

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет»

Институт механизации и технического сервиса

Кафедра «Эксплуатация и ремонт машин»

Направление подготовки: 35.04.06 Агроинженерия

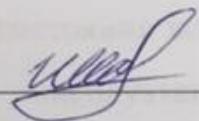
Магистерская программа: Технический сервис в сельском хозяйстве

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(Магистерская диссертация)

**ТЕМА: ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМОВ ВИБРОДУГОВОГО
УПРОЧНЕНИЯ РЕЖУЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ РАБОЧИХ ОРГАНОВ
ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН**

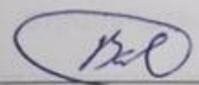
Студент магистратуры



Шигабиев И.И.

Научный руководитель,

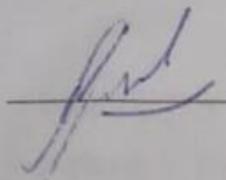
к.т.н., доцент



Вафин Н.Ф.

Обсужден на заседании кафедры «Эксплуатация и ремонт машин» и допущен
к защите (протокол № 9 от 02.02 2021 г.)

Зав. кафедрой д.т.н., профессор



Адигамов Н. Р.

Казань, 2021

АННОТАЦИЯ

к выпускной квалификационной работе (магистерской диссертации)

Шигабиева Ирека Илгизовича на тему

«Обоснование режимов вибродугового упрочнения режущих поверхностей рабочих органов почвообрабатывающих машин»

Магистерская диссертация посвящена изучению и обоснованию режимов вибродугового упрочнения режущих поверхностей стрелчатых лап почвообрабатывающих машин с применением металлокерамических материалов.

Данная работа содержит введение, в котором приводятся актуальность темы, цели и задачи исследований, 5 глав, выводы и рекомендации по результатам исследований и включает _____ страниц машинописного текста, _____ рисунков, _____ таблиц, _____ наименований библиографических источников.

Первая глава посвящена анализу состояния вопроса по теме работы, в котором рассмотрены особенности эксплуатации рабочих органов почвообрабатывающих машин, основные направления повышения износостойкости и долговечности стрелчатых лап, анализ методов восстановления изношенных стрелчатых лап и краткие выводы.

Во второй главе приводятся теоретические исследования, в частности, исследование особенностей технологии вибродугового упрочнения, исследование параметров, влияющих на процесс зажигания электрической дуги при вибродуговом упрочнении, а также краткие выводы по результатам теоретических исследований.

В третьей главе приводится программа и методика экспериментальных исследований.

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований и технология вибродугового упрочнения режущих поверхностей стрелчатых лап почвообрабатывающих машин.

В пятой главе приводится описание технологии вибродугового упрочнения стрельчатых лап почвообрабатывающих машин и его экономическое обоснование.

Работа заканчивается выводами и рекомендациями.

ABSTRACT

for the final qualifying work (Master's thesis) Irek Ilgizovich Shigabiev
on the topic «Justification of modes of vibration-arc hardening of cutting
surfaces of working bodies of tillage machines»

The master's thesis is devoted to the study and justification of the modes of vibration-arc hardening of the cutting surfaces of pointed paws of tillage machines using metal-ceramic materials.

This work contains an introduction, which provides the relevance of the topic, the goals and objectives of the research, 5 chapters, conclusions and recommendations on the results of the research and includes ___ pages of typewritten text, ___ figures, ___ tables, ___ names of bibliographic sources.

The first chapter is devoted to the analysis of the state of the issue on the topic of the work, in which the features of the operation of the working bodies of tillage machines, the main directions for improving the wear resistance and durability of pointed paws, the analysis of methods for restoring worn pointed paws and brief conclusions are considered.

The second chapter presents theoretical studies, in particular, the study of the features of the technology of vibroarc hardening, the study of the parameters that affect the process of electric arc ignition during vibroarc hardening, as well as brief conclusions based on the results of theoretical research.

The third chapter describes the program and methodology of experimental research.

The fourth chapter presents the results of experimental studies and the technology of vibration-arc hardening of the cutting surfaces of pointed paws of tillage machines.

The fifth chapter describes the technology of vibration-arc hardening of the lancet paws of tillage machines and its economic justification.

The work ends with conclusions and recommendations.

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
ВВЕДЕНИЕ	7
1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА	
1.1 Особенности эксплуатации рабочих органов почвообрабатывающих машин	14
1.2 Основные направления повышения износостойкости и долговечности стрелчатых лап	17
1.3 Методы восстановления изношенных стрелчатых лап	18
1.4 Описание технологии вибродугового упрочнения стрелчатых лап почвообрабатывающих машин	23
1.5 Выводы по анализу состояния вопроса. Цель и задачи исследования	26
2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	28
2.1 Исследование особенностей технологии вибродугового упрочнения	28
2.2 Исследование параметров, влияющих на процесс зажигания электрической дуги при вибродуговом упрочнении	31
2.3 Выводы	37
3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	38
3.1 Программа экспериментальных исследований	38
3.2 Оборудование и расходные материалы для вибродугового упрочнения	38
3.3 Методика испытаний на износостойкость в лабораторных условиях	41
3.4 Методика определения твердости металлокерамического покрытия и упрочненного основного металла	42
3.5 Методика проведения испытаний в полевых условиях	44

3.6	Методика проведения агротехнической оценки работы упрочненных стрельчатых лап	46 47
3.7	Определение ошибки эксперимента и повторности опытов	
4	АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	49
4.1	Результаты испытаний на износостойкость в лабораторных условиях	49
4.2	Результаты определения твердости поверхности металлокерамического покрытия после вибродугового упрочнения	52 53
4.3	Результаты испытаний в полевых условиях	
4.4	Результаты агротехнической оценки работы упрочненных стрельчатых лап	58 58
4.5	Выводы	
5	ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВИБРОДУГОВОГО УПРОЧНЕНИЯ СТРЕЛЬЧАТЫХ ЛАП ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН И ЕГО ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ	60
5.1	Технологии вибродугового упрочнения стрельчатых лап почвообрабатывающих машин	61
5.2	Экономическая оценка разработанной технологии вибродугового упрочнения стрельчатых лап	64 70
5.3	Выводы	71
	ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ	73
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	76
	ПРИЛОЖЕНИЯ	

ВВЕДЕНИЕ

Одним из приоритетных направлений развития экономики Российской Федерации является развитие сельского хозяйства. В последние годы наблюдается рост объемов производства сельскохозяйственной продукции, что невозможно обеспечить без наличия соответствующей сельскохозяйственной техники.

Одним из основных объектов деятельности в сельском хозяйстве является земля. Технология производства продукции растениеводства предусматривает проведения большого количества операций: обработка почвы, посев, уход за посевами, уборка и т. д. Обработка почвы является одним из основных операций в технологии, т.к. от того как она проводится во многом зависит будущий урожай.

В настоящее время применяются большое количество машин и орудий, предназначенных для обработки почвы (плуги, дискаторы, культиваторы, рыхлители и другие). Рабочие органы этих машин и орудий в условиях абразивного износа, что приводит к изменению их геометрических размеров и параметров, обеспечивающих качество выполнения работы. У большинства почвообрабатывающих орудий, посевных комплексов и других машин применяются стрельчатые лапы. Интенсивный износ стрельчатых лап приводит к повышению сопротивления рабочих органов и снижению качества выполнения работы, что в свою очередь сказывается на эффективности и качества выполнения работы. Поэтому приходится производить замену изношенных рабочих органов, что увеличивает непроизводительные простои техники. Это может привести к несоблюдению агротехнических сроков выполнения работы. В результате все это ведет к значительному увеличению себестоимости выполненных работ и снижению планируемого объема урожая сельскохозяйственной культуры.

В настоящее время множество предприятий изготавливают рабочие органы для почвообрабатывающих машин в виде запасных частей. Для этого

применяется большое количество дорогостоящей стали. Однако, не все предлагаемые на рынке запасные части отличаются качественным исполнением и изготавливаются из материалов низкого сорта. Поэтому, вопрос повышения износостойкости и долговечности рабочих органов сельскохозяйственных машин и орудий все ещё является актуальным.

В настоящее время для повышения износостойкости и долговечности рабочих органов сельскохозяйственных машин и орудий применяются различные способы и методы их упрочнения. Однако, существующие способы и методы не всегда обеспечивают требуемые физико-механические свойства материала, из которого изготовлены рабочие органы. Наиболее перспективным направлением в вопросе повышения износостойкости рабочих органов является упрочнение их режущих поверхностей с нанесением металлокерамических материалов в виде покрытий. Основу металлокерамических материалов сталь с керамическими компонентами (оксидов, карбидов, нитридов и т.д.), которые призваны обеспечивать высокие твердость и износостойкость.

Анализ способов и методов упрочнения рабочих органов с применением металлокерамических материалов показал, что на современном этапе существуют ограничения по упрочнению режущих поверхностей стрельчатых лап почвообрабатывающих машин. Это объясняется необходимостью дорогостоящего оборудования и материалов, а также тем, что существующие технологии не позволяют проводить упрочнение стрельчатых лап различной конфигурации. В связи с этим, исследования обоснованию режимов упрочнения режущих поверхностей стрельчатых лап с применением металлокерамических покрытий, являются в настоящее время актуальными и востребованными, которые должны способствовать решению вопросов повышения износостойкости и долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин и орудий, как отечественного, так и зарубежного производства.

Целью работы является повышение износостойкости режущих поверхностей рабочих органов почвообрабатывающих машин путем вибродугового упрочнения с применением металлокерамических материалов.

Задачи исследования:

- провести теоретические исследования по обоснованию режимов вибродугового упрочнения, при которых обеспечивается стабильность зажигания и горения электрической дуги;

- провести экспериментальные исследования по определению износостойкости и твердости покрытий, получаемых с разными составами металлокерамических паст;

- провести испытания на изнашивание рабочих органов почвообрабатывающих машин с упрочненными режущими поверхностями и сравнить с серийными образцами;

- разработать технологический процесс вибродугового упрочнения режущих поверхностей стрелчатых лап почвообрабатывающих машин и определить экономическую эффективность от его внедрения в производство.

Объектом исследования являются стрелчатые лапы культиватора марки КШУ-8 для сплошной обработки почвы и технология вибродугового упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин.

Предметом исследования являются эксплуатационные свойства металлокерамических покрытий, полученных при вибродуговом упрочнении на режущих поверхностях стрелчатых лап почвообрабатывающих машин.

Теоретическая значимость работы заключается в обосновании аналитических зависимостей, позволяющих обосновать толщину слоя наносимого металлокерамического материала, при котором обеспечивается стабильность зажигания и горения электрической дуги при вибродуговом упрочнении, основными параметрами которого являются пороговые значения напряженности электрического поля, амплитуда и частоты вибрации электрода.

Практическая значимость работы заключается в обосновании состава металлокерамического материала и режимов виброуглового упрочнения, при которых обеспечивается повышение износостойкости режущих поверхностей рабочих органов почвообрабатывающих машин. Внедрение предлагаемой технологии упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин позволит сократить эксплуатационные затраты.

Основные положения данной работы были представлены на научных конференциях, проводимых в ФГБОУ ВО «Казанский ГАУ» (Казань, 2018-2021 гг.), а также на международной научно-практической конференции.

Основное содержание данной работы, результаты исследований приводятся в двух статьях, опубликованных в трудах международной научно-практической конференции.

Работа выполнена на кафедре «Эксплуатация и ремонт машин» ФГБОУ ВО «Казанский ГАУ».

INTRODUCTION

One of the priority directions of development of the economy of the Russian Federation is the development of agriculture. In recent years, there has been an increase in the volume of agricultural production, which cannot be achieved without the availability of appropriate agricultural equipment.

Land is one of the main objects of activity in agriculture. The technology for the production of crop products provides for a large number of operations: tillage, sowing, caring for crops, harvesting, etc. Tillage is one of the main operations in the technology, because the future harvest largely depends on how it is carried out.

Currently, a large number of machines and implements are used for soil cultivation (plows, discs, cultivators, cultivators, and others). The working bodies of these machines and tools under conditions of abrasive wear, which leads to a change in their geometric dimensions and parameters that ensure the quality of work. Most tillage implements, seeding machines and other machines use duckfoot shares. Intense wear of the duckfoot paws leads to an increase in the resistance of the working bodies and a decrease in the quality of work, which in turn affects the efficiency and quality of work. Therefore, it is necessary to replace worn-out working bodies, which increases the unproductive downtime of equipment. This can lead to non-compliance with agrotechnical deadlines for the work. As a result, all this leads to a significant increase in the cost of work performed and a decrease in the planned volume of agricultural crops.

Currently, many enterprises manufacture working bodies for tillage machines in the form of spare parts. For this, a large amount of expensive steel is used. However, not all spare parts on the market are of high quality and are made from low grade materials. Therefore, the issue of increasing the wear resistance and durability of the working bodies of agricultural machines and implements is still relevant.

Currently, to increase the wear resistance and durability of the working bodies of agricultural machines and implements, various methods and methods of their

hardening are used. However, the existing methods and methods do not always provide the required physical and mechanical properties of the material from which the working bodies are made. The most promising direction in increasing the wear resistance of working bodies is the strengthening of their cutting surfaces with the application of cermet materials in the form of coatings. The basis of cermet materials is steel with ceramic components (oxides, carbides, nitrides, etc.), which are designed to provide high hardness and wear resistance.

The analysis of the methods and methods of hardening the working bodies with the use of cermet materials showed that at the present stage there are limitations on the hardening of the cutting surfaces of the lancet paws of tillage machines. This is due to the need for expensive equipment and materials, as well as the fact that existing technologies do not allow hardening of duckfoots of various configurations. In this regard, studies on the substantiation of the modes of hardening of the cutting surfaces of duckfoot paws with the use of metal-ceramic coatings are currently relevant and in demand, which should contribute to solving the issues of increasing the wear resistance and durability of the working bodies of tillage machines and tools, both domestic and foreign production.

The aim of the work is to increase the wear resistance of the cutting surfaces of the working bodies of tillage machines by means of vibration-arc hardening with the use of cermet materials.

Research objectives:

- to conduct theoretical studies to substantiate the modes of vibration-arc hardening, which ensure the stability of the ignition and combustion of the electric arc;
- to conduct experimental studies to determine the wear resistance and hardness of coatings obtained with different compositions of cermet pastes;
- to carry out tests on the wear of the working bodies of tillage machines with hardened cutting surfaces and compare with serial samples;

- to develop a technological process of vibration-arc hardening of the cutting surfaces of the lancet paws of tillage machines and to determine the economic efficiency from its introduction into production.

The object of the study is the KShU-8 cultivator's pointed paws for continuous tillage and the technology of vibration-arc hardening of the working bodies of soil-cultivating machines.

The subject of the research is the operational properties of metal-ceramic coatings obtained by vibration-arc hardening on the cutting surfaces of the lancet paws of tillage machines.

The theoretical significance of the work lies in the substantiation of analytical dependencies, which make it possible to substantiate the thickness of the layer of the applied cermet material, which ensures the stability of the ignition and combustion of the electric arc during vibration-arc hardening, the main parameters of which are the threshold values of the electric field strength, the amplitude and frequency of the electrode vibration.

The practical significance of the work lies in the substantiation of the composition of the cermet material and modes of vibration-arc hardening, which ensure an increase in the wear resistance of the cutting surfaces of the working bodies of tillage machines. The introduction of the proposed technology for hardening the working bodies of tillage machines will reduce operating costs.

The main provisions of this work were presented at scientific conferences held at the Kazan State Agrarian University (Kazan, 2018-2021), as well as at an international scientific and practical conference.

The main content of this work, research results are given in two articles published in the proceedings of the international scientific and practical conference.

