С.В. Минина // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. – 2012. – № 1 (11). – С. 119-125.
89. Михальченков, А.М. Метод ремонтных вставок при восстановлении отвалов / А.М. Михальченков, С.Н. Прудников // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. 2010. № 1 (9). С. 90-93.
90. Михальченков, А.М. Об одной причине низкого ресурса деталей рабочих органов отечественных почвообрабатывающих орудий / А.М. Михальченков, С.А. Соловьев, А.А. Новиков //Труды ГОСНИТИ, –2014. – Т.117.– С.127-132.
91. Михальченков, А.М. Повышение ресурса лемехов плужных корпусов упрочнением их сварочным армированием / А.М. Михальченков, Д.А. Капошко // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2005. – №4. – С. 18-21.
92. Михальченков, А.М. Повышение ресурса отвалов плугов / А.М. Михальченков, В.В. Осипенко, С.А. Лушкина // Сельский механизатор. – 2012. – № 12 (46). – С. 30-31.
93. Михальченков А.М., Повышение срока службы отвалов/ А.М. Михальченков, С.Н. Прудников, Х.М.О. Исаев // Сельский механизатор. – 2010. –№ 11. – С. 31.

94. Михальченков, А.М. Ресурс и износостойкость восстановленных плужных отвалов / А.М. Михальченков, Н.Ю. Кожухова // Труды ГОСНИТИ. – 2012. –Т. 110. № 2. – С. 8-12.
95. Михальченков, А.М. Способы армирования лемехов для почв с различной изнашивающей способностью/ А.М. Михальченков и др. //Тракторы и сельхозмашины. – 2009, №1.
96. Михальченков, А.М. Технологии восстановления отвалов плужных корпусов / А.М. Михальченков, Н.Ю. Кожухова, А.А. Тюрева, С.Н. Прудников // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. № 1 (2012). – С. 26-29.
97. Морозкин, И.С. Исследование движения электродной проволоки в направляющем канале сварочного полуавтомата в начальный момент зажигания дуги при сварке плавящимся электродом / И.С. Морозкин, С.А. Сурженко // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2011.– № 4. – С.57-61.
98. Мочалов И.И., Костенко С.И., Васильев В.А. Ремонт почвообрабатывающих машин. – М.: Россельхозиздат, 1986. – 142 с., ил.
99. Надежность и ремонт машин / Под ред. В.В. Курчаткина. – М.: Колос, 2000. – 776 с.
100. Нассонов В.С., Горчаков А.Н, Ульман И.Е. Автоматическая вибродуговая наплавка. М.: «Колос», 1972. с. 136.
101. Некрасов С.С., Приходько И.Л., Баграмов Л.Г. Технология сельскохозяйственного машиностроения. М.: «Колос», 2004. – 360 стр.
102. Николаев Г.А., Ольшанский Н.А. Новые методы сварки металлов и пластмасс. М.: «Машиностроение», 1966. 199 с. с илл.
103. Новиков, В.С. Обеспечение долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин: автореф. дисс. ... докт. техн. наук: 05.20.03 / Новиков Владимир Савельевич. – М., 2008. – 39 с.
104. Новиков, В.С. Повышение износостойкости рабочих органов плуга керамическими материалами / В.С. Новиков, И.А. Беликов // Технический сервис

в АПК. – М.: 2002.

