

ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет»

Институт механизации и технического сервиса

Кафедра эксплуатации и ремонта машин

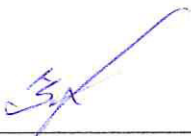
Направление подготовки – 35.04.06 «Агроинженерия»

Магистерская программа – «Технический сервис в сельском хозяйстве»

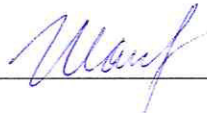
ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

**ТЕМА: Разработка технологии упрочнения восстановленных
рабочих органов почвообрабатывающих машин**

Студент магистратуры  Зарипов Р.Р.

Научный руководитель,

к. т. н., доцент  Шайхутдинов Р.Р.

Обсуждена на заседании кафедры и допущена к защите

(протокол № 1^о от 31.01 2020 г.)

Зав. кафедрой профессор

ученое звание


(подпись)

Адигамов Н.Р.

Ф.И.О.

Казань-2020

АННОТАЦИЯ

к выпускной квалификационной работе Зарипова Рустема Раушановича на тему: «Разработка технологии упрочнения восстановленных рабочих органов почвообрабатывающих машин»

Магистерская диссертация содержит 93 страниц машинописного текста, и включает 38 рисунков, 14 таблиц, 35 библиографических источников.

Первой главе рассмотрены условия работы и причины износов рабочих органов почвообрабатывающих машин, методов восстановления и упрочнения. Наиболее приемлемым способом в нашем случае является способ вибродугового упрочнения с применением металлокерамическими порошками.

Второй главе рассмотрены сущность и определены основные параметры процесса предлагаемого способа восстановления.

В третьей главе изложена программа и методика экспериментов исследований. Изложена методика определения толщины, твердости и параметров процесса.

Четвертая глава посвящена результатам экспериментальных исследований. Приведены результаты микрометрических исследований. Получены экспериментальные данные влияния параметров процесса на производительность, выход по току, твердость покрытия.

В пятом разделе приведена технология и ее технико-экономическая оценка.

Работа оканчивается выводами и рекомендациями.

ВВЕДЕНИЕ	5
1 СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ	14
1.1. Анализ условий работы рабочих органов почвообрабатывающих машин и причин потери их работоспособности	14
1.2. Анализ существующих способов восстановления и повышения износостойкости рабочих органов почвообрабатывающих машин.....	25
1.3 Краткие выводы. Цель и задачи исследований	34
2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	36
2.1 Анализ химических взаимодействий металлокерамических и легирующих компонентов при расплавлении электрической дугой графитового электрода.....	36
2.2 Исследование напряженности электрического поля в зоне горения дуги при вибродуговом упрочнении режимы	39
2.3 Сварочная дуга как источник нагрева.....	45
3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТОВ.....	51
3.1 Программа экспериментальных исследований	51
3.2 Методика экспериментов.....	52
3. 2.1 Оборудование для вибродугового упрочнения	52
3.2.2 Технология упрочнения рабочих органов СХМ	55
3.2.3 Методика определения твердости поверхностного слоя	59
3.2.4 Методика полевых ресурсных испытаний.....	64
3.2.5 Методика обработки результатов и точность измерений	68

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ	6858
4.1 Результаты микрометража лемехов	68
4.2 Результаты исследование твердости	74
4.3 Графики зависимости микротвердости от тока и скорости движения электрода	77
4.4 Результаты исследования износостойкости	81
5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТА ОТ ВНЕДРЕНИЯ РАЗРАБОТАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ УПРОЧНЕНИЯ ЛАП КУЛЬТИВАТОРОВ	83
ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.....	88
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	89
ПРИЛОЖЕНИЯ	

ВВЕДЕНИЕ

Качество работ, выполняемых современной сельскохозяйственной техникой, напрямую зависит от состояния ее рабочих органов.