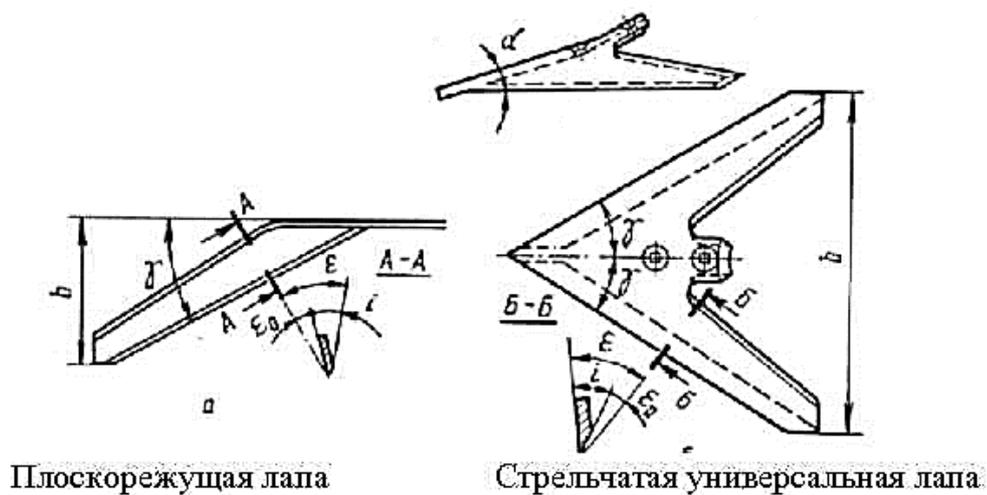
The work was done at the Department of "Operation and repair of machines", Kazan State Agrarian University.

1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА

1.1 Особенности эксплуатации рабочих органов почвообрабатывающих машин

В процессе эксплуатации поверхности рабочих органов почвообрабатывающих машин подвергаются ударам, вибрациям и различным динамическим нагрузкам (растяжение, сжатие, изгиб или кручение), кроме этого, они работают в условиях постоянного абразивного износа и присутствия в обрабатываемом слое частей растений. При абразивном износе происходит уменьшение размеров рабочих органов, затупление режущих поверхностей, а также изменение их формы. Износ рабочих органов приводит к снижению качества обработки почвы, повышению сопротивления почвообрабатывающей машины, что, в свою очередь, ведет к повышению энергетических затрат. Срок эксплуатации почвообрабатывающих машин во многом определяется ресурсом рабочих органов, поэтому они требуют значительного повышения износостойкости.

В качестве рабочих органов стрельчатые лапы, в основном, устанавливаются на культиваторах, посевных комплексах, рыхлителях и на других почвообрабатывающих машинах. Стрельчатые лапы бывают двух видов: плоскорежущие и универсальные (рисунок 1.1). Плоскорежущие лапы имеют небольшой угол наклона к поверхности почвы (до 18°). Наиболее распространенными являются универсальные стрельчатые лапы, которые предназначены для рыхления почвы с одновременным подрезанием сорных растений. Они имеют угол наклона к поверхности почвы до 30° . К основным параметрам стрельчатых лап относятся: угол раствора крыльев 2γ ; угол крошения ϵ ; ширина захвата b ; угол заострения лезвия i (рисунок 1.1).



Плоскорезущая лапа

Стрельчатая универсальная лапа

Рисунок 1.1 – Стрельчатые лапы и их параметры

Для изготовления универсальных стрельчатых лап почвообрабатывающих машин отечественные производители, в основном, используют стали 65Г и 70Г ГОСТ 1343-82 []. Увеличение ресурса режущих поверхностей стрельчатых лап достигается за счет их термической обработки или наплавки твердым сплавом. Зарубежные производители стрельчатые лапы изготавливают из более прочных борсодержащих мало- и среднеуглеродистых сталей с добавками молибдена и титана [].

Во время обработки почвы носок стрельчатых лап испытывает в 2,5...4 раза большую нагрузку, чем другие участки, что обуславливает его интенсивный износ. В почвообрабатывающих машинах стрельчатые лапы устанавливаются в два и более ряда. На стрельчатые лапы первого ряда оказывается большое сопротивление почвы, чем на лапы других рядов. Это объясняется тем, что лапы первого ряда взаимодействуют с необработанной почвой. Поэтому, наблюдается неравномерный износ стрельчатых лап первого и последующих рядов. Необходимо также отметить, что в случае неправильной регулировки почвообрабатывающей машины или из-за дефектов рамы наблюдается неравномерный износ лап, расположенных в одном ряду.

Для проведения испытаний на износостойкость в лабораторных условиях были подготовлены неупрочненные и упрочненные по

разработанной технологии образцы из стали 65Г, которые испытывались на одинаковом оборудовании и при одинаковой продолжительности испытания.

Сначала на поверхность образцов, подлежащих упрочнению наносились металлокерамические пасты, содержащие 60% стального порошка ПГ-10Н-01, 30% керамических компонентов, после затвердевания которых проводилось вибродуговое упрочнение.

Эксплуатация рабочих органов почвообрабатывающих машин обусловлена тем, что на их рабочие поверхности оказывают воздействие абразивные частицы, которые содержатся в почвенной среде. Изнашивание рабочих органов приводит к изменению их геометрических размеров и основных технологических параметров, что приводит к уменьшению качества обработки почвы, что в конечном итоге приводит к снижению количества получаемого урожая сельскохозяйственной продукции. Для проведения испытаний на износостойкость в лабораторных условиях были подготовлены неупрочненные и упрочненные по разработанной технологии образцы из стали 65Г, которые испытывались на одинаковом оборудовании и при одинаковой продолжительности испытания. Сначала на поверхность образцов, подлежащих упрочнению наносились металлокерамические пасты, содержащие 60% стального порошка ПГ-10Н-01, 30% керамических компонентов, после затвердевания которых проводилось вибродуговое упрочнение. Абразивный износ приводит к затуплению режущей поверхности стрелчатых лап, скруглению носка и износу крыльев по всей длине. К основным дефектам стрелчатых лап относятся деформаций и трещины, изломы, погнутость плоскости и т.д. Установлено, что более 60%) стрелчатых лап теряют работоспособное состояние из-за предельного износа носка и ширины крыльев [] (рисунок 1.1).

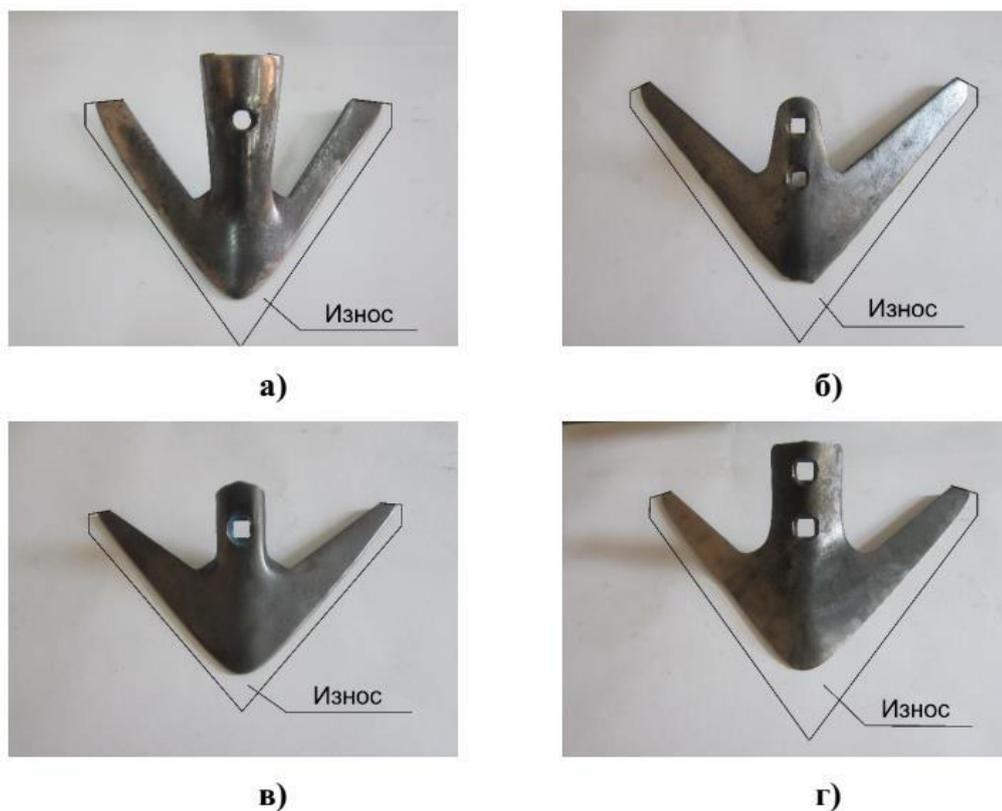


Рисунок 1.1 – Изменение геометрических размеров и износ стрелчатых лап различных почвообрабатывающих машин: сеялки-культиватора Bourgault 8810 (а); культиватора КПС-4Г (б); культиватора Lemken Kompaktor (в) и культиватора КШУ-8 (г)

Из рисунка 1.1 видно, что наибольшему износу подвергается носок стрелчатой лапы. В зависимости от состава почвенной среды значение износа носка лапы в 2,2...2,5 раза больше по сравнению с интенсивностью износа крыльев лапы []. По мере удаления от носка лапы интенсивность ее изнашивания значительно снижается.

1.2 Основные направления повышения износостойкости и долговечности стрелчатых лап

Основными предпосылками повышения износостойкости и долговечности стрелчатых лап являются:

- 1) относительно не высокий ресурс стрелчатых лап;
- 2) массовость производства стрелчатых лап;

- 3) высокая стоимость стрелчатых лап (особенного импортного производства).

К настоящему времени разработаны достаточно большое количество направлений повышения износостойкости и долговечности рабочих органов сельскохозяйственных машин, среди которых можно выделить следующие:

- методы повышения износостойкости и долговечности применяемые на стадии разработки и изготовления (применение новых материалов высокой твердости, новые конструкторские решения, нанесение износостойких покрытий при изготовлении и другие);

- методы повышения износостойкости и долговечности применяемые при ремонте и восстановлении рабочих органов (методы восстановления изношенных рабочих органов обеспечивающих повышенную стойкость к износу и возможность многократного восстановления).

Анализ существующих направлений и методов повышения износостойкости и долговечности рабочих органов сельскохозяйственных машин показал, что невозможно представить какую-то их классификацию. Поэтому, в данной работе рассмотрены вопросы разработки и выбора способа повышения износостойкости и долговечности стрелчатых лап.

1.3 Методы восстановления изношенных стрелчатых лап

Все существующие и применяемые на практике методы и способы восстановления изношенных стрелчатых лап можно разделить на следующие группы:

- 1) Методы восстановления размеров стрелчатых лап в соответствии с техническими условиями путем создания объема металла наплавкой с последующим горячим деформированием [];

- 2) Применение сменных упрочненных различными способами крыльев с режущей поверхностью с нормированными размерами, которые крепятся к остову лапы [].

Для повышения износостойкости и долговечности стрелчатых лап почвообрабатывающих машин целесообразно применять технологии

упрочнения их режущих поверхностей. Наиболее распространенные технологии упрочнения режущих поверхностей стрелчатых лап представлены на рисунке 1.2.

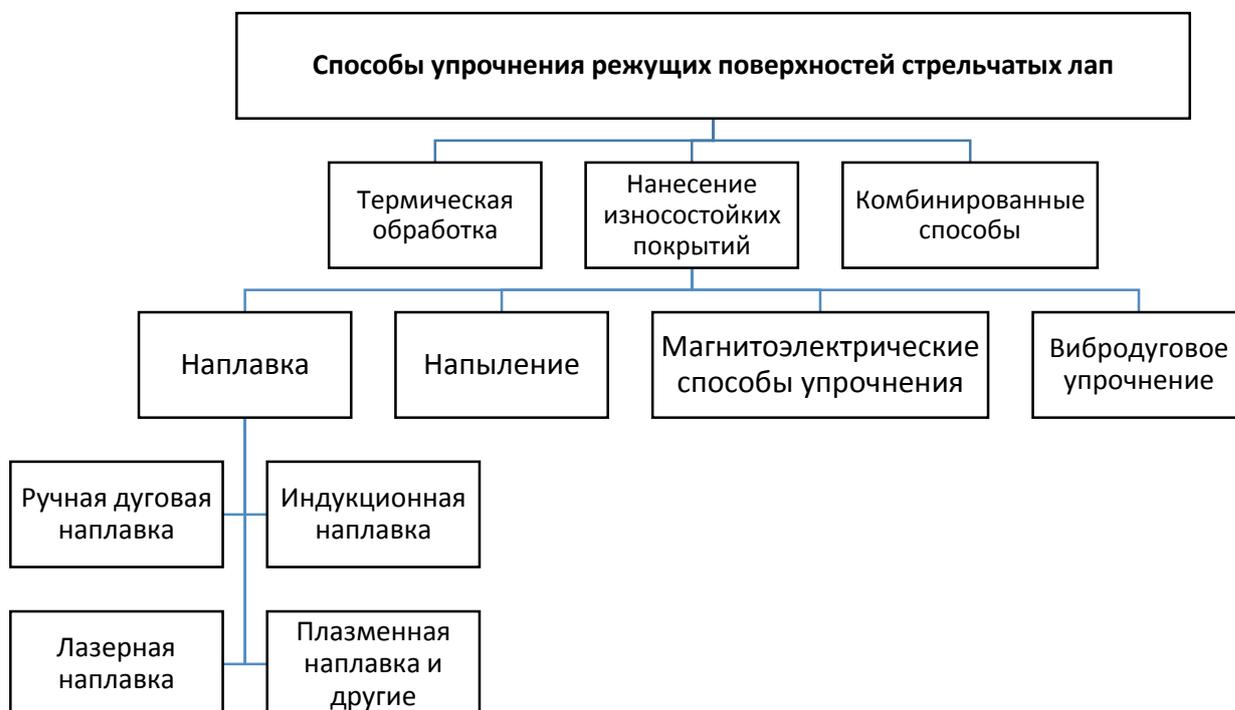


Рисунок 1.2 - Способы упрочнения режущих поверхностей стрелчатых лап почвообрабатывающих машин

Способы термической обработки обеспечивают упрочнение стрелчатых лап как на всю толщину режущей поверхности, так и на глубину всего 1...2 мм за счет использования токов высокой частоты. При применении способов термической обработки обеспечивается твердость поверхности не менее 40 HRC []. Однако, способы термической обработки не обеспечивают значительного повышения износостойкости стрелчатых лап.

Технология восстановления изношенных стрелчатых лап наплавкой слоя материала с содержанием углерода около 0,35-0,6% по длине лезвия ручной электродуговой позволяет восстанавливать номинальные размеры лапы в соответствии с техническими условиями. Технология предусматривает после наплавки выполнение оттяжки горячим деформированием при температуре 1400⁰- 800⁰С с использованием специализированной

(формообразующей) оправки, копирующей геометрию крыльев лапы [], после чего проводится охлаждение лапы в воде. Таким образом, восстанавливаемая лапа подвергается термомеханической обработки []. Данная технология отличается универсальностью и обеспечивает увеличение износостойкости и долговечности. Этим способом позволяет неоднократно проводить восстановление и упрочнение лапы. Однако, к недостаткам данной технологии относятся сложность, необходимость использования специализированной (формообразующей) оправки, многократного нагрева лапы не позволяет широко применять данную технологию. Таким образом, восстанавливаемая лапа подвергается термомеханической обработки. Данная технология отличается универсальностью и обеспечивает увеличение износостойкости и долговечности. Этим способом позволяет неоднократно проводить восстановление и упрочнение лапы. Однако, к недостаткам данной технологии относятся сложность, необходимость использования специализированной (формообразующей) оправки, многократного нагрева лапы не позволяет широко применять данную технологию.

Широкое распространение для упрочнения стрелчатых лап почвообрабатывающих машин получили способы нанесения износостойких покрытий. В настоящее время для нанесения износостойких материалов используют технологии наплавки, например, индукционная наплавка []. Суть данной технологий заключается в том, что на упрочняемую поверхность лапы наносится присадочный материал, который состоит из различных металлических порошков (высоколегированные чугуны, сплавы на основе кобальта, вольфрама и никеля, композитные материалы) и флюсов. Флюсы состоят из 43...62 % борной кислоты, 30...42 % кристаллической буры и 5...15% силикокальция. Содержание флюса в присадочном материале составляет 10...16%. Нанесенный присадочный материал расплавляют с помощью токов высокой частоты. Данный способ отличается тем, что

продолжительность индукционной наплавки стрелчатой лапы в среднем составляет 15...20 с.