105. Новиков, В.С. Сравнительные исследования на долговечность серийных и опытных лемехов / В.С. Новиков, Н.А. Поздняков, Д.С. Сабуркин // Международный научный журнал. – 2008. – №1. – С.14-18.
106. Ниловский, И.П. Опыт ремонта лемехов и других деталей сельскохозяйственных машин сварочными методами / И.П. Ниловский // Труды ГОСНИТИ. – М.: ГОСНИТИ. – 1969. – т. 19. – С. 148-151.
107. Огрызков Е. П. Анализ работы лезвий плужных лемехов / Е.П. Огрызков// Тракторы и сельхозмашины. – 1959. – № 11.
108. Огрызков, Е.П. Влияние физико-механических свойств почв на их изнашивающую способность / Е.П. Огрызков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1969. – № 7. – С. 35-41.
109. Огрызков, Е.П. О влиянии абсолютной влажности почвы на износ лемехов/ Е.П. Огрызков // Сельхозмашины, 1955.– №6.–С. 14–21
110. Пат. № 2103126 Российская Федерация, МПК В23К 9/12 (1995.01). Устройство для импульсной подачи сварочной проволоки / Зверковский Г.П., Зверковский П.Г. Заявка:96112363/02, 02.06.1996.
111. Пат. № 2104134 Российская Федерация, МПК В23К 9/12 (1995.01) Механизм импульсной подачи сварочной проволоки / Федько В.Т., Брунов О.Г., Лысенко А.Ф. Заявка: 95112765/02, 25.07.1995.
112. Пат. № 2136463 Российская Федерация, МПК В23К 9/12 (1995.01). Механизм импульсной подачи сварочной проволоки / Брунов О.Г., Федько В.Т., Князьков А.Ф., Слистин А.П. Заявка: 98110161/02, 20.05.1998.
113. Пат. № 2154560 Российская Федерация, МПК В23К 9/122 (2000.01). Механизм импульсной подачи сварочной проволоки / Брунов О.Г., Федько В.Т., Васильев В.И. Заявка: 99111227/02, 25.05.1999.
114. Пат. №.2165832 Российская Федерация, МПК В23К 9/12 (2000.01). Механизм импульсной подачи сварочной проволоки / Каргин А.В. Заявка: 99117020/02, 03.08.1999. Бюл. №12
115. Пат. № 2254969. Российская Федерация, МПК В23К 9/12 (2000.01),В23К

- 9/133 (2000.01). Механизм импульсной подачи сварочной проволоки / Брунов О.Г., Федыко В.Т., Крюков А.В., Зернин Е.А., Солодский С.А., Соколов П.Д., Ястребов А.П. Заявка: 2004107739/02, 15.03.2004. Бюл. №18.
116. Пат. №2266181. Российская Федерация, МПК В23К 9/12 (2000.01), В23К 9/133 (2000.01). Механизм импульсной подачи сварочной проволоки / Брунов О.Г., Федыко В.Т., Крюков А.В., Солодский С.А., Соколов П.Д., Ястребов А.П., Седнев В.В. Заявка: 2004112739/02, 26.04.2004. Бюл. №35.
117. Пат. №2296654. Российская Федерация, МПК В23К 9/133 (2006.01). Механизм импульсной подачи сварочной проволоки / Седнев В.В., Брунов О.Г., Крюков А.В., Солодский С.А. Заявка: 2006105861/02, 26.02.2006. Бюл. №18.
118. 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 / Булычёв В.В., Дубровский В.А., Голубина С.А. Заявка: 2005127114/02, 30.08.2005. Бюл. №18.
119. Пат. № 2311997. Российская Федерация, МПК В23К 9/133 (2006.01). Механизм импульсной подачи сварочной проволоки / Седнев В.В., Брунов О.Г., Крюков А.В., Солодский С.А. Заявка: 2006118605/02, 29.05.2006. Бюл. №34.
120. Павлов, Н.В. Распределение температурных полей при сварке в смеси газов с импульсной подачей электродной проволоки / Н.В. Павлов, А.В. Крюков, Е.А. Зернин // Сварочное производство. – 2011. – № 1. – С. 35-36.
121. Патон, Б.Е. Анализ технических и технологических возможностей импульсной подачи электродной проволоки в процессах дуговой сварки и наплавки / Б.Е. Патон, В.А. Лебедев, В.Г. Пичак и др. // Сварочное производство. – 2004. – №12. – С. 55-58.
122. Патон, Б.Е. Управление процессом дуговой сварки путем программирования скорости подачи электродной проволоки/ Б.Е. Патон, Н.М. Воропай, Б.Н. Бучинский и др. // Автоматическая сварка. – 1977. – № 1. – С.1-5.