По форме лемеха делят на трапециевидные и долотообразные. Материалом для производства лемеха является сталь Л-65. Для повышения износостойкости их лезвие закаливают до твердости 444.. 650 НВ при размере зоны закалки 20...45 мм. В незакаленной части лемеха твердость обычно не выше 300 по шкале НВ [14].

Интенсивное абразивное изнашивание лемехов является одной из главных причин их выбраковки (до 88%). Другими причинами являются - излом и (или) изгиб носка (от 12%) но бывает, что или в ряде случаев издержки от этих дефектов лемехов составляют до 50%.

Многократные проверки показали, что математическое ожидание наработки на отказ серийных лемехов плугов в зависимости от свойств почвы и металла составляет 5...20 га, груди плуга—10...100 га, отвалов — 40...270 га, полевых досок—20...60 га. Малый ресурс имеют рабочие органы и иных почвообрабатывающих машин: диски луцильников и дисковых борон — 8...20 га, лапы культиваторов — 7...18 га [14].

Ключевыми факторами изнашивания рабочих органов являются: тип почвы, габариты, форма твердость абразивов в почве; закрепленность абразивов в почве; скорость абразивных частиц и силы, воздействующие на них; влагосодержание почвы; тип и форма элементов структуры вещества лемеха.

В настоящее время при изготовлении рабочих органов машин, эксплуатируемых в абразивной среде (почвообрабатывающих, дорожно-строительных, мелиоративных, для внесения удобрений, очистки животноводческих ферм и т.д.), существуют два основных подхода. Первый получил широкое распространение на отечественных заводах, занимающихся

выпуском запасных частей. При его использовании рабочие органы изготавливают, в основном, из легированных сталей 60, 65Г, 70Г с последующей закалкой и низким отпуском.

Однако применение указанной технологии и материалов не обеспечивают высокий ресурс рабочих органов. В условиях прямого воздействия абразивных частиц они интенсивно изнашиваются. Кроме этого, в настоящее время наблюдается тенденция снижения качества изготавливаемых рабочих органов, т.к. их производством занялись предприятия, не имеющие необходимого оборудования и технологий. В результате выпускаемые рабочие органы не соответствуют предъявляемым требованиям [1].

Второй подход характеризуется применением высоколегированных сталей с последующей качественной термообработкой или упрочнением режущей части твердыми сплавами. Упрочненные таким образом рабочие органы выпускают в основном специализированные зарубежные фирмы, такие, как Molbro (Дания), MWS-Schneidwerkzeuge GmbH (Германия), La Pina (Испания) и др. Однако их стоимость является достаточно высокой, что неприемлемо для большинства фермерских хозяйств и малых сельскохозяйственных предприятий.

Таким образом, в условиях недостаточного ресурса большинства изготавливаемых рабочих органов, встает вопрос значительного повышения их износостойкости. Решение данной задачи может быть достигнуто путем упрочнения рабочих органов износостойкими материалами.

Одним из наиболее перспективных материалов для этого являются металлокерамические твердые сплавы (МКТС). Они имеют очень высокие твердость и стойкость к абразивному и коррозионно-механическому изнашиванию.

В различных странах мира ученым удалось получить высокоэффективные МКТС, обеспечивающие минимальное повышение ресурса Деталей различной техники, в том числе и рабочих органов машин, в

5. . .7 раз. Однако такие МКТС — весьма дорогие материалы (в среднем не менее 70 долларов США за кг).

Кроме этого, результаты применения зарубежных металлокерамических пластин для упрочнения лемехов, работающих на супесчаных и суглинистых почвах, не дали достаточно убедительных результатов из-за их повышенной хрупкости [2].