К настоящему времени разработаны достаточно большое количество направлений повышения износостойкости и долговечности рабочих органов сельскохозяйственных машин, среди которых можно выделить следующие:

- методы повышения износостойкости и долговечности применяемые на стадии разработки и изготовления (применение новых материалов высокой твердости, новые конструкторские решения, нанесение износостойких покрытий при изготовлении и другие);

- методы повышения износостойкости и долговечности применяемые при ремонте и восстановлении рабочих органов (методы восстановления изношенных рабочих органов обеспечивающих повышенную стойкость к износу и возможность многократного восстановления).

Анализ существующих направлений и методов повышения износостойкости и долговечности рабочих органов сельскохозяйственных машин показал, что невозможно представить какую-то их классификацию. Поэтому, в данной работе рассмотрены вопросы разработки и выбора способа повышения износостойкости и долговечности стрелчатых лап.

Известны комбинированные технологии повышения износостойкости стрелчатых лап. Например, технология восстановления изношенных стрелчатых лап с применением термоупрочненных компенсирующих элементов с последующим наплавочном армированием []. Сущность данного способа заключается в том, что на рабочую поверхность стрелчатой лапы наплавкой наносятся валики с помощью электродов типа Т-590 или Т-620. Данная технология позволяет производить упрочнение рабочих органов почвообрабатывающих машин в условиях небольших по оснащенности ремонтных мастерских и при этом обеспечивает невысокую себестоимость процесса восстановления стрелчатых лап. Однако, данная технология не обеспечивает увеличение ресурса упрочненных стрелчатых лап.

Ручная дуговая наплавка также является наиболее применяемым при упрочнении рабочих органов почвообрабатывающих машин. Известен способ ручной дуговой наплавки стрелчатых лап с помощью порошковых электродов из композиционных СВС-материалов []. Для изготовления электродов используют смеси, которые состоят порошков ПР-Н70Х7С4Р4-3, углерода и титана. Наплавка с помощью порошковых электродов обеспечивает увеличение ресурса стрелчатых лап почвообрабатывающих машин в 2...4 раза. Однако, необходимость выполнения большого количества операций связанных с изготовлением смесей для наплавки и электродов приводит к значительному увеличению затрат на упрочнение стрелчатых лап.

В настоящее время при восстановлении изношенных деталей машин широкое применение находят наплавка и упрочнение с использованием лазерных технологии []. Лазерная наплавка обеспечивает минимальное термическое воздействие на обрабатываемую поверхность. Степень упрочнения поверхности зависит, в основном, от свойств наплавляемого материала и режимов термического воздействия. Для наплавки рабочих органов почвообрабатывающих машин применяется порошковый сплав ФБХ-6-2 с различными добавками, содержащими твердые оксиды металлов и связующий раствор []. После лазерной наплавки и упрочнения твердость наплавленного слоя составляет 56...61 HRC.

Однако применение лазерных технологий для наплавки и упрочнения режущих поверхностей стрелчатых лап требует наличие специальных установок для управления лазерным лучом, что значительно увеличивает себестоимость восстановительных работ.

Разработана технология создания на крыльях стрелчатых лап пилообразной формы лезвия электроискровым методом, которая способствует повышению износостойкости стрелчатых лап []. Данная технология предусматривает нанесение на поверхность стрелчатой лапы твердого сплава ВК6 (твердость HRC 53...60) отдельными участками шириной 5...6 мм. Не обработанные участки лапы упрочняют с противоположной стороны лапы с

помощью высокочастотного генератора специальным индуктором под слоем охлаждающей жидкости (твердость HRC 60...65). Данная технология отличается высокой трудоемкостью, поэтому она не нашла широкого применения.

Для повышения износостойкости стрелчатых лап почвообрабатывающих машин применяется также технология точечного упрочнения, которая позволяет наплавлять на режущую поверхность лапы износостойкий материал с помощью порошковой проволоки ПП-Нп-80Х20Р3Т []. В результате на упрочняемой поверхности образуются точки переменного сечения. Изменение формы точек изменением режимов процесса наплавки – напряжением, силой тока, временем наплавки, вылетом электрода, полярностью, скоростью подачи проволоки. Однако, при эксплуатации стрелчатых лап данные точки могут выкрашиваться и появляются сколы, что вызывает повышенный износ их рабочих поверхностей.

Для повышения износостойкости режущих поверхностей стрелчатых лап почвообрабатывающих машин могут применяться металлокерамические материалы. В состав металлокерамических материалов входят металлические основы с различными керамическими добавками (оксидами, карбидами, нитридами и т.д.). В процессе упрочнения металлокерамические материалы наносят на поверхность рабочих органов в виде покрытий, для формирования которых применяются различные способы. Наиболее перспективным способом формирования металлокерамических покрытий является применение вибродугового упрочнения.

При вибродуговом упрочнении на режущую поверхность стрелчатой лапы наносят металлокерамические материалы (пасту), которая подвергается сушке. После затвердевания покрытия с применением вибрирующего угольного электрода производится расплавление пасты и образование металлокерамического покрытия. Основным преимуществом данного способа

является то, что за счет вибрации угольного электрода отсутствует значительное термическое воздействие в упрочняемую лапу.

Данный способ упрочнения можно внедрить как в крупные специализированные заводы по изготовлению сельскохозяйственной техники и рабочих органов к ней, так и в небольшие ремонтные мастерские сельскохозяйственных предприятий. С помощью данного способа можно производить упрочнение режущих поверхностей стрелчатых лап различной конфигурации.

Таким образом, рассмотренные технологии и способы упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин имеют как преимущества, так и недостатки. Среди них наиболее перспективным является технология вибродугового упрочнения, применение которого обеспечивает повышение износостойкости и долговечности стрелчатых лап. Для реализации данной технологии требуется простое по конструкции оборудование и относительно не дорогие компоненты и материалы.

1.4 Описание технологии вибродугового упрочнения стрелчатых лап почвообрабатывающих машин

При вибродуговом упрочнении на поверхность стрелчатых лап почвообрабатывающих машин наносится металлокерамическая паста. Физико-механические свойства и толщина получаемого при этом покрытия зависят от выбранных режимов упрочнения и состава металлокерамических материалов.

В составе металлокерамических материалов содержится металлическая основа и керамические компоненты []. Металлическую основу составляют стальные наплавочные порошки, которые обладают высокой твердостью и абразивной стойкостью. К качеству стальных наплавочных порошков используются порошки марок ПГ-10Н-01, ПГ-УС25, ПГ-ФБХ6-2, ПГ-СР4,

ПР-Н70Х17С3Р4. Металлическая основа обеспечивает ударную вязкость покрытия.

Керамические компоненты должны иметь высокую температуру плавления и физико-механические свойства. При вибродуговом упрочнении в качестве таких компонентов могут быть использованы карбиды, оксиды, нитриды и бориды таких металлов, как бор, вольфрам, титан, хром и другие []. Однако исследования показывают, что бориды придают покрытию хрупкость, а нитриды - дорогостоящий компонент. Поэтому, наиболее при вибродуговом упрочнении используют оксид алюминия Al_2O_3 , оксид кремния SiO_2 и карбид бора B_4C [].

При вибродуговом упрочнении для расплавления нанесенной металлокерамической пасты применяется установки ВДГУ-2 (рисунок 1.3). Эта установка состоит из сварочного инвертора 1, пульта управления 2 и вибратора 3.

Вибратор предназначен для установки и закрепления угольных электродов (рисунок 1.4). При вибродуговом упрочнении применяются угольные электроды диаметром 6...10 мм.



1 – сварочный инвертор (источник тока); 2 – пульт управления; 3 – вибратор

Рисунок 1.3 – Установка ВДГУ-2



Рисунок 1.4 – Угольные электроды

Процесс упрочнение происходит при горении прямой дуги при следующих режимах: сила тока $I = 60 \dots 90 \text{ А}$, частота вибрации угольного электрода – $25 \dots 50 \text{ Гц}$ [], амплитуда вибрации угольного электрода – $0,5 \dots 1,1 \text{ мм}$. При таких режимах вибродугового упрочнения твердость металлокерамических покрытий получается не менее 60 HRC.

Рассматриваемая технология упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин может быть внедрена в основном в предприятия, которые занимаются техническим сервисом и эксплуатацией сельскохозяйственной техники.

Необходимо отметить, что в настоящее время технология вибродугового упрочнения с применением металлокерамических паст исследован не полностью, т.к. не обоснованы оптимальные режимы упрочнения для различных составов металлокерамических паст. Анализ научных публикации показывает, что по данной теме практически не проводятся комплексные исследования. В связи с этим, необходимо исследовать вопросы применения в качестве керамических компонентов металлокерамических паст карбидов (прежде всего, карбида бора), т.к. карбид бора отличается очень высокой твердостью и другими физико-механическими свойствами.

1.5 Выводы по анализу состояния вопроса. Цель и задачи исследования

На основании проведенного анализа состояния вопроса можно сделать следующие выводы:

1. Особенностью эксплуатации рабочих органов почвообрабатывающих машин является интенсивное изнашивание их рабочих поверхностей, особенно, режущих в результате взаимодействия с абразивными частицами почвенной среды. В качестве рабочих органов большинства почвообрабатывающих машин используются универсальные стрелчатые лапы. Применение для обработки почвы изношенных стрелчатых лап приводит к снижению качества работы, увеличению энергетических и материальных затрат и затягиванию установленных агротехнических сроков выполнения работы.

2. В настоящее время разработаны и применяются на практике различные способы и технологии повышения износостойкости рабочих органов почвообрабатывающих машин. Среди рассмотренных способов наиболее перспективным является упрочнение стрелчатых лап с применением металлокерамических материалов. Такие материалы наносятся на упрочняемую поверхность стрелчатых лап в виде покрытий. Существующие способы нанесения таких покрытий отличаются низкой производительностью, дороговизной применяемого оборудования и материалов.

3. Наиболее перспективной технологией упрочнения режущих поверхностей стрелчатых лап почвообрабатывающих машин является их вибродуговое упрочнение с применением угольного электрода и металлокерамических паст. Однако, в настоящее время отсутствуют исследования по обоснованию рациональных режимов вибродугового упрочнения и состава металлокерамических паст, что не позволяет внедрять данную технологию в производство.

Цель настоящей работы заключается в повышении износостойкости стрельчатых лап почвообрабатывающих машин металлокерамическими покрытиями, получаемыми на режущих поверхностях лап при вибродуговом упрочнении.

Задачи исследования:

1. Обосновать толщину наносимой на поверхность металлокерамической пасты, при которой обеспечивается стабильное горение электрической дуги при вибродуговом упрочнении.

2. Провести экспериментальные исследования по определению толщины и физико-механических свойств металлокерамических покрытий, полученных при вибродуговом упрочнении на пастах различного состава.

3. Провести сравнительные испытания на изнашивание, а также эксплуатационные испытания серийных стрельчатых лап почвообрабатывающих машин без упрочнения и с вибродуговым упрочнением.

4. Разработать технологический процесс вибродугового упрочнения режущих поверхностей стрельчатых лап почвообрабатывающих машин и обосновать экономическую эффективность от его внедрения в производство.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Исследование особенностей технологии вибродугового упрочнения

Сущность технологии вибродугового упрочнения стрельчатых лап почвообрабатывающих машин заключается в следующем.

На режущую поверхность стрельчатой лапы слой металлокерамической пасты заданной толщины. В состав металлокерамической пасты входят металлическая основа (например, порошок ПГ-10Н-01), керамические компоненты и водный раствор клея ПВА, который применяется в качестве

связующего вещества компонентов пасты. После происходит высушивание пасты до твердого состояния.

После затвердевания нанесенного на поверхность слоя металлокерамической пасты осуществляется зажигание дуги между угольным электродом и упрочняемой поверхностью. Исследование процесса зажигания электрической дуги при вибродуговом упрочнении показывает, что его можно разделить на три фазы:

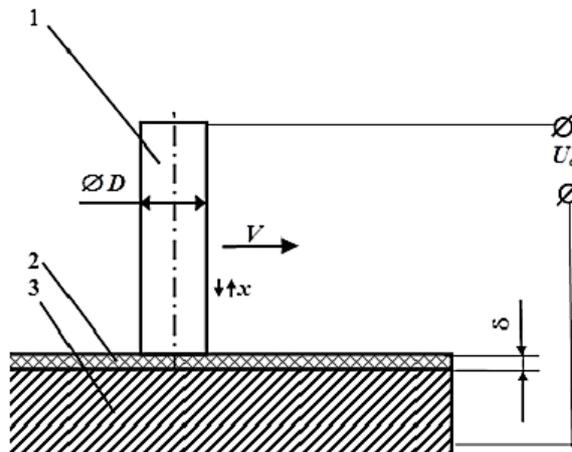
1. *Первая фаза.* При подачи на электрод напряжения U_0 начинается его взаимодействие с затвердевшим слоем пасты. При этом возникает разность потенциалов, значение которого равен $U_0 - (U_k + U_a) = 32 \dots 42$ В, что приводит к возникновению электрического поля между угольным электродом и упрочняемой поверхностью. Электрическое поле оказывает воздействие на затвердевший слой пасты, что приводит к уменьшению ее электрического сопротивления, что в свою очередь приводит к повышению электропроводности. При уменьшении сопротивления увеличивается сила тока и снижается напряжение до величины U_3 , при котором начинается процесс зажигания дуги;

2. *Вторая фаза.* Во второй фазе между угольным электродом и упрочняемой поверхностью возникает дуга. Далее происходит постепенное увеличение поперечного сечения дуги, что приводит к уменьшению значения сопротивления наплавляемого слоя пасты. Напряжение источника питания достигает значения, при котором начинается стабилизация процесса горения дуги;

3. *Третья фаза.* В третьей фазе горение дуги между угольным электродом и упрочняемой поверхностью становится устойчивым и начинается процесс вибродугового упрочнения.

Электрод совершает поступательное и колебательное движение в вертикальном направлении. Суть данного подхода заключается в том, что электрод и упрочняемая поверхность, между которыми зажигается дуга,

можно рассматривать как обкладки конденсатора, между которыми расположен слой с определенным сопротивлением (рисунок 2.1).



1 – угольный электрод; 2 – слой металлокерамической пасты толщиной δ ;
3 – упрочняемая поверхность

Рисунок 2.1 – Схема расположения электрода при вибродуговом упрочнении поверхности

Согласно предложенному Л.А. Сена подходу [73], напряженность поля E между обкладками подобного конденсатора при традиционной вибродуговой наплавке, в процессе реализации которой электрод периодически касается микронеровностей на наплавляемой поверхности, может быть определена по следующей эмпирической зависимости:

$$E = k_E \cdot \frac{U_0}{\sqrt[3]{a \cdot R^2 \cdot S^2}}, \quad (2.1)$$

где E – напряженность поля, В/мм;

k_E – коэффициент, учитывающий влияние колебаний электрода на напряженность электрического поля, $\text{мм}^{5/3} \text{Ом}^{2/3} / \text{с}^{2/3}$;

U_0 – напряжение источника электрического тока, В;

R – сопротивление слоя затвердевшей пасты в зоне контакта с электродом, Ом;

S – площадь контакта электрода с наплавляемым участком поверхности, мм^2 ;

a – ускорение электрода в процессе наплавки, $\text{мм}/\text{с}^2$.

В связи с этим для определения напряженности электрического поля при вибродуговом упрочнении с применением металлокерамической пасты необходимо учитывать потери напряжения на катоде U_k и аноде U_a . Согласно таблицы 2 [] суммарные потери напряжения на катоде и аноде при применении угольного электрода для наплавки стальной поверхности равны $U_k + U_a = 17...19$ В. С учетом потери напряжения и толщины слоя затвердевшего слоя, зависимость (2.1) принимает следующий вид:

$$E = \frac{U_0 - (U_k + U_a)}{\delta(1 + k_a \cdot \sqrt[3]{a \cdot R^2 \cdot S^2})}, \quad (2.2)$$

где k_a – коэффициент, учитывающий влияние колебательного движения электрода на напряженность электрического поля, $c^{2/3} \text{мм}^{-5/3} \text{Ом}^{2/3}$;

δ – толщина слоя затвердевшей пасты, мм.