123. Патон, Б.Е. Эволюция систем импульсной подачи электродной проволоки для сварки и наплавки / Б.Е. Патон, В.А. Лебедев, В.Г. Пичак, С.И. Полосков // Сварка и диагностика. – 2009.- № 3. – С.46-51.
124. Пацкевич, И.Р. Характеристики плавления электродной проволоки при автоматической вибродуговой наплавке / И.Р. Пацкевич, А.М. Попков // Сварочное производство. – 1965. – №2. – С. 11-14.
125. Петровский, Д.И. К вопросу о повышении долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин / Д.И. Петровский, В.С. Новиков // Инновационные направления развития технологий и технических средств механизации сельского хозяйства: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию кафедры сельскохозяйственных машин агроинженерного факультета Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I 25 декабря 2015 г. – Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», 2015. – С. 125 – 129.
126. Петров С. А., Бисноватый С. И. Ремонт сельскохозяйственных машин. – М.: Колос, 1972. – 431с.: ил.
127. Плаксин, А.М. Пути повышения долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин / А.М. Плаксин, Е.В. Водясов // АПК России. – 2014. – Т. 68. – С. 60-63.
128. Повышение долговечности рабочих деталей почвообрабатывающих машин / Под ред. М. М. Хрущева. – М.: Машгиз, 1960.
129. Прикладная механика. Под ред. В.М. Осецкого. – М.: «Машиностроение» – 1977. – 488 с.
130. Рабинович А.Ш. Самозатачивающиеся плужные лемехи и другие почворезущие детали машин. М. ГОСНИТИ, 1962. – 107 с.
131. Рабинович И. П. Износ деталей сельскохозяйственных машин. Пути повышения их износостойкости. Сб. «Повышение долговечности машин». Машгиз, 1956, с. 434 – 444.
132. Рабинович, И.П., О путях повышения износостойкости отвалов /

- И.П. Рабинович, А.Н. Розенбаум // Сельхозмашина. – 1954. – № 10.
133. Размышляев, А.Д. Теплосодержание капель при дуговой наплавке / А.Д. Размышляев, К.В. Багрянский, К.А. Нестеренко // Сварочное производство. – 1972. – №5. – С. 15-16.
134. Ремонт машин. под ред. Ульмана Е. И. – М.: Колос, 1976. – 448с.
135. Ресурсосбережение при технической эксплуатации сельскохозяйственной техники. – М.: ФГНУ «Росинформагротех». – Ч. I. – 2001. – 360 с.
136. Решетов Д.Н. Детали машин. - М.: Машиностроение, 1974. – 496 с. с ил.
137. Розенбаум А.Н. Исследование износостойкости сталей для рабочих органов почвообрабатывающих орудий. Труды ВИСХОМа, вып. 53. Исследование материалов деталей с.х. машин. ОНТИ, 1969. – 143 с.
138. Сабликов М.В. Сельскохозяйственные машины. Часть 1. Устройство и работа - М. «Колос», 1968 – 343 с.
139. Сайфуллин, Р.Н. Методика выбора рационального способа восстановления изношенных деталей методами наплавки и напыления / Р.Н. Сайфуллин, В.Г. Петряков, О.К. Валиева // Труды ГОСНИТИ. – 2016. – Т. 122. – С. 217-224.
140. Серов, Н.В. Технологические аспекты повышения работоспособности плугов / Н.В. Серов, А.В. Серов, П.И. Бурак // Международный технико-экономический журнал. – 2015. – №4. – С. 81-89.
141. Серов, Н.В. Технология упрочнения лемехов плуга электроконтактной приваркой / Н.В. Серов, А.В. Серов, П.И. Бурак //Труды ГОСНИТИ. – 2015. – Т. 121. – С. 287-290.
142. Сковородин В.Я., Тишкин Л.В., Справочная книга по надежности сельскохозяйственной техники. – Л.: Лениздат, 1985. – 204 с., ил.
143. Севернев М.М. Определение срока службы деталей машин при абразивном износе. // Труды науч. конф. ВИМЭСХ / Под ред. М.Е. Мацепуро. – Минск: Сельхозиздат БССР, 1961. – С. 91–108
144. Сидоров С.А. Критерии целесообразности использования в сельхозмашинах упрочненных рабочих органов/ С.А. Сидоров // Тракторы и

сельскохозяйственные машины. – 1998. – №11. – с. 54-56.