Учитывая результаты проведенных испытаний, была разработана технология упрочнения рабочих органов машин, эксплуатируемых в абразивной среде, с использованием доступных и сравнительно дешевых нанокристаллических керамических материалов, в первую очередь, оксидов алюминия Al_2O_3 и кремния SiO_2 , а также карбида бора B_4C . Эти материалы являются составной частью разработанного в ГНУ ГОСНИТИ Россельхозакадемии нанометаллокерамического порошкового композиционного материала (НМПК), наносимого на поверхность рабочего органа при упрочнении. Основой (матрицей) НМПК являются стальные порошки типа ПГ-1ОН-О1, ПГ-СР4 или ПР-Н67Х18С5Р4. Введение металлической матрицы, более мягкой и эластичной, чем сверхтвердые, но хрупкие керамические компоненты, обеспечивает высокую износостойкость упрочненной детали в абразивной среде при значительных удельных давлениях и динамических нагрузках. В состав НМПК также входят легирующие компоненты: бор, азот, алюминий.

В основу разработанной технологии упрочнения рабочих органов машин с использованием НМПК положен метод вибродуговой наплавки, которую осуществляют с помощью графитового электрода.

Целью работы является повышение износостойкости рабочих органов почвообрабатывающих орудий металлокерамическими покрытиями

Задачи исследования:

- Провести микрометраж партии изношенных рабочих органов для определения теоретического закона распределения износа. Провести измерение твердости поверхности рабочих органов.

- установить аналитические зависимости формирования напряженности электрического поля при ВДУ с целью обоснования толщины слоя металлокерамической пасты, обеспечивающей стабильное зажигание электрической дуги;

- провести экспериментальные исследования по определению толщины и физико-механических свойств металлокерамических покрытий, полученных при ВДУ на пастах различного состава;

- провести сравнительные испытания на изнашивание, а также эксплуатационные испытания неупрочнённых серийных и упрочнённых ВДУ рабочих органов почвообрабатывающих орудий;

- разработать технологический процесс ВДУ режущих поверхностей рабочих органов почвообрабатывающих орудий и определить экономическую эффективность от его внедрения в производство.

Объектом исследования являются культиваторные лапы почвообрабатывающих орудий (на примере культиватора КПС-4), лемеха и полевые доски плугов, а также технология их упрочнения.

Предметом исследования являются физико-механические и эксплуатационные свойства металлокерамических покрытий, полученных при ВДУ на режущих поверхностях рабочих органов почвообрабатывающих орудий.

Результаты теоретических исследований позволяют установить аналитические зависимости формирования напряженности электрического поля при ВДУ с учетом известных закономерностей и принятых особенностей. Практическая значимость работы заключается в определении рационального состава металлокерамической пасты и режимов ВДУ, а также разработке технологического процесса упрочнения стрелчатых лап почвообрабатывающих орудий, которые позволяют в 2,4 раза повысить износостойкость режущих поверхностей стрелчатых лап по сравнению с неупрочнёнными серийными.

Основные положения диссертации были представлены на научных конференциях Казанского государственного аграрного университета (Казань, 2017-2020 гг.) и на международной научно-практической конференции посвященной памяти профессора Матяшина Ю.И. (Казань, 2019).

Основное содержание диссертации, результаты исследований отражены в двух статьях в материалах международной конференции.

Работа выполнена на кафедре «Эксплуатация и ремонт машин» ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет».

INTRODUCTION

The quality of work performed by modern agricultural machinery depends directly on the state of its working bodies.

The shape of the ploughshare is divided into trapezoidal and chisel-shaped. The material for the production of ploughshares is L-65 steel. To increase their wear resistance, the blade is tempered to a hardness of 444.. .650 NV at the size of the quenching zone 20...45 mm. in the unalloyed part of the ploughshare, the hardness is usually not higher than 300 on the HB scale [1].

Intensive abrasive wear of ploughshares is one of the main reasons for their rejection (up to 88%). Other reasons are-a break and (or) a bend of the sock (from 12%) but it happens that or in some cases, the costs of these defects of ploughshares are up to 50%.

Repeated tests have shown that the mathematical expectation of operating time for failure of serial plowshares, depending on the properties of the soil and metal, is 5...20 ha, plough area-10...100 ha, dumps -40...270 ha, field boards - 20...60 ha. Small resource have working bodies and other tillage machines: disks of huskers and disk harrows-8 ... 20 ha, paws of cultivators-7 ... 18 ha [1].