С учетом зависимости (2.2) условие устойчивого зажигания электрической дуги при колебаниях электрода может быть записано в следующем виде:

$$E = \frac{U_0 - (U_k + U_a)}{\delta(1 + k_a \cdot \sqrt[3]{a \cdot R^2 \cdot S^2})} \geq E_{з.min}, \quad (2.3)$$

где $E_{з.min}$ – минимальное значение напряженности электрического поля для обеспечения стабильности зажигания дуги при вибродуговом упрочнении, В/мм.

2.2 Исследование параметров, влияющих на процесс зажигания электрической дуги при вибродуговом упрочнении

Было установлено, что на стабильность зажигания электрической дуги при вибродуговом упрочнении зависит от напряженности E электрического поля. Анализ зависимости (2.3) показал, что значение напряженности E электрического поля в основном зависит от следующих параметров: ускорения электрода a , сопротивления слоя затвердевшей пасты R и площади контакта электрода с наплавляемым участком поверхности S .

К настоящему времени разработаны достаточно большое количество направлений повышения износостойкости и долговечности рабочих органов сельскохозяйственных машин, среди которых можно выделить следующие:

- методы повышения износостойкости и долговечности применяемые на стадии разработки и изготовления (применение новых материалов высокой твердости, новые конструкторские решения, нанесение износостойких покрытий при изготовлении и другие);

- методы повышения износостойкости и долговечности применяемые при ремонте и восстановлении рабочих органов (методы восстановления изношенных рабочих органов обеспечивающих повышенную стойкость к износу и возможность многократного восстановления).

Анализ существующих направлений и методов повышения износостойкости и долговечности рабочих органов сельскохозяйственных машин показал, что невозможно представить какую-то их классификацию. Поэтому, в данной работе рассмотрены вопросы разработки и выбора способа повышения износостойкости и долговечности стрелчатых лап.

При вибродуговом упрочнении используется угольный электрод, который совершает колебательные движения. На установки ВДГУ-2 устанавливаются следующие параметры работы электрода: амплитуда колебаний $A = 0,5 \dots 1,1$ мм, частоты колебаний $f = 25 \dots 50$ Гц. Перемещение электрода в вертикальном направлении при колебаниях описывается следующим уравнением:

$$x = A \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t), \quad (2.4)$$

где A – амплитуда колебаний электрода, мм;

f – частота колебаний электрода, Гц;

t – время, с.

Продифференцировав уравнение (2.4) то ускорение электрода при вибродуговом упрочнении, значение которого равен:

$$a = \ddot{x} = 4 \cdot A \cdot \pi^2 \cdot f^2 = 12300 \dots 49300 \text{ мм/с}^2. \quad (2.5)$$

Сопротивление слоя затвердевшей пасты R зависит от его толщины. Это зависимость следующий вид []:

$$R = k_{\delta} \cdot \delta^5, \quad (2.6)$$

где $k_{\delta} = 28500 \text{ Ом/мм}^5$.

Площадь контакта электрода с наплавляемым участком поверхности S может быть принята равной:

$$S = 0,25 \cdot \pi \cdot D^2, \quad (2.7)$$

где D – диаметр электрода, мм.

С учетом вышеприведенных результатов уравнение (2.3) принимает следующий вид:

$$E = \frac{U_0 - (U_k + U_a)}{\delta \left(1 + 2,9 \cdot k_a \cdot \sqrt[3]{A \cdot f^2 \cdot k_{\delta}^2 \cdot \delta^{10} \cdot D^4} \right)} \geq E_{z.min}. \quad (2.8)$$

Для определения коэффициента k_a , который учитывает влияние колебательного движения электрода на напряженность электрического поля применяли следующую методику. На подготовленные образцы металлических поверхностей наносились металлокерамические пасты, толщина которых после затвердевания были равны $\delta = 0,5; 1,5; 2,5$ мм. Были подготовлены угольные электроды разного диаметра: $D = 5, 6$ и 8 мм. На электрод подавалось напряжение $U = 50$ В и после зажигания дуги и начала устойчивого ее горения фиксировались значения напряжения на клеммах сварочного аппарата и значение толщины затвердевшего слоя пасты, при котором отсутствует устойчивое горение дуги. При этом колебание электрода отсутствовало, т.е. $a = 0$. Для каждого образца зажигание дуги осуществлялось по три раз. По полученным результатам определялось значение напряженности электрического поля E_3 :

$$E_3 = \frac{U_0 - (U_k + U_a)}{\delta_{0max}}. \quad (2.9)$$

На следующем этапе измерения проводились с установкой электрода в нижнее положение и при его колебаний с амплитудой $A = 0,5$ мм и частотой $f = 25$ Гц с величины δ_{0max} . На электрод также подавалось напряжение $U = 50$ В и фиксировалось падение напряжения на клеммах источника питания и когда значение напряжения составило 35...40 В включалось колебания электрода. Фиксировалось напряжение зажигания дуги между электродом и каждым подготовленным образцом. Далее проводились такие же исследования при колебаниях электрода с амплитудой $A = 0,5$ мм и частотой $f = 50$ Гц и при колебаниях электрода с амплитудой $A = 1,1$ мм и частотой $f = 25$ и 50 Гц. Полученные значения учетом зависимости (2.9) обрабатывались, рассчитывались средние значения E_3 , средние квадратические отклонения, коэффициенты вариации.

Определение значения коэффициента k_a производилось по следующей зависимости:

$$k_a = 0,345 \frac{\frac{\delta_{0max}}{\delta_{max}} - 1}{\sqrt[3]{A \cdot f^2 \cdot k_{\delta}^2 \cdot \delta_{max}^{10} \cdot D^4}}. \quad (2.10)$$

В таблице 2.1 приведены результаты исследования величины E_3 при неколеблющемся угольном электроде.

Таблица 2.1 - Результаты исследования величины E_3 при неколеблющемся угольном электроде ($\delta_{0max} = 2,33$ мм)

№ состава	Толщина слоя пасты, мм	$U_0 - (U_k + U_a), В$				Напряженность электрического поля E_3 , В/мм
		$U_{3(1)}$	$U_{3(2)}$	$U_{3(3)}$	$U_{3(ср)}$	
1	0,5	21	21	20	20,7	5,4
	1,5	26	26	28	26,7	5,8
	2,5	34	35	35	34,7	6,7
2	0,5	20	21	21	20,7	5,4
	1,5	27	26	28	27	6,0
	2,5	33	34	32	33	6,0

3	0,5	22	20	20	20,7	5,4
	1,5	28	28	28	28	6,7
	2,5	35	34	34	34,3	6,5
Среднее значение, В/мм						6,0
Среднее квадратическое отклонение, В/мм						0,54
Напряженность электрического поля, при котором обеспечивается стабильность зажигания дуги, В/мм						7,6
Коэффициент вариации, %						9,0

Примечание:

состав 1: матрица (порошок ПГ-10Н-01) – 60%, керамический компонент – 40%.

состав 2: матрица (порошок ПГ-10Н-01) – 70%, керамический компонент – 30%.

состав 3: матрица (порошок ПГ-10Н-01) – 80%, керамический компонент – 20%.

Анализ результатов, приведенных в таблице 2.1 показал, что значение напряженности электрического поля не зависит от состава металлокерамических паст.

С учетом всех полученных результатов зависимость (2.8) принимает следующий вид:

$$E = k_B \cdot E_0 \geq E_{з.мах} = 7,6 \text{ В/мм.} \quad (2.11)$$

где k_B - безразмерный коэффициент, учитывающий толщину затвердевшего слоя пасты и колебание электрода;

E_0 - напряженность электрического поля при неколеблющемся электроде, В/мм.

Напряженность электрического поля при неколеблющемся электроде:

$$E_0 = (U_0 - (U_k + U_a)) / \delta. \quad (2.12)$$

Коэффициент k_B определяется из следующего уравнения:

$$k_B = \left(1 + 2,9 \cdot k_a \cdot \sqrt[3]{A \cdot f^2 \cdot k_\delta^2 \cdot \delta^{10} \cdot D^4} \right)^{-1}. \quad (2.13)$$

Анализируя зависимость (2.12) можно сделать следующие выводы:

– при увеличении толщины затвердевшего слоя пасты влияние параметров колебания электрода на напряженность электрического поля нелинейно снижается (рисунок 2.2);

- увеличение толщины затвердевшего слоя пасты ведет уменьшению напряженности электрического поля (рисунок 2.3);

– наиболее рациональная толщина затвердевшего слоя пасты, при которой происходит устойчивое зажигание дуги составляет $\delta = 2,2 \dots 2,4$ мм (рисунок 2.3).

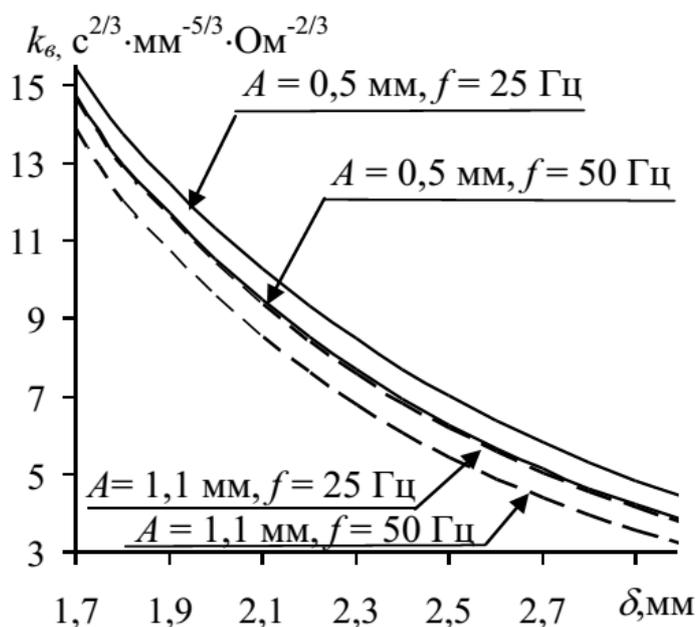


Рисунок 2.2 - Зависимость коэффициента k_B от толщины слоя затвердевшей пасты

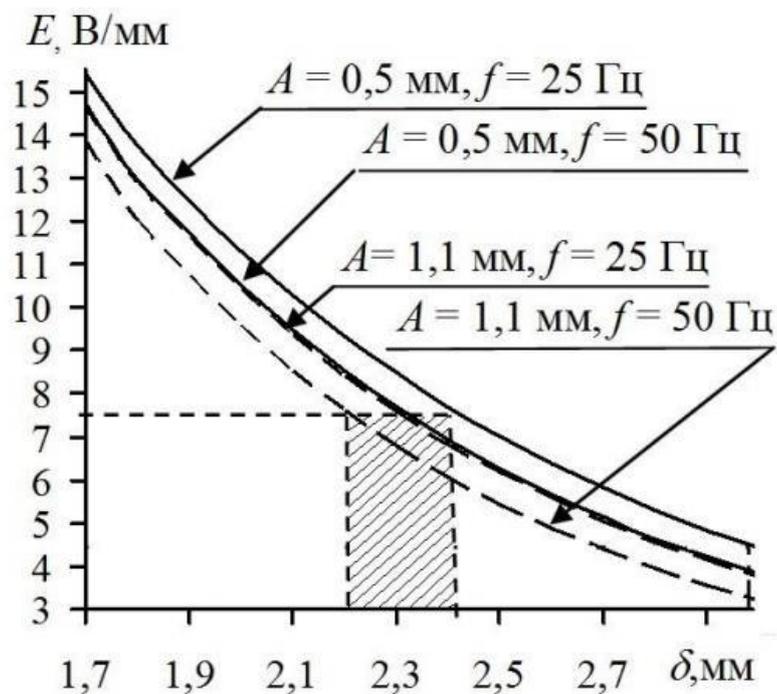


Рисунок 2.3 - Зависимость напряженности электрического поля от толщины слоя затвердевшей пасты

2.3 Выводы

1. Определены аналитические зависимости формирования напряженности электрического поля при вибродуговом упрочнении с учетом толщины затвердевшего слоя пасты δ , ее сопротивление, а также параметров колебания угольного электрода.

2. Установлено, что сопротивление затвердевшего слоя пасты зависит от его толщины. Теоретическими исследованиями установлена наибольшая толщина слоя металлокерамической пасты, которая составляет $\delta = 2,2 \dots 2,4$ мм. При этих значениях толщины обеспечивается стабильное зажигание электрической дуги при вибродуговом упрочнении.

3. Установлено, что при увеличении параметров колебания угольного электрода напряженность электрического поля при вибродуговом упрочнении

снижается, однако наибольшее влияние на ее величину оказывает толщина затвердевшего слоя металлокерамической пасты.

3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Программа экспериментальных исследований

В соответствии с поставленными задачами при выполнении данной работы были проведены экспериментальные исследования с целью проверки достоверности установленных теоретических зависимостей и установления характера влияния факторов на процесс упрочнения.

Программой экспериментальных исследований предусматривалось:

- проведение экспериментальных исследований по определению износостойкости и твердости покрытий, получаемых с разными составами металлокерамических паст;
- проведение сравнительных испытаний на изнашивание, а также эксплуатационных испытаний серийных стрелчатых лап почвообрабатывающих машин без упрочнения и с вибродуговым упрочнением;
- на основании комплекса выполненных исследований разработка технологического процесса вибродугового упрочнения режущих поверхностей стрелчатых лап почвообрабатывающих машин и обоснование экономической эффективности от его внедрения в производство.

3.2 Оборудование и расходные материалы для вибродугового упрочнения

Образцы металлических поверхностей для проведения исследований были изготовлены из конструкционной рессорно-пружинной стали марки 65Г по ГОСТ 14959-2016, т.к. указанная сталь применяется для изготовления рабочих органов большинства почвообрабатывающих машин, в том числе и стрелчатых лап.

Вибродуговое упрочнение проводилось с применением установки ВДГУ-2 (рисунок 1.3), который предназначен для упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин, подвергающихся абразивному износу. Установка ВДГУ-2 состоит из сварочного инвертора, пульта управления и вибратора. При вибродуговом упрочнении применялись электроды диаметром 6...8 мм, которые закреплялись на вибраторе установки. Колебательное движение электрода снижает термическое воздействие на материал упрочняемой стрелчатой лапы.

В таблице 3.1 представлены основные технические характеристики установки ВДГУ-2.

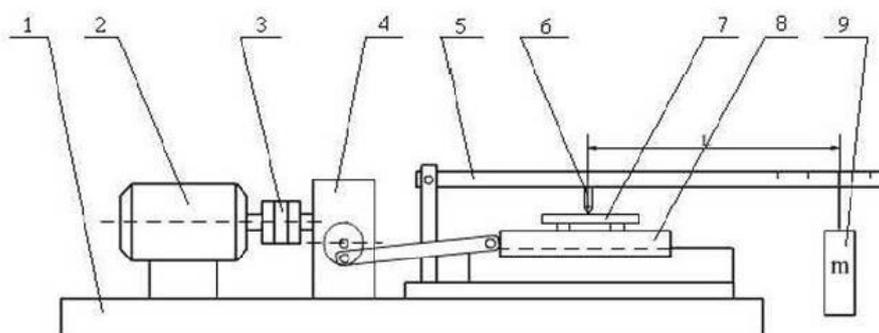
Таблица 3.1 - Технические характеристики установки ВДГУ-2

Наименование показателя	Значение показателя
1. Напряжение питающей сети, В	220
2. Номинальная частота, Гц	50
3. Рабочий ток, А	60...180
4. Напряжение холостого хода, В не более	60
5. Потребляемая мощность, кВт, не более	5
6. Ток защиты по первичной сети, А	40
7. Температура срабатывания термозащиты, °С	83
8. Ток холостого хода, А	1,6
8. Габаритные размеры, мм	600x400x350
9. Длина проводов рабочего тока, м	2,5
10. Масса установки, кг	9,5

Исследования проводились с применением металлокерамических паст, в состав которых входит металлическая основа и керамические компоненты. В качестве металлической основе использовались наплавочный порошок ПГ-10Н-01 ТУ У 319-19-004-96. В качестве керамических компонентов паст использовали карбид бора В₄С ГОСТ 5744-85, оксид алюминия Al₂O₃ ГОСТ 8136 и оксид кремния SiO₂ ГОСТ 9428-73. В качестве связующего вещества использовался 50% водный раствор клея ПВА ГОСТ 18992-80. Приготовление металлокерамических паст осуществлялось путем смешения компонентов в различных пропорциях. Далее производили нанесение паст на образцы металлической поверхности из стали 65Г. Толщина наносимого слоя пасты от

1,0 мм до 3,0 мм. Высушивание производилось при температуре 90...95°C в течение 8...10 мин. до затвердевания.