145. Современные методы наплавки рабочих органов почвообрабатывающих и уборочных сельскохозяйственных машин (обзор) / В.С. Сенчишин, Ч.В. Пулька // Автоматическая сварка. – 2012, №9

146. Справочник конструктора-машиностроителя; Под ред. В. И. Анурьева, т. 2, т. 3. – М.: Машиностроение, 1982. – 576с. с ил.

147. Справочник технолога-машиностроителя; Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. Т. 2. – М.: –Машиностроение, 1986. 496 с. с ил.

148. Степанов В. А., Бабусенко С. М. Современные способы ремонта машин. – М.: Колос, 1972. – 335с.: ил.

149. Тененбаум М.М. Сопротивление абразивному изнашиванию [Текст] / М.М. Тененбаум. – М.: Машиностроение, 1978. – 271 с.

150. Тененбаум М.М., Кауфман С.М. и др. Методика установления предельных состояний рабочих органов почвообрабатывающих машин [Текст] / М.М. Тененбаум С.М Кауфман – М.: ВИСХОМ, 1985. – с. 33.

151. Теория сварочных процессов. Под ред. В.М. Неровного. - М. «Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана», 2007 – 752 с. Ил.

152. Теория сварочных процессов. Под ред. В.В. Фролова. - М. «Высшая школа», 1988 – 559 с. Ил.

153. Технология ремонта машин / Под ред. Е.А. Пучина. – М.: КолосС, 2007. – 488 с.

154. Титов, Н.В. Исследование твердости и износостойкости рабочих органов машин, упрочненных вибродуговой наплавкой с применением металлокерамических материалов / Н.В. Титов, А.В. Коломейченко, В.Н. Логачев и др. // Сварочное производство. – 2014. – № 9. – С. 33-36.

155. Титов, Н.В. Повышение ресурса лап культиваторов вибродуговой наплавкой с применением металлокерамики / Н.В. Титов, В.В. Виноградов, И.А. Петриков // Агротехника и энергообеспечение. – 2014. – Т. 1. № 1. – С. 322-327.

156. Титов, Н.В. Применение метода карбовибродугового упрочнения для повышения ресурса рабочих органов почвообрабатывающих машин / Н.В. Титов,

- И.А. Петриков, Н.А. Кондрахин // Агротехника и энергообеспечение. – 2015. – № 1 (5). – С. 130-137.
157. Титов, Н.В. Упрочнение рабочих органов машин, эксплуатируемых в абразивной среде / Н.В. Титов // Научные труды SWorld. – 2012. – Т. 2. № 4. – С. 46-48.
158. Ткачев В.Н. Износ и повышение долговечности деталей сельскохозяйственных машин – М.: Машиностроение, 1971. – 264 с.
159. Федько, В.Т. Оптимизация геометрии задающего устройства для импульсного подающего механизма с квазиволновым движением проволоки./ В.Т. Федько, О.Г. Брунов, А.В. Крюков, В.В. Седнев // Известия Томского политехнического университета. –2005. – Т. 308. №4 – С.132-134.
160. Филонов, А.А. Системы управления переносом капель расплавленного металла при дуговой сварке. / А.В. Филонов, А.В. Крюков // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. Режим доступа: URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=15486>.
161. Фрумин И.И. Технология механизированной наплавки. - М. «Высшая школа», 1965 – 306 с. Ил.
162. Хрущев М.М. Абразивное изнашивание / М.М. Хрущев, М.А. Бабичев. – М.: Наука, 1970. – 252 с.
163. Черноиванов В.И. Организация и технология восстановления деталей машин. – М.: Агропромиздат, 1989. – 336 с.
164. Черноиванов, В.И. Техническое обслуживание и ремонт машин в сельском хозяйстве. – Москва-Челябинск.: ГОСНИТИ, ЧГАУ, 2003. – 992 с.
165. Чинахов, Д.А. Расчет коэффициентов характеризующих форму наплавляемого валика при восстановлении изношенных деталей / Д.А. Чинахов, Е.Г. Григорьева, Е.И. Майорова // Инновационные технологии в машиностроении: Сборник трудов VII Международной научно-практической конференции. Юргинский технологический институт Томского политехнического университета, 2016. – С. 85-87.
166. Шейнкин, М.З. Определение допустимого вылета тонкой электродной