The key factors of wear of working bodies are: soil type, dimensions, shape, hardness of abrasives in the soil; the fixity of abrasives in the soil; the speed of abrasive particles and the forces acting on them; soil moisture content; the type and shape of the elements of the structure of the ploughshare substance.

At present, there are two main approaches to the production of working parts of machines operated in an abrasive environment (soil-processing, road-building, land reclamation, fertilization, cleaning of livestock farms, etc.). The first one is widely used in domestic factories that produce spare parts. When using it, working bodies are made mainly of alloy steels 60, 65G, 70G with subsequent hardening and low tempering.

However, the use of this technology and materials does not provide a high resource of working bodies. In conditions of direct exposure to abrasive particles, they wear out intensively. In addition, currently there is a tendency to reduce the

quality of manufactured working bodies, since their production was engaged in enterprises that do not have the necessary equipment and technologies. As a result, the produced working bodies do not meet the requirements [1].

The second approach is characterized by the use of high-alloy steels followed by high-quality heat treatment or hardening of the cutting part with hard alloys. The working bodies reinforced in this way are produced mainly by specialized foreign firms, such as Molbro (Denmark), MWS-Schneidwerkzeuge GmbH (Germany), La Pina (Spain), and others. However, their cost is quite high, which is unacceptable for most farms and small agricultural enterprises.

Thus, in the conditions of insufficient resource of the majority of manufactured working bodies, the question arises of a significant increase in their wear resistance. The solution to this problem can be achieved by strengthening the working bodies with wear-resistant materials.

One of the most promising materials for this purpose is metal-ceramic hard alloys (MCTS). They have very high hardness and resistance to abrasive and corrosion-mechanical wear.

In various countries of the world, scientists were able to obtain high-performance ICTs that provide a minimum increase in the resource of Parts of various equipment, including the number of working bodies of machines, in 5. . . 7 times. However, such ICTs are very expensive materials (on average, at least 70 us dollars per kg).

In addition, the results of using foreign metal-ceramic plates for strengthening ploughshares working on sandy loam and loamy soils did not give sufficiently convincing results due to their increased fragility [2].

Given the results of the tests, was developed the technology of hardening of working bodies of machines operating in an abrasive environment, using available and relatively cheap, nanocrystalline ceramic materials, primarily, of aluminum oxide Al_2O_3 HfO_2 silicon and boron carbide B_4C . These materials are an integral part of developed in of GNU GOSNITI Rosselkhozakademii nonmetallurgical powder composite material (NMPK) deposited on the surface of

the working body when surfacing. The basis (matrix) of NMPK is steel powders of the PG-1ON-O1, PG-SR4 or PR-N67H18S5R4 type. The introduction of a metal matrix, which is softer and more elastic than superhard but brittle ceramic components, ensures high wear resistance of the hardened part in an abrasive environment with significant specific pressures and dynamic loads. NMPK also includes alloying components: boron, nitrogen, and aluminum.

The basis of the developed technology for strengthening the working bodies of machines using NMPC is based on the method of vibroarc surfacing, which is carried out using a graphite electrode.

The purpose of this work is to increase the wear resistance of the working bodies of tillage tools with metal ceramic coatings

Research problem:

- Conduct a micrometre of a batch of worn-out working bodies to determine the theoretical law of wear distribution. Measure the surface hardness of the working bodies.

- to establish analytical dependences of the formation of the electric field strength in the VDU in order to justify the thickness of the layer of metal-ceramic paste that provides stable ignition of the electric arc;

- conduct experimental studies to determine the thickness and physical and mechanical properties of metal-ceramic coatings obtained with VDU on pastes of different composition;

- conduct comparative wear tests, as well as operational tests of non-hardened serial and hardened VDU working bodies of tillage tools;

- to develop the technological process of VDU of cutting surfaces of working bodies of tillage tools and to determine the economic efficiency of its introduction into production.