Испытание на износостойкость образцов в лабораторных условиях проводилось на стенде возвратно-поступательного действия 77МТ-1 (рисунок 3.1). Данный стенд позволяет проводить сравнительные испытания образцов в режиме сухого или жидкого трения. Для этого образцы закреплялись в специальной оправке.



1 – основание; 2 – электродвигатель; 3 – муфта предохранительная; 4 – редуктор червячный; 5 – рычаг нагружающего устройства; 6 – упор нагружающего устройства конической формы; 7 – оправка с образцами; 8 – ползун; 9 – грузы сменные

Рисунок 3.1 – Кинематическая схема стенда возвратно-поступательного действия 77МТ-1

В таблице 3.2 представлены основные технические характеристики стенда 77МТ-1.

Таблица 3.2 - Технические характеристики стенда 77МТ-1

Наименование показателя	Значение показателя
1. Диапазон прикладываемых нагрузок, МПа	0,02...5
2. Скорость перемещения ползуна, м/мин	0,0045...0,54
3. Рабочий ход полного цикла ползуна, мм	2x45
4. Емкость резервуара для масла или смазочного материала, мл	500

3.3 Методика испытаний на износостойкость в лабораторных условиях

Испытания на износостойкость упрочненных стрелчатых лап целесообразно проводить в полевых условиях. Однако такие испытания с большим количеством упрочненных лап с различными составами металлокерамических паст являются дорогостоящими. В связи с этим проводились лабораторные испытания на износостойкость упрочненных образцов.

Испытание на износостойкость образцов в лабораторных условиях проводилось на стенде возвратно-поступательного действия 77МТ-1 (рисунок 3.1). При проведении испытаний на износостойкость образцы закреплялись с помощью оправки на подвижный ползун. При подаче питания на электродвигатель постоянного тока ползун начинал совершать возвратно-поступательное движение. Длительность испытаний каждого образца составляла 10 ч. Каждое испытание проводилось с трехкратной повторностью.

К настоящему времени разработаны достаточно большое количество направлений повышения износостойкости и долговечности рабочих органов сельскохозяйственных машин, среди которых можно выделить следующие:

- методы повышения износостойкости и долговечности применяемые на стадии разработки и изготовления (применение новых материалов высокой твердости, новые конструкторские решения, нанесение износостойких покрытий при изготовлении и другие);

- методы повышения износостойкости и долговечности применяемые при ремонте и восстановлении рабочих органов (методы восстановления изношенных рабочих органов обеспечивающих повышенную стойкость к износу и возможность многократного восстановления).

Анализ существующих направлений и методов повышения износостойкости и долговечности рабочих органов сельскохозяйственных машин показал, что невозможно представить какую-то их классификацию. Поэтому, в данной работе рассмотрены вопросы разработки и выбора способа повышения износостойкости и долговечности стрелчатых лап.

Величина износа образцов определялась по снижению массы упрочненных образцов при их взвешивании на весах GR-200 (рисунок 3.2) с точностью 0,1 мг как до момента проведения испытаний, так и после их проведения.



Рисунок 3.2 – Общий вид аналитических весов GR-200

Скорость изнашивания упрочненных и неупрочненных образцов при проведении лабораторных испытаний определялись по формуле:

$$V = \frac{И}{T}, \quad (3.1)$$

где И – величина износа образцов, г;

T – длительность испытания образцов, ч.

Износостойкость образцов определялись по формуле:

$$E = \frac{1}{V}. \quad (3.2)$$

Относительная износостойкость определялись по формуле:

$$K = \frac{E_2}{E_1}. \quad (3.3)$$

где E_1 – износостойкость неупрочненного образца, ч/г;

E_2 – износостойкость упрочненного образца, ч/г.

3.4 Методика определения твердости металлокерамического покрытия

Определение твердости металлокерамического покрытия и упрочненного основного металла стрелчатых лап производили при помощи стационарного твердомера ТК-2М (рисунок 3.3).



Рисунок 3.3 - Общий вид твердомера ТК-2М

Твердомер ТК-2М предназначен для измерения твердости металлов и сплавов по методу Роквелла. Сущность данного метода заключается в том, что на испытываемую поверхность вдавливается стальной закаленный шарик диаметром 1,588 мм по схеме в соответствии с ГОСТ 9013-59 (рисунок 3.4).

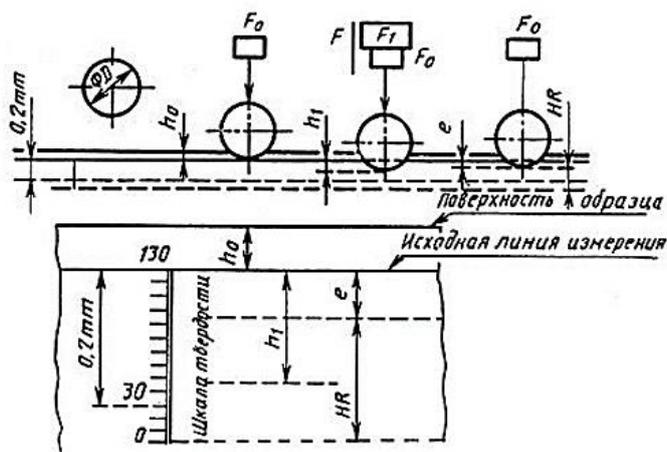


Рисунок 3.4 - Схема проведения измерения твердости при применении стального шарика по ГОСТ 9013-59

При этом усилие вдавливания прилагается в два приема последовательно. При испытаниях измерение твердости производили в трех

местах для каждого образца. При этом центр соседнего отпечатка шарика располагали на расстоянии пяти диаметров отпечатка от центра предыдущего отпечатка. Расстояние от края образца до центра отпечатка оставляли три диаметра отпечатка. В данном случае твердость измеряется в HRC. Твердомер ТК-2М настраивали и калибровали в соответствии с образцовыми мерами МТР-1.

Измерение твердости по Роквеллу на твердомере производили в следующем порядке:

1. Подготавливали образцы, устанавливали их на стол. При этом необходимо проверить устойчивость расположения образца. Образец не должен качаться или пружинить.
2. С помощью рукоятки ходового винта образец подвели к наконечнику со стальным шариком и производили предварительное нагружение (индикатор выставляли в 0).
3. Производили вдавливание стального шарика в образец.
4. После окончания режима вдавливания производили снятие основной нагрузки и считывание значения твердости.

3.5 Методика проведения испытаний в полевых условиях

Для проведения испытаний в полевых условиях использовались стрелчатые лапы культиватора КШУ-8. На культиватор были установлены стрелчатые лапы, половина из которых была упрочнена с лицевой стороны, а оставшиеся – с тыльной (рисунок 3.5).



а) – упрочнение с лицевой стороны; б) – упрочнение с тыльной стороны

Рисунок 3.5 – Стрелчатые лапы для проведения полевых испытаний

Испытание стрелчатых лап, упрочнённых как лицевой, так и тыльной стороны обусловлена тем, что при использовании традиционных технологий упрочнение проводится с тыльной стороны с целью обеспечения самозатачивания режущей поверхности лапы, что позволяет увеличить их ресурс []. Однако некоторые исследования показывают, что целесообразно провести упрочнение также лицевой стороны лап []. Таким образом, при полевых испытаниях решалась задача определения целесообразности упрочнения лапы с лицевой или тыльной стороны.

Полевые испытания стрелчатых лап упрочненных с применением технологии вибродугового упрочнения проводились в условиях земель, расположенных на территории ООО «Агро-Холдинг» Высокогорского района Республики Татарстан. Почва имеет следующие характеристики: тип – серые и темно-серые лесные; механический состав – среднесуглинистые и тяжелосуглинистые; плотность – 1200...1250 кг/м³; влажность в период проведения испытаний – 18...23%. Упрочненные лапы устанавливались в первом ряду культиватора КШУ-8, который агрегатировался с трактором ХТЗ-17221 (рисунок 3.6). На культиватор также были установлены также серийные неупрочненные лапы. На землях предприятия с применением данного агрегата выполнялась сплошная культивация почвы.



Рисунок 3.6 – Почвообрабатывающий агрегат в составе трактора ХТЗ-17221 и культиватора КШУ-8

Во время проведения полевых испытаний стрелчатых лап через каждые 4...5 га проводились замеры износа носовой части стрелчатых лап и ширины их крыльев. Изменение геометрических размеров испытуемой лапы определяли путем ее наложения на шаблон новой серийной лапы. Величина износа испытуемых лап определяли при помощи штангенциркуля ШЦ-I-125-0,05 ГОСТ 166-89 с погрешностью измерения не более 0,05 мм.

3.6 Методика проведения агротехнической оценки работы упрочненных стрелчатых лап

К сплошной культивации предъявляются следующие агротехнические требования []:

- глубина обработки должна быть равномерной на 8...12 см, отклонение средней глубины обработки от заданной - ± 1 см;
- поверхность поля после обработки - мелкокомковатая взрыхленная;
- допустимая рабочая скорость агрегата - 5...11 км/ч;
- высота гребней и глубина борозд поверхности поля после обработки - не более 4 см;
- подрезание сорных растений стрелчатыми лапами - полностью;
- выворачивание нижних слоев почв - не допускается;
- перекрытие смежных проходов культиватора - 10...15 см.

Агротехническая оценка упрочненных стрелчатых лап проводилась по степени подрезания сорных растений. Степень подрезания сорных растений определяется отношением количества, подрезанных сорных растений к количеству сорных растений, имевшихся до обработки на опытных участках. Подсчет количества подрезанных сорных растений производились на опытных площадках шириной, равной ширине захвата агрегата, и длиной 0,5 м в четырехкратной повторности, 2 по ходу движения агрегата и 2 при обратном ходе агрегата. Для проведения испытаний на износостойкость в лабораторных условиях были подготовлены неупрочненные и упрочненные

по разработанной технологии образцы из стали 65Г, которые испытывались на одинаковом оборудовании и при одинаковой продолжительности испытания. Сначала на поверхность образцов, подлежащих упрочнению наносились металлокерамические пасты, содержащие 60% стального порошка ПГ-10Н-01, 30% керамических компонентов, после затвердевания которых проводилось вибродуговое упрочнение. При обработке данных определялись среднее количество сорных растений на 1 м² до и после обработки и средний процент подрезания сорных растений.

3.7 Определение ошибки эксперимента и повторности опытов

Абсолютную погрешность отдельных измерений определяли по формуле []:

$$\Delta y_i = \bar{y} - y_i, \quad (3.4)$$

где \bar{y} - среднее значение, определяемое по следующей формуле:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}, \quad (3.5)$$

Ошибка выборочной средней определяется по следующей формуле []:

$$S_{\bar{y}} = \frac{S}{\sqrt{n}}, \quad (3.6)$$

где n – число опытов;

S – стандартное отклонение, определяемое по формуле:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n - 1}}. \quad (3.7)$$

Относительная ошибка средней выборочной []:

$$S_{\bar{y}}\% = \frac{S_{\bar{y}}}{\bar{y}} \cdot 100. \quad (3.8)$$

Доверительный интервал для среднего значения определяли по формуле []:

$$\Delta y_i = \pm t_{\alpha} \cdot S_{\bar{y}} + \delta, \quad (3.9)$$

где t_α - коэффициент Стьюдента для 95% уровня значимости и $n-1$ степени свободы;

δ - принимаемая погрешность прибора.

Повторность опытов определялись по соотношению []:

$$\frac{\gamma_\alpha}{\vartheta} = \frac{t_\alpha(n)}{\sqrt{q}}. \quad (3.10)$$

После ее преобразования получаем:

$$q = \left(\frac{t_\alpha(n) \cdot \vartheta}{\gamma_\alpha} \right)^2, \quad (3.10)$$

где γ_α - относительная ошибка;

ϑ - коэффициент вариации;

$t_\alpha(n)$ - коэффициент Стьюдента;

q - повторность опытов.

Принимая значения относительной ошибки и доверительной вероятности α , по значению $\frac{\gamma_\alpha}{\vartheta}$ определяли требуемое количество повторностей опытов.

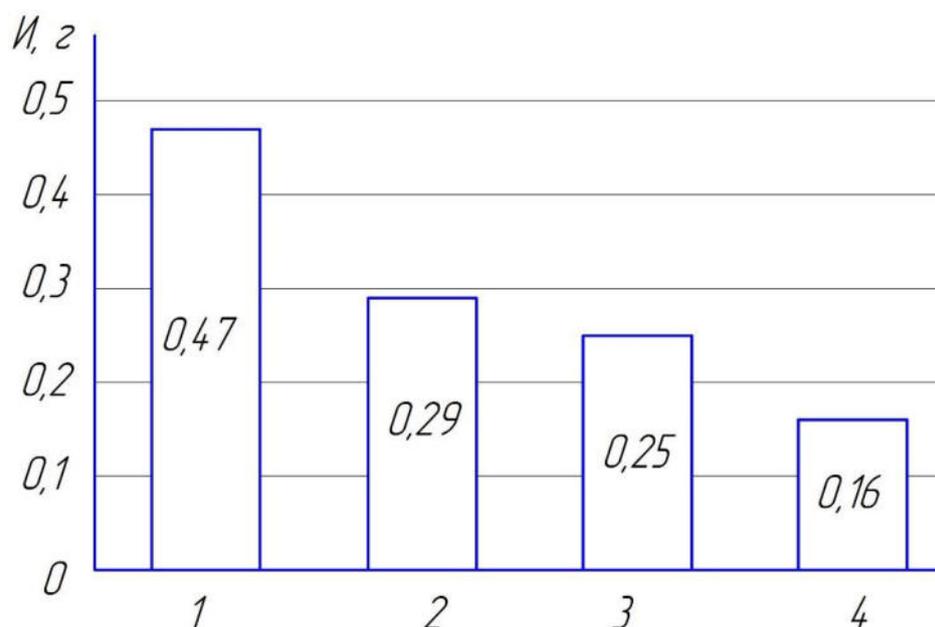
4 АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Результаты испытаний на износостойкость в лабораторных условиях

Для проведения испытаний на износостойкость в лабораторных условиях были подготовлены неупрочненные и упрочненные по разработанной технологии образцы из стали 65Г, которые испытывались на одинаковом оборудовании и при одинаковой продолжительности испытания.

Сначала на поверхность образцов, подлежащих упрочнению наносились металлокерамические пасты, содержащие 60% стального порошка ПГ-10Н-01, 30% керамических компонентов, после затвердевания которых проводилось вибродуговое упрочнение. Режимы упрочнения: сила тока – 75А, частота колебаний угольного электрода – 25 Гц, амплитуда колебаний угольного электрода – 0,5 мм.

По результатам испытаний на износостойкость упрочненных и неупрочненных образцов можно сказать, что наибольший средний износ (0,47 г) имеют неупрочненные образцы, а упрочненные образцы имеют значительно меньшие износы (рисунок 4.1). Если сравнивать упрочненные образцы с использованием разных составов паст, то минимальный износ (0,16 г) обеспечивают покрытия, полученные на пастах, содержащих карбид бора. Для проведения испытаний на износостойкость в лабораторных условиях были подготовлены неупрочненные и упрочненные по разработанной технологии образцы из стали 65Г, которые испытывались на одинаковом оборудовании и при одинаковой продолжительности испытания. Сначала на поверхность образцов, подлежащих упрочнению наносились металлокерамические пасты, содержащие 60% стального порошка ПГ-10Н-01, 30% керамических компонентов, после затвердевания которых проводилось вибродуговое упрочнение.