проволоки при сварке в углекислом газе. / М.З. Шейнкин // Сварочное производство. – 1978 – №9. – С. 24-26.

167. Экономика технического сервиса на предприятиях АПК / Ю.А. Конкин, К.З. Бисултанов, М.Ю. Конкин [и др.]; под ред. Ю.А. Конкина. – М.: КолосС, 2005. – 368 с.

168. Jankauskas, V. The method of hardening soil rippers by surfacing and technical-economic assessment / V. Jankauskas, E. Katinas, R. Skirkus, V. Aleknevičienė // Journal of Friction and Wear. – 2014 (4).- Vol. 35– p. 270-277.

169. Horvat, Z. Reduction of mouldboard plough share wear by a combination technique of hardfacing / Z. Horvat, D. Filipovic, S. Kosutic, R. Emert // Tribology International. – 2008 (8). Volume 41, pp. 778-782.

170. Hrabě, P. Evaluation of techniques for ploughshare lifetime increase / P. Hrabě, M. Müller, V. Hadač // Research of Agricultural Engineering. – 2015 (4).- Vol. 61 – p. 72-79.

171. Kováč, I. Verification of the working life of a ploughshare renovated by surfacing and remelting in the operation / I. Kováč, N.Vanko, M. Vysočanská // Research in Agricultural Engineering . – 2014. – Volume 60 – Pages 98-103.

172. Natsis, A. Influence of local soil conditions on moldboard ploughshare abrasive wear / A. Natsis, G. Petropoulos, C. Pandazaros // Tribol. Int. – 2008. – Vol. 41– p. 151 – 157.

173. Novák, P. Application of overlaying material on surfacing of ploughshare for increasing its service life and abrasive wear resistance / P. Novák, M. Müller, P. Hrabě, // Agronomy Research. – 2015 (1). – Vol. 13 – p. 158-166.

174. Müller, M. Application of overlay material on soil processing tools for purpose of increasing their abrasive wear resistance / M. Müller, R. Chotěborský, P.Hrabě // Listy Cukrovarnicke a Reparske. – 2015. Volume 131, Issue 9-10, September, Pages 279-283.

Результаты замеров износов в точках сетки неупрочненного отвала
после эксплуатации

Сечение I

№ точки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Износ, мм	4,9	5	5,2	5,1	5,3	2,8	2,2	1,6	0,7	0,4	0,2	0,1

Сечение II

№ точки	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Износ, мм	6,4	6,8	6,8	6,7	6,6	5,8	5,8	5,6	4	3,4	3,3	3,3

Сечение III

№ точки	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Износ, мм	6,5	6,4	5,9	5,7	5,6	5,2	5,2	4,6	3,6	3,1	3,3	3,3

Сечение IV

№ точки	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
Износ, мм	5,8	5,6	5,4	5,3	5,2	5,0	4,6	4,4	3,6	3,2	2,2	1,2

Сечение V

№ точки	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
Износ, мм	2,6	3,2	3,3	3,4	3,6	4,1	4	3,9	3,6	3,2	2,6	1,0

Сечение VI

№ точки	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73
Износ, мм	2,6	3,0	3,1	3,2	3,4	4,0	4,0	3,9	3,9	2,4	1,6	1,2	0,8

Сечение VII

№ точки	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
Износ, мм	2,5	2,3	2,2	2,1	1,8	1,8	1,6	1,2	1,1	1,0	1,0	0,9	0,8

Сечение VIII

№ точки	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
Износ, мм	2,4	1,8	1,5	1,4	1,1	1,0	0,8	0,8	0,6	0,6