The object of the study is the cultivator paws of soil-working tools (for example, the KPS-4 cultivator), ploughshares and field plough boards, as well as the technology of their hardening.

The subject of the study is the physical-mechanical and operational properties of metal-ceramic coatings obtained during VDU on the cutting surfaces of working bodies of soil-processing tools.

The results of theoretical studies allow us to establish analytical dependences of the formation of the electric field strength in the VDU, taking into account known regularities and accepted features. The practical significance of the work is to determine the rational composition of the metal-ceramic paste and VDU modes, as well as to develop a technological process for strengthening the Lancet paws of soil-processing tools, which can increase the wear resistance of the cutting surfaces of Lancet paws by 2.4 times in comparison with non-hardened serial ones.

The main provisions of the thesis were presented at scientific conferences of the Kazan state agrarian University (Kazan, 2017-2020) and at the international scientific and practical conference dedicated to the memory of Professor Yu. I. Matyashin (Kazan, 2019).

The main content of the thesis and research results are reflected in two articles in the materials of the international conference.

The work was performed at the Department "Operation and repair of machines" of the Kazan state agrarian University.

1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ.

1.1. Анализ условий работы рабочих органов почвообрабатывающих машин и причин потери их работоспособности

Основным средством производства в сельском хозяйстве является почва.

Почва — это природное образование, формирующееся под воздействием воды, воздуха и живых организмов и обладающее плодородием (рис.1.1).