1 – образцы без упрочнения; 2 – образцы, упрочненные с использованием пасты, содержащей SiO_2 ; 3 – образцы, упрочненные с использованием пасты, содержащей Al_2O_3 ;
4 – образцы, упрочненные с использованием пасты, содержащей B_4C ;

Рисунок 4.1 – Сравнение износа различных образцов

Скорости изнашивания и износостойкость неупрочненных и упрочненных образцов после проведения их испытаний на изнашивание определялись по формулам (3.1) и (3.2). Результаты расчетов приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Скорости изнашивания и износостойкость неупрочненных и упрочненных образцов

Образцы	Скорость изнашивания, г/ч	Износостойкость, ч/г
Без упрочнения	0,047	21,27
Упрочненные с использованием пасты, содержащей SiO_2	0,029	34,48
Упрочненные с использованием пасты, содержащей Al_2O_3	0,025	40,0
Упрочненные с использованием пасты, содержащей B_4C	0,016	62,5

Для упрочненных образцов относительная износостойкость определялся по формуле (3.3):

- образцы, упрочненные с использованием пасты, содержащей SiO_2 :

$$K = \frac{34,48}{21,27} = 1,62;$$

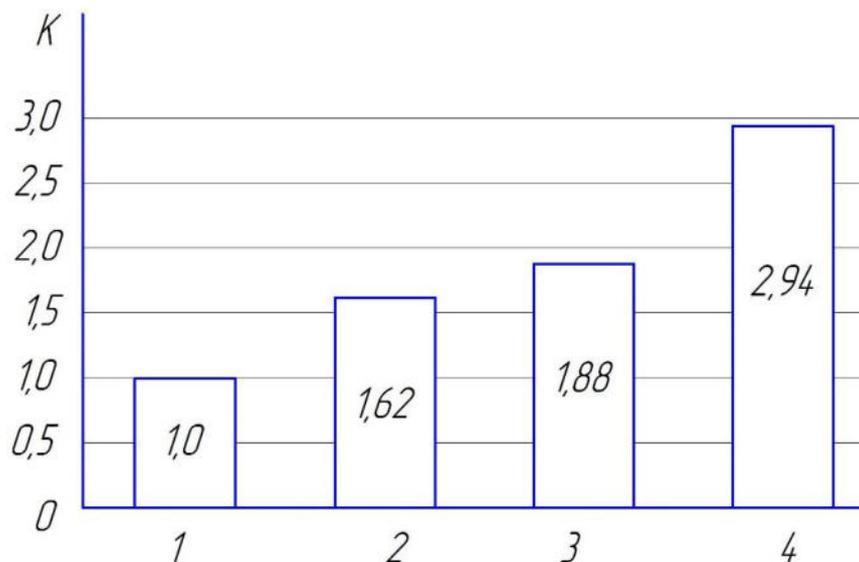
- образцы, упрочненные с использованием пасты, содержащей Al_2O_3 :

$$K = \frac{40,0}{21,27} = 1,88;$$

- образцы, упрочненные с использованием пасты, содержащей B_4C :

$$K = \frac{62,5}{21,27} = 2,94.$$

Таким образом, проведенные испытания на износостойкость в лабораторных условиях показали, что относительная износостойкость упрочненных образцов выше износостойкости неупрочненных образцов. Среди упрочненных образцов наибольшую относительную износостойкость показали образцы, упрочненные с использованием пасты, содержащей B_4C , у которых этот показатель больше в 2,94 раза по сравнению с показателем относительной износостойкости неупрочненных образцов (рисунок 4.2).



1 – образцы без упрочнения; 2 – образцы, упрочненные с использованием пасты, содержащей SiO_2 ; 3 – образцы, упрочненные с использованием пасты, содержащей Al_2O_3 ;
4 – образцы, упрочненные с использованием пасты, содержащей B_4C ;

Рисунок 4.2 – Сравнение относительной износостойкости образцов

4.2 Результаты определения твердости поверхности металлокерамического покрытия после вибродугового упрочнения

В работах многих ученых отмечается, что твердость покрытий, получаемых при упрочнении зависит от состава пасты []. В нашем случае на твердость покрытия оказывают влияние керамические компоненты, содержащиеся в составе пасты. Результаты испытаний на определение твердости поверхности образцов после вибродугового упрочнения представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Результаты определения твердости поверхности образцов после вибродугового упрочнения

Образцы	Номер опыта	Полученное значение твердости HRC	Средние значение твердости
Без упрочнения	1	49,7	49,8
	2	50,0	
	3	49,8	
Упрочненные с использованием пасты, содержащей SiO ₂	1	53,1	53,5
	2	53,9	
	3	53,5	
Упрочненные с использованием пасты, содержащей Al ₂ O ₃	1	57,2	57,3
	2	57,0	
	3	57,9	
Упрочненные с использованием пасты, содержащей B ₄ C	1	63,6	63,6
	2	64,0	
	3	63,3	

Анализ результатов испытания образцов на твердость показывает, что наибольшую твердость (63,6...64,0 HRC) имеют покрытия, полученные из пасты, в состав которого входит карбид бора B₄C. Образцы с покрытиями, полученными из пасты, в состав которого входит оксид алюминия Al₂O₃, имеют меньше значение твердости покрытий (57,2...57,9 HRC). У образцов с покрытиями, полученными из пасты, в состав которого входит оксида кремния SiO₂ твердость покрытия является самой низкой (53,0...53,8 HRC).

4.3 Результаты испытаний в полевых условиях

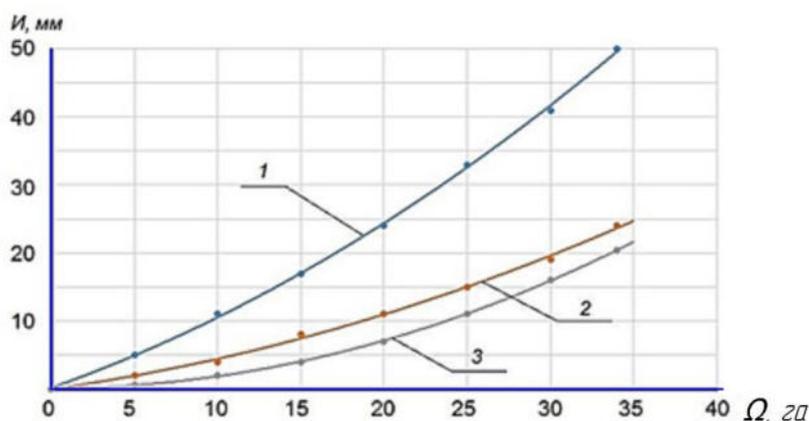
Для проведения полевых испытаний культиватор КШУ-8 укомплектовали стрельчатыми лапами упрочненными предлагаемой технологией и серийными стрельчатыми лапами без упрочнения. Часть стрельчатых лап имели упрочнение с лицевой стороны, а другая часть – с тыльной. Для проведения испытаний на износостойкость в лабораторных условиях были подготовлены неупрочненные и упрочненные по разработанной технологии образцы из стали 65Г, которые испытывались на одинаковом оборудовании и при одинаковой продолжительности испытания. Сначала на поверхность образцов, подлежащих упрочнению наносились металлокерамические пасты, содержащие 60% стального порошка ПГ-10Н-01, 30% керамических компонентов, после затвердевания которых проводилось вибродуговое упрочнение. К настоящему времени разработаны достаточно большое количество направлений повышения износостойкости и долговечности рабочих органов сельскохозяйственных машин, среди которых можно выделить следующие:

- методы повышения износостойкости и долговечности применяемые на стадии разработки и изготовления (применение новых материалов высокой твердости, новые конструкторские решения, нанесение износостойких покрытий при изготовлении и другие);

- методы повышения износостойкости и долговечности применяемые при ремонте и восстановлении рабочих органов (методы восстановления изношенных рабочих органов обеспечивающих повышенную стойкость к износу и возможность многократного восстановления).

Анализ существующих направлений и методов повышения износостойкости и долговечности рабочих органов сельскохозяйственных машин показал, что невозможно представить какую-то их классификацию. Поэтому, в данной работе рассмотрены вопросы разработки и выбора способа повышения износостойкости и долговечности стрельчатых лап.

По результатам испытаний в полевых условиях можно установить, что в зависимости от объема выполненной работы износ носовой части стрелчатых лап культиватора КШУ-8 увеличивается практически в линейном порядке (рисунок 4.3). Причем такой же характер зависимости установлен для всех испытуемых лап. Такие же выводы были получены в исследованиях других ученых, которые занимались вопросами изучения изнашивания упрочненных рабочих органов почвообрабатывающих машин в эксплуатационных условиях [].



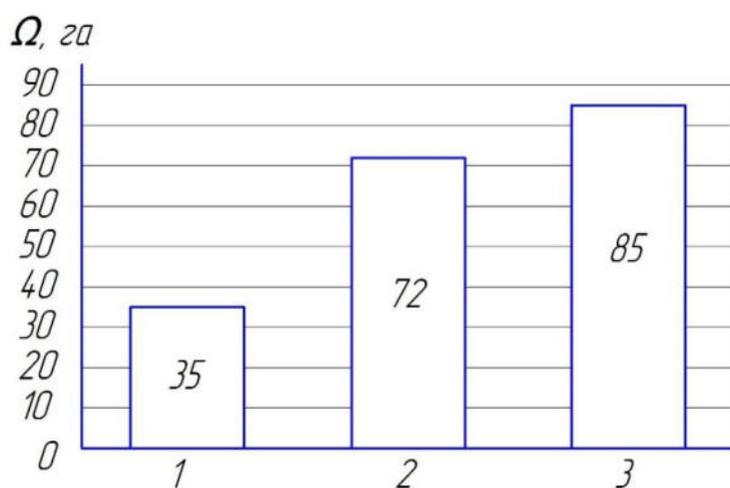
1 – серийная лапа без упрочнения; 2 – лапа с упрочнением с лицевой стороны;
3 – лапа с упрочнением с тыльной стороны

Рисунок 4.3 – Зависимость износа (I) носка стрелчатых лап культиватора КШУ-8 от объема выполненной работы (Ω)

Анализ зависимости, представленной на рисунке 4.3 показал, что серийные стрелчатые лапы без упрочнения при наработке 35 га достигали своего предельного состояния (кривая 1), т.е. износ носка составлял 50 мм. В этом случае дальнейшая их эксплуатация не целесообразно и их требуется заменить. Замер износа носка упрочненных стрелчатых лап показал, что лапы упрочненные с лицевой стороны имели износ носка 23,8 мм (кривая 2), а лапы упрочненные с тыльной стороны – 20,7 мм (кривая 3). По сравнению с серийными стрелчатыми лапами без упрочнения величина износа носка лап упрочненных с лицевой стороны ниже в 2,1 раза, а у лап упрочненных с тыльной стороны – в 2,4 раза. Однако у лап, упрочненных с лицевой стороны,

при испытании в полевых условиях наблюдался образование широкой затылочной фаски. Это приводит к некоторому выглублению лапы и снижению глубины обработки. В связи с этим наиболее предпочтительным является упрочнение стрелчатых лап с тыльной стороны.

По результатам полевых испытаний установлено, что упрочнение стрелчатых лап позволяет повысить их наработку на отказ. У лап упрочненных с лицевой стороны наработка на отказ увеличился до 72 га, что в 2,1 раза больше по сравнению с серийными лапами без упрочнения. Нарботка на отказ у лап упрочненных с тыльной стороны составил 85 га, что в 2,5 раза больше по сравнению с серийными лапами без упрочнения (рисунок 4.4).

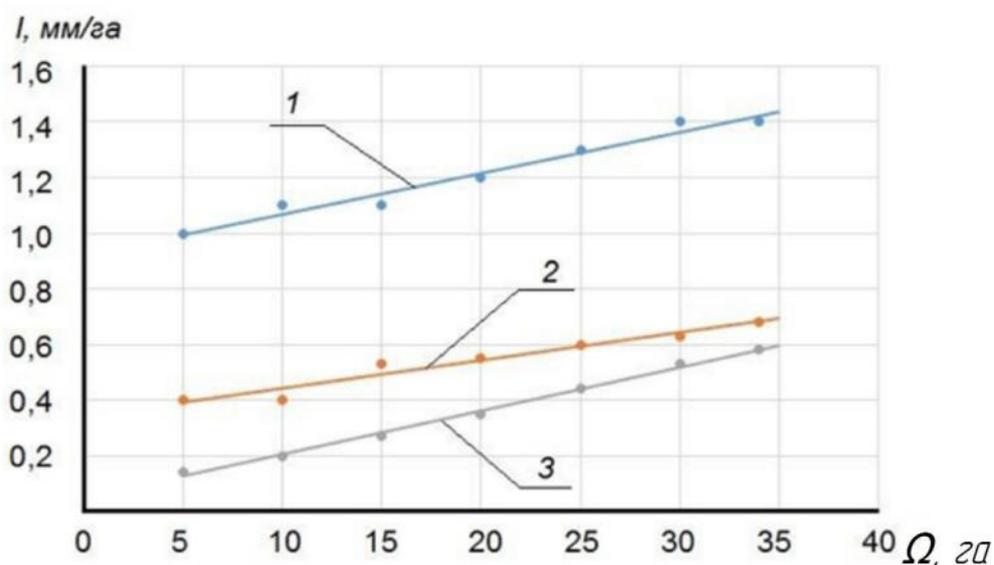


1 – серийная лапа без упрочнения; 2 – лапа с упрочнением с лицевой стороны;
3 – лапа с упрочнением с тыльной стороны

Рисунок 4.4 – Нарботка (T) на отказ стрелчатых лап культиватора КШУ-8

На рисунке 4.5 представлена зависимость изменения интенсивности изнашивания носка упрочненных и неупрочненных стрелчатых лап. Анализируя данную зависимость можно сказать, что с увеличением объема выполненной работы увеличивается и интенсивность изнашивания носка всех испытуемых лап. У серийных лап без упрочнения наибольшая интенсивность изнашивания носка (1,42 мм/га) наблюдается по достижению ими предельного состояния (рисунок 4.5, кривая 1). У лап упрочненных с лицевой и тыльной

сторон данный показатель значительно ниже и составил 0,68 мм/га и 0,59 мм/га соответственно (рисунок 4.5, кривые 2, 3), что в 2,1 и 2,4 раза ниже, чем у серийных лап без упрочнения.



1 – серийная лапа без упрочнения; 2 – лапа с упрочнением с лицевой стороны;
3 – лапа с упрочнением с тыльной стороны

Рисунок 4.5 – Зависимость интенсивности изнашивания (I) носка стрелчатых лап культиватора КШУ-8 от объема выполненной работы (Ω)

На рисунке 4.6, а представлена фотография изношенной серийной лапы без упрочнения, которая достигла своего предельного состояния. Износ его носовой части составил 50 мм, а у лапы упрочненной с тыльной стороны - 21 мм (рисунок 4.6, б).



а)



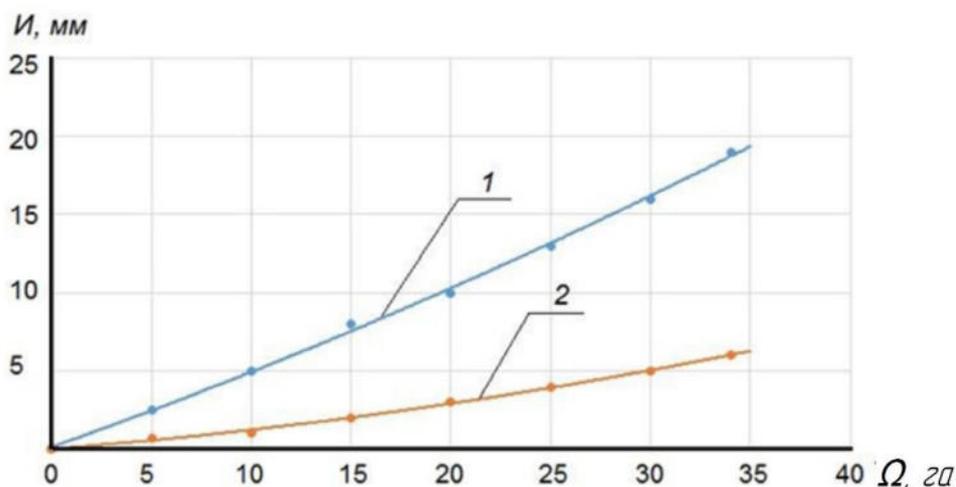
б)

а) – серийная лапа без упрочнения достигшая предельного состояния;

б) – лапа упрочненная с тыльной стороны

Рисунок 4.6 – Стрельчатые лапы культиватора КШУ-8 после обработки 35 га земли

При полевых испытаниях было установлено, что износ крыльев испытуемых лап по ширине происходит менее интенсивно, чем износ их носовой части. Так, у серийных лап без упрочнения износ крыльев при достижении ими предельного состояния составил в среднем 19 мм (рисунок 4.7, кривая 1), а у упрочненных лап - в среднем 6 мм (рисунок 4.7, кривая 2). Исследования многих ученых также выявили, что износ крыльев стрельчатых лап по ширине на почвах различного состава в среднем в 2,5...3,0 раза меньше износа их носовой части [5].