Сечение IX

№ точки	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106
Износ, мм	4,4	5,2	5,6	3,8	3,3	3,0	2,6	2,4	2,4	2,4

Сечение X

№ точки	107	108	109	110	111	112
Износ, мм	0,1	0,2	0,2	0,4	0,6	0,6

Результаты замеров износов по областям упрочненного отвала
после эксплуатации

Область I

№ точки	1	2	3	4	5	6
Износ, мм	3,2	3,1	3,5	3,4	3,6	3,4

Область II

№ точки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Износ, мм	2,6	2,6	2,9	2,8	2,9	3,4	3,4	3,2	3,6	3,3
№ точки	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	3,2	3,1	3,0	3,0	3,2	3,0	2,9	2,8	2,8	2,7

Область III

№ точки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Износ, мм	2,2	1,9	1,8	1,8	2,8	2,3	2,5	2,5	2,4	1,8
№ точки	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Износ, мм	1,8	1,8	2,6	2,6	2,6	2,4	2,4	2,5	2,5	2,5
№ точки	21	22	23	24	25	26	27			
Износ, мм	2,5	2,3	2,7	2,9	2,3	2,4	2,4			

Область IV

№ точки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Износ, мм	2,5	2,0	1,5	0,6	0,4	0,2	0,1	2,5	2,5	2,4
№ точки	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Износ, мм	2,9	2,4	2,9	2,3	2,9	2,9	2,4	2,4	2,4	2,7
№ точки	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Износ, мм	2,8	2,8	2,2	1,5	1,4	1,3	2,2	2,1	2,1	2,1
№ точки	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Износ, мм	2,0	1,7	1,5	1,1	1,0	0,9	0,9	0,8	2,2	1,6
№ точки	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Износ, мм	1,4	1,3	1,0	1,0	0,8	0,8	0,6	2,8	2,8	2,5
№ точки	51	52	53	54	55	56	57	58	59	
Износ, мм	2,5	2,5	2,1	2,1	2,4	0,1	0,2	0,2	0,4	



УТВЕРЖДАЮ

Председатель СХА

«Колхоз «Маяк»

Еремеев В.И.

2015 г.

АКТ

о внедрении результатов
научно-исследовательской работы

Результаты научно-исследовательской работы Голубиной С.А. по теме «Повышение износостойкости плужных отвалов полуавтоматической вибродуговой наплавкой», выполняемой под руководством д.т.н. Булычева В.В. внедрены на предприятии по производству сельскохозяйственной продукции «Сельскохозяйственная артель «Колхоз «Маяк».

В период с 2009 по 2015 год на предприятии прошли полевые испытания следующие детали плугов, упрочненные по предложенным в диссертационной работе Голубиной С.А. технологиям:

- отвалы плугов Kvernerland – 53;
- ножи отвалов плугов Kvernerland – 28;
- отвалы плугов EurOpal – 16;
- ножи отвалов плугов EurOpal – 22;
- отвалы плугов Gregoire Besson – 14;
- отвалы плугов ПЛН-3-35 – 62.

Результаты проведенных испытаний показали, что износостойкость упрочненных поверхностей деталей плугов увеличилась в 1,5 – 2 раза.

Ожидаемый годовой экономический эффект от использования упрочненных рабочих органов в сравнении с неупрочненными в «Сельскохозяйственной артели «Колхоз «Маяк» составит 185 тыс. рублей.

Считаем целесообразным рекомендовать использование предложенных технических решений при упрочнении рабочих органов почвообрабатывающих машин.

УТВЕРЖДАЮ:



Директор
ГП «Калужская машино-
технологическая станция»
Л.И. Иванов
«16» 20 15 г.

АКТ

о внедрении результатов научно-исследовательской работы
Голубиной Светланы Александровны
в Государственном предприятии Калужской области
«Калужская машино-технологическая станция»

Результаты научно-исследовательской работы на тему «Повышение износостойкости отвалов плугов полуавтоматической вибродуговой наплавкой» внедрены в ГП «Калужская МТС» в 2012-15 г.