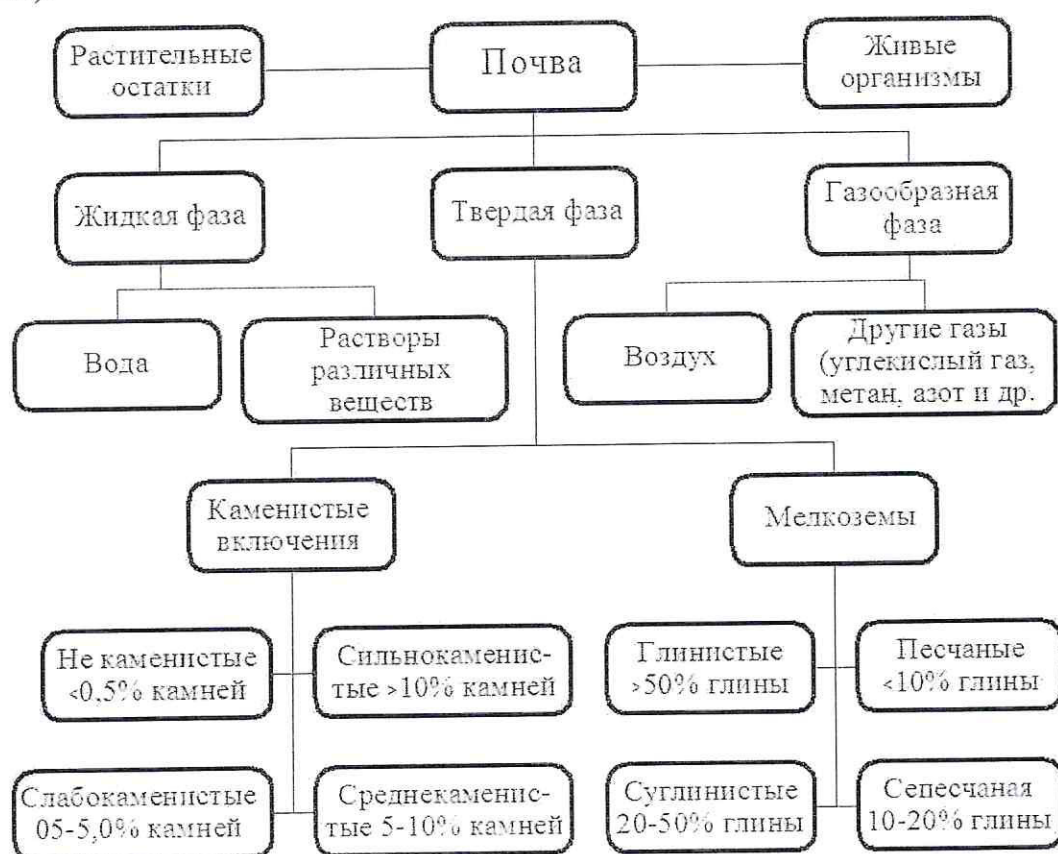


Рисунок 1.1 – Строение и фазовый состав почв

К технологическим свойствам относятся такие свойства, как фрикционность, абразивность, твердость, сопротивление различным видам деформации, липкость, связность.

Фрикционные свойства проявляются при скольжении почвы относительно какого-либо тела, соприкасающегося с ней, или при скольжении одних частиц почвы относительно других. При таком скольжении возникает сила трения, представляющая собой силу сопротивления перемещению (скольжению) и направленная в сторону, противоположную скорости относительного движения.

Изнашивающая или истирающая способность (абразивность) почвы проявляется в износе поверхности рабочих органов сельскохозяйственных машин, которые взаимодействуют с почвой во время ее обработки. Установлено, что между твердостью и влажностью почвы имеется обратная корреляционная связь с коэффициентом корреляции 0,9-1,0.

Изменение этих параметров двояко влияет на изнашивающую способность почв. С одной стороны, с повышением твердости почв их изнашивающая способность должна возрастать вследствие увеличения давления в зоне контакта абразивной частицы и микроучастка поверхности рабочего органа.

Рабочие органы почвообрабатывающих машин работают в абразивной среде, почве, которая по своему составу различна не только для областей и районов нашей страны, но и в самих районах, а зачастую и в пределах одного хозяйства. Почва, в свою очередь, состоит из множества абразивных частиц разных размеров и разной твердости, которая лежит в пределах 130-1100 МПа. В процессе работы они подвергаются износу, изменяя свои первоначальные размеры и форму, что влияет на энергетические, качественные показатели работы почвообрабатывающих машин.

Стрельчатая лапа состоит из носовой части 1 двух крыльев и хвостовика. Размеры лап характеризуются углами раствора 2γ крошения β шириной захвата, а также шириной в начале v и конце v крыла.

Нужно брать такое значение угол γ , при котором резание сорняков сопровождается скользящим резанием, а перерезанные сорняки безостановочно скользили бы вдоль лезвия.

При изменении данного условия, лезвия быстро обволакиваются: силами трения задерживаются неперерезанные стебли и корни сорняков, накапливаемых на крыльях лап, при этом рабочая часть лапы выглубляется из почвы, в результате этого ухудшается качество подрезания сорняков [4].

На рыхление почвы значительно влияет угол крошения β . Культиваторные лапы, в зависимости от значения угла крошения подразделяются на универсальные $\beta = 25...30^\circ$ и плоскорезные $\beta = 12...18^\circ$. Ширина крыла стрелчатой лапы, уменьшается к концу: максимальный $b_1 = 45...75$ мм, а минимальный размер $b_2 = 30...50$ мм.

На основе результатов длительной эксплуатации лап культиваторов устанавливают толщину материала лапы δ , при этом учитываются: ширина крыла, физико-механические свойства материала, ширина захвата, свойства почвы, глубина обработки.

Ширина лапы определяет ширину ее захвата. Она должна быть по возможности большей. Но при этом должен учитываться тот факт, что при большой ширине лапы, увеличивается масса культиватора, ухудшается заглубление, уменьшается прочность лапы.

Лемеха, культиваторные лапы изготавливаются из марганцовистой стали 65Г (состав и свойства приведены в таблице 1.1 и таблице 1.2 соответственно) [15]. Для того чтобы лапы могли самозатачиваться, на основной материал с тыльной стороны лезвия делают наплавку сплава сормаита толщиной 0,3...0,5 мм. Самозатачивание двухслойного лезвия происходит вследствие более быстрого изнашивания основного материала. При этом появившийся из-под него наплавленной слой, твердость которого составляет HRC 49...55, изнашивается медленнее [9].