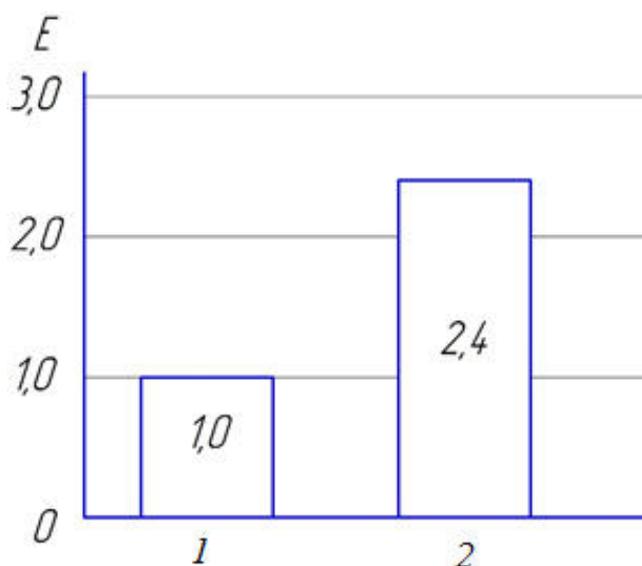


1 – серийная лапа без упрочнения; 2 – лапа с упрочнением с тыльной стороны

Рисунок 4.7 – Зависимость износа (I) крыльев стрелчатых лап культиватора КШУ-8 от объема выполненной работы (Ω)

Таким образом, проведенные испытания в полевых условиях показали, что износ носовой части стрелчатых лап культиватора КШУ-8 является основным критерием их предельного состояния. Для проведения испытаний на износостойкость в лабораторных условиях были подготовлены неупрочненные и упрочненные по разработанной технологии образцы из стали 65Г, которые испытывались на одинаковом оборудовании и при одинаковой продолжительности испытания.

Сначала на поверхность образцов, подлежащих упрочнению наносились металлокерамические пасты, содержащие 60% стального порошка ПГ-10Н-01, 30% керамических компонентов, после затвердевания которых проводилось вибродуговое упрочнение. При этом упрочнение рассматриваемых лап разработанной технологией с тыльной стороны приводит к повышению их износостойкости в 2,4 раза (рисунок 4.8).



1 – серийная лапа без упрочнения; 2 – лапа с упрочнением с тыльной стороны

Рисунок 4.8 – Относительная износостойкость стрелчатых лап культиватора КШУ-8

4.4 Результаты агротехнической оценки работы упрочненных стрелчатых лап

Работа упрочненных стрельчатых лап культиватора КШУ-8 оценивалась по степени подрезания сорных растений. По агротехническим требованиям стрельчатые лапы должны полностью подрезать сорные растения. При проведении агротехнической оценки было установлено, что после прохода агрегата на поверхности поля не было подрезанных сорных растений.

Таким образом, можно сделать вывод, что степень подрезания сорных растений упрочненными стрельчатыми лапами культиватора КШУ-8, соответствует агротехническим требованиям к сплошной культивации почвы.

4.5 Выводы

1. На твердость металлокерамического покрытия, полученного в результате вибродугового упрочнения существенное влияние оказывают керамические компоненты пасты, который наносится на упрочняемую поверхность. Наибольшую твердость (63,6...64,0 HRC) имеют покрытия, которые были получены при использовании пасты, состоящий из 60% стального порошка ПГ-10Н-01, 30% карбида бора при следующих режимах упрочнения: сила тока – 75А, частота колебаний угольного электрода – 25 Гц, амплитуда колебаний угольного электрода – 0,5 мм.

2. Результаты испытания на износостойкость показывают, что наибольший средний износ (0,47 г) имеют образцы из стали 65Г без упрочнения. У образцов, упрочненных с применением разработанной технологии, износы существенно меньше. При этом минимальный износ (0,16 г) и максимальную относительную износостойкость (2,94) имеют образцы с покрытием, которые были получены с применением пасты, содержащей 30% карбида бора.

3. При испытаниях в полевых условиях сравнивались серийные стрельчатые лапы без упрочнения и упрочненные стрельчатые лапы культиватора КШУ-8. Результаты испытаний показывают, что серийные

стрельчатые лапы без упрочнения достигают своего предельного состояния (износ носка 50 мм) при среднем объеме выполненных работ 35 га. При таком объеме работ у стрельчатых лап, упрочненных с лицевой стороны, имеют средний износ носка 23,8 мм, а часть у стрельчатых лап, упрочненных с тыльной стороны – 20,7 мм. В связи с этим, можно сделать вывод, что упрочненные стрельчатые лапы обладают большей износостойкостью, серийные стрельчатые лапы без упрочнения (в среднем на 2,1...2,4 раза).

4. При испытаниях в полевых условиях проводилась агротехническая оценка упрочненных стрельчатых лап культиватора КШУ-8 по степени подрезания лапами сорных растений. По результатам оценки можно сказать, что степень подрезания упрочненными стрельчатыми лапами сорных растений удовлетворяет агротехническим требованиям к сплошной культивации почвы.

5 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВИБРОДУГОВОГО УПРОЧНЕНИЯ СТРЕЛЬЧАТЫХ ЛАП ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН И ЕЁ ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

5.1 Технологии вибродугового упрочнения стрельчатых лап почвообрабатывающих машин

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволяют предложить технологию вибродугового упрочнения режущих поверхностей стрельчатых лап почвообрабатывающих машин с применением металлокерамической пасты. Разработанная технология позволяет упрочнять стрельчатые лапы различных почвообрабатывающих машин как в условиях предприятий, специализирующихся на изготовлении и ремонте почвообрабатывающих машин, так и в условиях ремонтных мастерских небольших сельскохозяйственных предприятий, что делают ее универсальной.

В данной работе экспериментальные исследования были проведены на примере стрелчатых лап культиватора типа КШУ-8.

Для проведения испытаний на износостойкость в лабораторных условиях были подготовлены неупрочненные и упрочненные по разработанной технологии образцы из стали 65Г, которые испытывались на одинаковом оборудовании и при одинаковой продолжительности испытания.

Сначала на поверхность образцов, подлежащих упрочнению наносились металлокерамические пасты, содержащие 60% стального порошка ПГ-10Н-01, 30% керамических компонентов, после затвердевания которых проводилось вибродуговое упрочнение.

Предлагаемая технология вибродугового упрочнения состоит из следующих технологических операции (рисунок 5.1):

- подготовка рабочего органа, включающий очистку режущей поверхности и носовой части стрелчатой лапы от грязи и ржавчины и их обезжиривание;
- подготовка компонентов металлокерамической пасты и их смешивание;
- нанесение металлокерамической пасты и ее высушивание до затвердевания;
- вибродуговое упрочнение режущей поверхности стрелчатой лапы;
- контроль качества полученного металлокерамического покрытия;
- консервация и упаковка стрелчатой лапы.

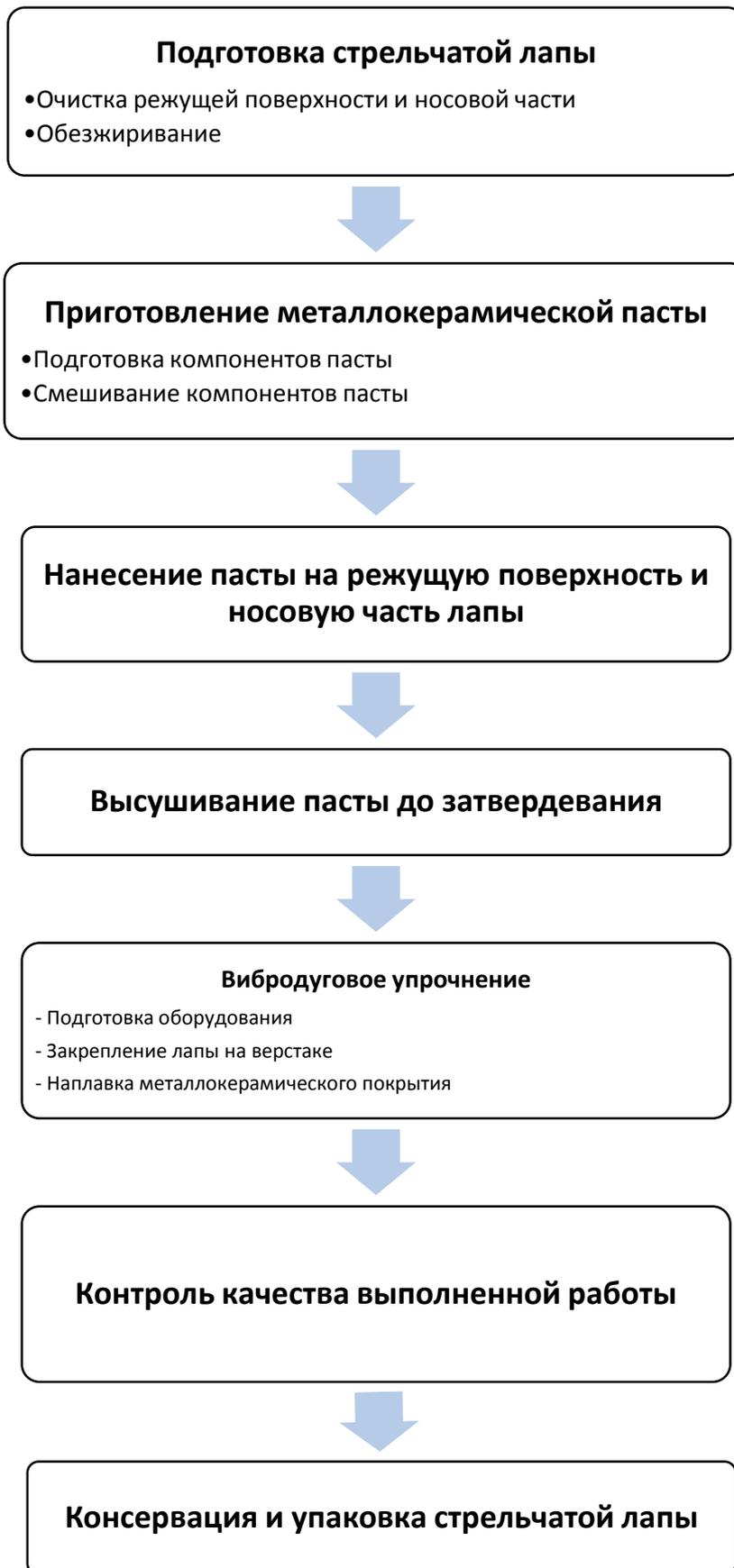


Рисунок 5.1 - Схема технологического процесса вибродугового упрочнения стрелчатых лап почвообрабатывающих



Рисунок 5.2 – Стрельчатая лапа культиватора КШУ-8 с нанесенной и высушенной металлокерамической пастой на режущей кромке

Вибродуговое упрочнение режущей кромки стрелчатой лапы, производится с применением установки ВДГУ-2. Для этого сначала упрочняемую лапу следует закрепить на верстаке. При этом необходимо обеспечить горизонтальное расположение стрелчатой лапы. Далее на вибраторе установки ВДГУ-2 необходимо закрепить угольный электрод и установить следующие режимы работы: сила тока – 75 А, частота и амплитуда вибрации угольного электрода – 25 Гц и 0,5 мм соответственно. При вибродуговом упрочнении между угольным электродом установки и упрочняемой режущей кромкой стрелчатой лапы с нанесенным слоем пасты происходит зажигание электрической дуги, которая расплавляет затвердевшую пасту, в результате чего на упрочняемой поверхности из элементов пасты образуется металлокерамическое покрытие. Для проведения испытаний на износостойкость в лабораторных условиях были подготовлены неупрочненные и упрочненные по разработанной технологии образцы из стали 65Г, которые испытывались на одинаковом оборудовании и при одинаковой продолжительности испытания. Сначала на поверхность образцов, подлежащих упрочнению наносились металлокерамические пасты, содержащие 60% стального порошка ПГ-10Н-01, 30% керамических компонентов, после затвердевания которых проводилось вибродуговое упрочнение. После зажигания электрической дуги начинается поступательное движение электрода и его вибрация. Вибрация угольного электрода

способствует снижению термического влияния электрической дуги на материал стрелчатой лапы при ее упрочнении. Поступательное движение угольного электрода вдоль упрочняемой режущей поверхности позволяет получить металлокерамическое покрытие по всей его длине.

Контроль качества выполненной работы заключается в внешнем осмотре полученного покрытия на отсутствие пропусков и неоплавленных участков при помощи лупы.

Стрелчатая лапа, упрочненная с использованием разработанной технологии, представлена на рисунке 5.3.



Рисунок 5.3 – Стрелчатая лапа, упрочненная с использованием разработанной технологии

5.2 Экономическая оценка разработанной технологии вибродугового упрочнения стрелчатых лап

Экономическая оценка разработанной технологии вибродугового упрочнения стрелчатых лап с применением металлокерамических паст приводится на примере упрочнения стрелчатых лап культиваторов КШУ-8.

При проведении экономической оценки разработанной технологии вибродугового упрочнения были применены общепринятые методики [].

Экономическую эффективность от упрочнения стрелчатых лап разработанной технологией можно определить по следующей формуле:

$$\mathcal{E}_y = \left(\frac{C_H - C_{\text{ост}}^H}{\Omega_H} - \frac{C_Y - C_{\text{ост}}^Y}{\Omega_Y} \right) \cdot \Omega_Y \cdot T_r, \quad (5.1)$$

где \mathcal{E}_y – экономическая эффективность от упрочнения стрелчатых лап, руб.;

C_H, C_Y – стоимость новой и упрочненной лапы соответственно, руб.;

Ω_H, Ω_Y – объем выполненных новой и упрочненной лапой работ соответственно, га;

$C_{\text{ост}}^H, C_{\text{ост}}^Y$ – остаточная стоимость после эксплуатации новых и упрочненных лап, руб.;

T_r – годовая загрузка культиватора, ч.

Стоимость упрочненной лапы принимаем больше стоимости ее упрочнения на 30%, т.е.:

$$C_Y = 1,3 \cdot C_{\text{вду}}, \quad (5.2)$$

где $C_{\text{вду}}$ – себестоимость упрочнения одной стрелчатой лапы, руб.

Стоимость упрочнения одной стрелчатой лапы определяют по следующей формуле:

$$C_{\text{вду}} = Z_{\text{оп}} + C_M + C_{\text{из}} + Z_{\text{пу}}, \quad (5.3)$$

где $Z_{\text{оп}}$ – затраты на оплату труда рабочего персонала с начислениями, руб.;

C_M - стоимость материалов, применяемых при упрочнении одной лапы, руб.;

$C_{ИЗ}$ - стоимость изношенной детали (ремонтного фонда), руб.;

$Z_{ПУ}$ - затраты на создание и управление производством, руб.

Затраты на оплату труда рабочего персонала определяют по следующей формуле:

$$Z_{ОП} = \left(\frac{T_{Н1} \cdot Z_1}{60} + \frac{T_{Н2} \cdot Z_2}{60} + \dots + \frac{T_{Ни} \cdot Z_i}{60} \right) \cdot K_{П} \cdot K_{Д} \cdot K_{С}, \quad (5.4)$$

где $T_{Н1}, T_{Н2}, \dots, T_{Ни}$ - нормы времени на проведение операций технологии КВДУ в расчёте на одну лапу культиватора, мин.;

Z_1, Z_2, \dots, Z_i - часовые тарифные ставки необходимых разрядов работ на выполнение операций вибродугового упрочнения, руб.;

$K_{П}$ - коэффициент, учитывающий доплату по премиям (принимаем $K_{П} = 1,1 \dots 1,4$);

$K_{Д}$ - коэффициент, учитывающий дополнительную заработную плату (принимаем $K_{Д} = 1,1 \dots 1,5$);

$K_{С}$ - коэффициент, учитывающий отчисления на социальное страхование ($K_{С} = 1,302$).