Предприятие предоставило производственные площади для проведения испытаний экспериментального образца устройства для полуавтоматической вибродуговой наплавки и разработанной технологии упрочнения.

В присутствии представителя предприятия с помощью экспериментального устройства была произведена наплавка рабочих органов почвообрабатывающих машин. Для экспериментальной наплавки использовали проволоку 65Г диаметром 1,6 мм, частоту вибраций 10 Гц, амплитуду вибраций 1...2 мм. Применение вибродугового процесса позволяет снизить силу сварочного тока до 80...100А при стабильном формировании валика. Ширина шва составила 3...4 мм, твердость наплавленного металла – НРС 55...60. Испытания проводили на лемешно-отвальных поверхностях плугов ПЛН-3-35, ПЛН-5-35, Kvernerland, EurOpal, Lemken, Gregoire Besson при весенних и осенних полевых работах в хозяйствах Калужской области.

Гл. инженер

A handwritten signature in blue ink, likely belonging to the Chief Engineer mentioned in the text.

Ю.И. Лёвин

«УТВЕРЖДАЮ»

Ген. директор ООО «Технамет»

А.И. Пономарёв

_____ 2015 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

Результаты научно-исследовательской работы Голубиной С.А. «Повышение износостойкости отвалов плугов полуавтоматической вибродуговой наплавкой» внедрены в ООО «Технамет» (г. Калуга) в 2010 - 2015 г.г.

Для осуществления процесса упрочнения применено экспериментальное оборудование (патент РФ на изобретение №2301728) и предлагаемая технология упрочнения на основе процессов полуавтоматической вибродуговой наплавки.

На основании результатов внедрения, полученных при выполнении работы, в ООО «Технамет» составлены технологические рекомендации по восстановлению упрочнению лемешно-отвальных поверхностей плугов отечественного и зарубежного производства.

Годовой экономический эффект от внедрения разработанной технологии составил 120 000 рублей (сто двадцать тысяч) рублей.

УТВЕРЖДАЮ

Директор

КФ МГТУ им. Н. Э. Баумана

А.В. Царьков

2016г.**СПРАВКА**

о внедрении результатов кандидатской диссертационной работы
в учебном процессе Калужского филиала МГТУ имени Н.Э. Баумана

Результаты диссертационной работы Голубиной Светланы Александровны «Повышение износостойкости отвалов плугов полуавтоматической вибродуговой наплавкой», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, включены в материалы лекционного курса и лабораторных работ дисциплин «Технология ремонта автотракторной техники», «Основы технологии восстановления машин» изучаемых студентами специальности 110301.65 – Механизация сельского хозяйства и дисциплин «Проектирование автотракторного сервиса», «Эксплуатация и ремонт автомобиля и трактора» специальности 23.05.01 – Наземные транспортно-технологические средства, а также при выполнении НИРС и выпускных квалификационных работ.

Зав. кафедрой К4-КФ
«Автомобиле- и тракторостроение»,

д.т.н., профессор

В.Н. Сидоров

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО Брянский государственный
аграрный университет, доктор
сельскохозяйственных наук, профессор



В.Е. Ториков

«17»

06

2016 г.

СПРАВКА

о внедрении результатов диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук в учебном процессе
ФГБОУ ВО Брянский государственный аграрный университет

Результаты диссертационной работы Голубиной Светланы Александровны «Повышение износостойкости плужных отвалов полуавтоматической вибродуговой наплавкой», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, включены в материалы лекционного курса и лабораторных работ дисциплин «Технология ремонта машин» и «Ресурсосберегающие технологии ремонта сельскохозяйственной техники», изучаемых студентами при подготовке бакалавров по направлению 35.03.06.- Агроинженерия и выпускных квалификационных работ.

Использование материалов диссертационной работы, связанных с технологией и процессами упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин, позволяет повысить уровень преподавания данных дисциплин и дать студентам более глубокие знания в области повышения износостойкости деталей сельскохозяйственных машин.

Декан
инженерно-технологического факультета,
доктор технических наук, профессор

А.И. Купренко