Таблица 1.1 - Химический состав стали 65Г

Сталь	Химический состав, %				
	Кремний	Хром	Углерод	Марганец	Железо
65Г	0,27	<0,25	0,66	1,1	остальное

Таблица 1.2 -Физико-механические свойства стали 65Г после термической обработки имеет вид [4]

Группа стали	Марка стали	Режимы термической обработки			Механические свойства				
		закалочная среда	температура закали, °С	температура отпуска, °С	относительное удлинение образца при разрыве 5, %	Относительное сужение сечения, %	предел прочности при растяжении, МПа	предел текучести, МПа	твердость
Марганцовистая	65Г	масло	190...	530...600	8	34	880...	680	HRC44.
			830	450...480			1030		.HRC54

Таблица 1.3 -Химический состав сормаита [4]

Сплав	Химический состав, %					
	Углерод	Хром	Кремний	Марганец	Никель	Железо
сормайт	3,8...4,2	25...31	2,5...3,52	0,5... 1,5	3,0...5,0	остальное

По форме лемеха делят на трапецевидные и долотообразные. Материалом для производства лемеха является сталь Л-65. Для повышения износостойкости их лезвие закалывают до твердости 444.. .650 НВ при размере зоны закали 20...45 мм. В незакаленной части лемеха твердость обычно не выше 300 по шкале НВ [14].

При изготовления лап надо осуществить следующие операции: вырубка заготовки; фрезеровка лезвия; пробивка отверстий; горячая штамповка лапы; заточка; закалка лезвия при температуре 820...840°С;

отпуск при температуре 450...480 °С. Закалку и отпуск режущих кромок поперечных лап на ширину 25...40 мм проводят до HRC44...HRC54, в незакаленной зоне не более HRC34 [3].

В наши дни цена листового проката из стали марки 65Г в два три раза выше, чем стали марок 20 и 30. Термообработка режущих кромок при изготовлении лап культиваторов не дает возможность увеличения срока их службы, так как при наплавке износостойкого сплава в результате отпуска происходит изменение структуры сормаита. Сормайт при работе на песчаных почвах показывает не лучший результат.

Основные причины отказов рабочих органов – ускоренный абразивный износ 88% и поломки или деформации их носовой части 12%, в ряде случаев потери от поломок и деформаций доходят до 50%. На рынке имеются рабочие органы разного не всегда хорошего качества.

При работе культиваторов форма и размеры лап меняются. При этом действующая сила меняет величину и направление, которая является результирующей двух составляющих (рисунок 1.3) [2]. Вертикальная составляющая способствует выглублению культиватора, а горизонтальная — росту тягового сопротивления.