Результаты расчётов затрат на оплату труда рабочего персонала приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 - Затраты на оплату труда рабочего персонала, выполняющих работы по упрочнению стрелчатых лап

№ операции	Наименование операции	Норма времени на выполнение, мин	Часовая тарифная ставка, руб.	Заработная плата на операцию, руб.
05	Слесарная	4,7	60	4,7
10	Подготовительная	13,1	65	14,2

15	Нанесение металлокерамической пасты	2,6	63	2,7
20	Высушивание покрытия	9,0	60	9,0
25	Вибродуговое упрочнение	14,4	75	18,0
Всего				48,6

Подставим все значения в формулу (5.4):

$$Z_{оп} = 48,6 \cdot 1,4 \cdot 1,5 \cdot 1,302 = 132,8 \text{ руб.}$$

Стоимость материалов, применяемых при упрочнении лапы определяется по следующей формуле:

$$C_M = \sum_{i=1}^{\lambda} g_i \cdot C_i, \quad (5.5)$$

где g_i - норма расхода i -го материала на упрочнение одной лапы;

λ - количество материалов, применяемых при упрочнении, шт.;

C_i - цена 1 кг i -го материала, руб.

Результаты расчётов стоимости материалов, применяемых при упрочнении лапы приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Расчет стоимости материалов, применяемых при упрочнении лапы

Наименование материала	Норма расхода, кг (шт)	Цена 1 кг (шт) материала, руб.	Затраты на материалы, руб.
1. Порошок ПГ-10Н-01	0,042	1200	50,4
2. Карбид бора В4С	0,021	2100	44,1
3. Клей ПВА	0,04	650	26,0
4. Электрод	0,3	30	9,0

Всего	129,5
-------	-------

Стоимость изношенной стрелчатой лапы (ремонтного фонда) определим исходя из стоимости металлолома:

$$C_{\text{ИЗ}} = C_{\text{мл}} \cdot M_{\text{ИЗ}}, \quad (5.6)$$

где $C_{\text{мл}}$ - цена 1 кг металлолома, руб. (принимаем $C_{\text{мл}} = 25$ руб.);

$M_{\text{ИЗ}}$ - масса изношенной детали, кг (принимаем $M_{\text{ИЗ}} = 1,1$ кг).

$$C_{\text{ИЗ}} = 25 \cdot 1,1 = 27,5 \text{ руб.}$$

Затраты на создание и управление производством принимаем равным $(2...3) \cdot Z_{\text{оп}}$, т.е.:

$$Z_{\text{пу}} = 2 \cdot 132,8 = 265,6 \text{ руб.}$$

Подставим все полученные результаты в формулу (5.3):

$$C_{\text{вду}} = 132,8 + 219,5 + 27,5 + 265,6 = 645,4 \text{ руб.}$$

Подставим полученное значение в формулу (5.2):

$$C_y = 1,3 \cdot 645,4 = 839 \text{ руб.}$$

Таким образом, экономическая эффективность от упрочнения одной стрелчатой лапы по разработанной технологии равен (см. формулу 5.1):

$$\mathcal{E}_y = \left(\frac{480 - 27,5}{35} - \frac{839 - 27,5}{85} \right) \cdot 85 = 289 \text{ руб.}$$

Сельскохозяйственные предприятия Республики Татарстан эксплуатируют не менее 50 культиваторов типа КШУ-8 (по данным

Министерства сельского хозяйства и продовольствия. Таким образом, годовая (минимальная) программа вибродугового упрочнения стрелчатых лап составит не менее 1450 шт. С учетом этого экономическая эффективность внедрения разработанной технологии вибродугового упрочнения составит:

$$\mathcal{E}_y = 289 \cdot 1450 = 419050 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости капитальных вложений определяют по следующей формуле:

$$T_{\text{OK}} = \frac{K}{\mathcal{E}_y}, \quad (5.7)$$

где K – капитальные вложения на приобретение материалов и оборудования с учетом затрат на его доставку, монтаж и наладку, руб.

$$T_{\text{OK}} = \frac{360000}{419050} = 0,85 \text{ лет.}$$

Результаты экономической оценки разработанной технологии вибродугового упрочнения стрелчатых лап культиваторов типа КШУ-8 приведены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Результаты экономической оценки разработанной технологии вибродугового упрочнения стрелчатых лап (на примере стрелчатых лап культиваторов типа КШУ-8)

Наименование показателей	Обозначение	Технология упрочнения	
		базовая	разработанная
1. Годовой объем упрочняемых лап, шт.	N_r	-	1450
2. Стоимость новой лапы, руб.	C_n	480	-

3. Себестоимость упрочнения лапы, руб.	$C_{ВДУ}$	-	645,4
4. Стоимость упрочненной лапы, руб.	C_y	-	839
5. Объем выполненных новой лапой работ, га	Ω_H	35	-
6. Объем выполненных упрочненной лапой работ, га	Ω_y	-	85
7. Экономическая эффективность, руб.	\mathcal{E}_y	-	419050
8. Срок окупаемости капитальных вложений, лет	T_{OK}	-	0,85

5.3 Выводы

1. Разработана технология вибродугового упрочнения режущих поверхностей стрелчатых лап почвообрабатывающих машин. Апробация разработанной технологии производилась на примере упрочнения стрелчатых лап культиватора типа КШУ-8. Разработанная технология позволяет упрочнять стрелчатые лапы различных почвообрабатывающих машин как в условиях предприятий, специализирующихся на изготовлении и ремонте почвообрабатывающих машин, так и в условиях ремонтных мастерских небольших сельскохозяйственных предприятий, что делает ее универсальной.

2. Производилась экономическая оценка разработанной технологии, по результатам которого можно сказать, что ожидаемый годовой экономический эффект составит 419050 рублей при упрочнении не менее 1450 лап культиваторов типа КШУ-8. При этом срок окупаемости капитальных вложений составил 0,85 лет, что позволяет ее рекомендовать для внедрения в производство.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

В выпускной квалификационной рассмотрены вопросы повышения износостойкости режущих поверхностей стрельчатых лап почвообрабатывающих машин путем вибродугового упрочнения с использованием металлокерамических материалов. Были проведены анализ состояния, теоретические и экспериментальные исследования, по результатам которых можно сделать следующие выводы:

1. Анализ состояния вопроса показывает, стрельчатые лапы почвообрабатывающих машин подвергаются интенсивному износу абразивными частицами почвенной среды, в результате которого происходит изменение геометрических параметров, затупление режущих поверхностей, что приводит к снижению качества обработки почвы, повышению сопротивления почвообрабатывающей машины, что, в свою очередь, ведет к повышению энергетических затрат. Таким образом, ресурс серийных стрельчатых лап не хватает на полный сезон работы.

2. Теоретическими исследованиями установлено, что напряженность E электрического поля при вибродуговом упрочнении зависит от толщины δ слоя затвердевшей металлокерамической пасты, сопротивления R затвердевшего слоя пасты перед зажиганием дуги, а также от амплитуды A и частоты f колебаний угольного электрода. Наибольшее влияние на напряженность E оказывает толщина δ затвердевшего слоя пасты. Зависимость изменения сопротивления R слоя пасты от его толщины носит степенной характер с показателем степени 5. Увеличение амплитуды A и частоты f приводит к снижению напряженности E на 20...25 %.

3. Были проведены испытания на износостойкость образцов с упрочненными поверхностями и без упрочнения в лабораторных условиях по изменению их массы. По результатам испытаний можно сказать, что наибольший средний износ (0,47 г) имеют образцы без упрочнения, изготовленные из стали 65Г. Установлено, что упрочненные образцы имеют

значительно меньшие износы. Так, образцы с покрытиями, полученными с использованием металлокерамическими пастами содержанием карбид бора имеют минимальный износ (0,16 г) и наибольшую относительную износостойкость (2,94).

5. Испытания в полевых условиях проводились с серийными стрелчатými лапами без упрочнения и упрочненными лапами, которые были установлены на культиватор КШУ-8. По результатам испытаний выявлено, что серийные стрелчатые лапы без упрочнения достигают своего предельного состояния при среднем объеме выполненной работы 35 га. Наступление предельного состояния стрелчатых лап устанавливали по величине износа ее носовой части, который составил более 50 мм. При аналогичном объеме работ лапы, упрочненные с тыльной стороны имеют износ носовой части 20,7 мм. Таким образом, упрочненные стрелчатые лапы имеют более высокую износостойкость (в среднем в 2,4 раза), чем серийные лапы без упрочнения. Также определялся износ крыльев стрелчатых лап при достижении ими предельного состояния, который у серийных лап без упрочнения составил в среднем 19 мм, а у упрочненных - среднем 6 мм.

6. В данной работе разработан и предложен производству технологический процесс виброуглового упрочнения режущих поверхностей стрелчатых лап почвообрабатывающих машин. Предложенная технология позволяет упрочнять стрелчатые лапы различных почвообрабатывающих машин как в условиях предприятий, специализирующихся на изготовлении и ремонте почвообрабатывающих машин, так и в условиях ремонтных мастерских небольших сельскохозяйственных предприятий, что делает ее универсальной.

7. Внедрение разработанной технологии позволяет получить годовой экономический эффект составил 419050 рублей при упрочнении 1450 лап культиваторов типа КШУ-8. При этом срок окупаемости капитальных вложений составил 0,85 года.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адигамов, Н.Р. Методические рекомендации по подготовке выпускной квалификационной работы (магистерской диссертации) для студентов магистратуры направления подготовки 35.04.06 «Агроинженерия» на соискание квалификации (степени) магистра: метод. рекомендации / Н.Р. Адигамов, И.Г. Галиев, Р.Р.Шайхутдинов, М.Н. Калимуллин, И.Х. Гималтдинов, Р.Р. Ахметзянов. - Казань: Казанский ГАУ, 2019. - 36 с.
2. Аулов, В.Ф. Износостойкие покрытия для лап культиватора / В.Ф. Аулов, П.В. Лужных, А.Н. Строев // Сельский механизатор. - 2013. - № 12 (58). - С. 40-41.
3. Ахметшин, Т.Ф. Повышение износостойкости и долговечности почвообрабатывающих рабочих органов / Т.Ф. Ахметшин // Известия Оренбургского ГАУ. - 2013. - №3 (41) - С. 81-84.
4. Бетеня, Г.Ф. Ресурсо- и энергосберегающие технологии и материалы для изготовления и упрочнения деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин / Г.Ф. Бетеня, Г.И. Анискович, В.С. Голубев и др. // Опыт, проблемы и перспективы развития технического сервиса в АПК: доклады Международной науч.-практ. конф. Ч. 1. Минск: БГАТУ. - 2009. - С. 30-42.
5. Бирюков, В.П. Повышение износостойкости при лазерной обработке почвообрабатывающих орудий / В.П. Бирюков // Труды ГОСНИТИ. -2011. - Т.107. Ч. 2. - С. 105-106.
6. Бурак, П.И. Сравнительные испытания сельскохозяйственной техники / П.И. Бурак, В.М. Пронин, В.А. Прокопенко и др. - М.: ФГБНУ «Росинфорагротех», 2013. - 416 с.
7. Виноградов, В.В. Исследование зажигания дуги при упрочнении рабочих органов машин карбовибродуговым методом / В.В. Виноградов // Инновации в сельском хозяйстве. - 2016. - № 4 (19). - С. 322-327.

8. ГОСТ 26244-84. Обработка почвы предпосевная. Требования к качеству и методы определения. - М.: Изд-во стандартов, 1984. - 7 с.
9. Иванов, В.П. Восстановление и упрочнение деталей: Справочник / В.П. Иванов, В.С. Ивашко, В.М. Константинов и др. - М.: Наука и технологии, 2013. - 368 с.
10. Кравченко, И.Н. Основы научных исследований. Учебное пособие / И.Н. Кравченко, А.В. Коломейченко, В.Н. Логачев и др. - СПб.: Лань, 2015. - 304 с.
11. Красноступ, С.М. Испытания сельскохозяйственной техники и орудий для полеводства: Учебное пособие / С.М. Красноступ, Ю.А. Царев, А.Г. Далальянц. - Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2012. - 135 с.
12. Лебедев, К.А. Повышение ресурса культиваторных лап / К.А. Лебедев, А.Т. Лебедев, Р.А. Магомедов и др. // Научное обозрение. - 2015. - № 3. - С. 50-57.
13. Литовченко, Н.Н. Электродуговое упрочнение деталей нанесением металлокерамических покрытий / Н.Н. Литовченко, В.Н. Куликов // Машинно-технологическая станция. - 2011. - №4. - С. 50-51.
14. 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.
15. Муртазин, Г.Р. Повышение ресурса рабочих органов почвообрабатывающих машин / Г.Р. Муртазин, Б.Г. Зиганшин, С.М. Яхин // Техника и оборудование для села. - 2015. - № 10. - С. 32-34.
16. Новиков, В.С. Упрочнение рабочих органов почвообрабатывающих машин: Монография / В. С. Новиков. - М.: ФГБОУ ВПО МГАУ, 2013. -112 с.
17. Тененбаум, М.М. Методика установления предельных состояний рабочих органов почвообрабатывающих машин. Общие положения / М.М. Тененбаум. - М.: ВИСХОМ, 1985. - 33 с.

18. Титов, Н.В. Анализ перспективных способов упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин / Н.В. Титов, А.В. Коломейченко, В.В. Виноградов // Техника и оборудование для села. - 2013. - №10. - С. 33-36.

19. 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.

20. Шарифуллин С.Н. Некоторые характеристики упрочнения поверхности стали 65Г электроискровым методом / Шарифуллин С.Н., Файзрахманов И.А., Адигамов Н.Р., Ахметзянов Р.Р., Шайхутдинов Р.Р., Лядов Р.М., шустов В.А., Байниязова А.Т. // Низкотемпературная плазма в процессах нанесения функциональных покрытий. – 2019. – Т.1. №10. – С. 421-427.

Статьи автора:

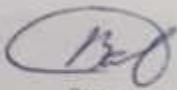
Шигабиев, И.И. Основные направления повышения износостойкости и долговечности стрелчатых лап / И.И. Шигабиев, Н.Ф. Вафин, И.М. Салахов //

Вафин, Н.Ф. Исследование особенностей технологии вибродугового упрочнения / Н.Ф. Вафин, И.М. Салахов, И.И. Шигабиев //

СПРАВКА

о результатах проверки текстового документа
на наличие заимствований

Проверка выполнена в системе
Антиплагиат.ВУЗ

Автор работы	Шигабиев И
Организация	ИМ и ТС
Тип работы	Магистерская диссертация
Название работы	ВКР_35.04.06_ШигабиевИИ-2021
Название файла	ВКР_35.04.06_ШигабиевИИ-2021.pdf
Процент заимствования	34.00 %
Процент самоцитирования	0.00 %
Процент цитирования	5.85 %
Процент оригинальности	60.14 %
Дата проверки	11:49:23 10 февраля 2021г.
Модули поиска	Модуль поиска ИПС "Адилет"; Модуль выделения библиографических записей; Сводная коллекция ЭБС; Модуль поиска "Интернет Плюс"; Коллекция РГБ; Цитирование; Переводные заимствования (RuEn); Модуль поиска переводных заимствований по eLibrary (EnRu); Модуль поиска переводных заимствований по интернет (EnRu); Коллекция eLIBRARY.RU; Коллекция ГАРАНТ; Модуль поиска "КГАУ"; Коллекция Медицина; Диссертации и авторефераты НББ; Модуль поиска перефразирований eLIBRARY.RU; Модуль поиска перефразирований Интернет; Коллекция Патенты; Модуль поиска общеупотребительных выражений; Кольцо вузов; Переводные заимствования
Работу проверил	Вафин Нияз Фозатович ФЧО проверяющего
Дата подписи	10.02.2021г.  Подпись проверяющего

Чтобы убедиться
в подлинности справки,
используйте QR-код, который
содержит ссылку на отчет.



Ответ на вопрос, является ли обнаруженное заимствование
корректным, система оставляет на усмотрение проверяющего.
Предоставленная информация не подлежит использованию
в коммерческих целях.