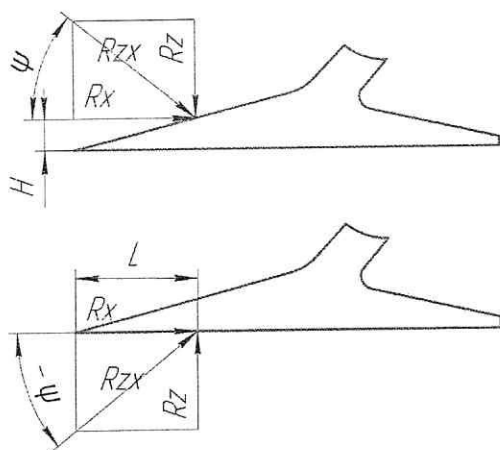


Рисунок 1.3 –Реакция почвы на стрельчатую лапу

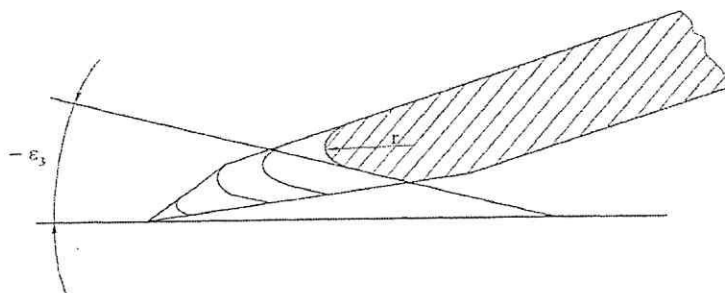


Рисунок 1.4- Изменение профиля монометаллического лезвия культиваторной лапы с образованием затылочной фаски

Коэффициент, характеризует отношение величины к величине, и зависимости от остроты лезвия, твердости почвы, и глубины обработки может изменяться в широких пределах [16].

Положение точки пересечения направления силы с профилем лапы при положительных углах характеризуется размером H (рисунок 1.3):

$$H = (0,5...0,3)s, \quad (1.1)$$

где: s - глубина обработки почвы, см.

Расстояние от носа лапы до точки пересечения силы с плоскостью лезвия при отрицательных значениях угла (рисунок 1.3):

$$L = 0,5b. \quad (1.2)$$

Величина тягового сопротивления зависит от размеров, формы рабочих органов, физико-механических свойств почвы, глубины обработки и скорости движения агрегата [16].

Рассматривая лапу культиватора, работающую как лезвие в почве в условиях интенсивного абразивного изнашивания, уже после определенной наработки, на тыльной стороне культиваторной лапы образуется затылочная фаска, расположенная под отрицательным углом ко дну борозды.

При этом ширина и значение угла наклона влияет на величину тягового сопротивления [16]. В большой степени на изнашивание лап влияет влажность почвы, которая в течение сезона изменяется много раз, и при уменьшении влажности верхняя грань режущей кромки изнашивается активнее. При высокой влажности (23...29 %) общий износ культиваторной

лапы значительно снижается, так как почва становится рыхлой. При этом интенсивность изнашивания лезвия возрастает с увеличением плотности почвы. Лапа, установленная по оси движения культиватора, будет иметь интенсивность изнашивания примерно в 1,5 раза большую, чем соседняя. И при увеличении плотности почвы, затылочная фаска лезвия в будет выявляется гораздо отчетливее.

И этим можно сказать, что характер изнашивания лап культиватора зависит от структуры и влажности почвы. Поэтому в течение сезона на одном и том же участке поля характер износа может быть разным. При обработке почвы с малой влажностью износ верхней грани лезвия будет больше. А при работе на влажной и рыхлой почве, верхняя часть лезвия изнашивается медленно, так как интенсивность изнашивания снижается.

При работе на различных почвах лезвия культиваторной лапы имеет разные значения износа, вследствие чего тяговое сопротивление агрегата возрастает в супесчаных почвах - на 17 %, суглинистых - на 27 %, глинистых - на 34 %.

На закономерность изменения сопротивления агрегата влияет износ рабочей поверхности лапы при сплошной обработке подзолистомой почвы [26].

В процессе работы лезвие изнашивается, и увеличивается радиус режущей кромки, при этом возрастает тяговое сопротивление агрегата. При работе с изношенными лапами, удельное сопротивление культиватор будет 20...30 % больше, чем с новыми.

Работоспособное состояние лапы сохраняют, до тех пор, пока их конструктивные параметры обеспечивают выполнение указанной функции в пределах допустимых отклонений. Критерий предельного состояния рабочих органов - конструктивный признак или набор признаков, связанных с изменением размера, формы или состояния рабочих поверхностей и причиной его перехода в нерабочем состоянии.

Основные критерии предельных состояний лап приведены в табл. 1.4. Ресурс рабочих органов должен определяться по наработке до достижения

первого из предельных состояний. Большинство (более 60 %) рабочие органы теряют способность выполнять работу из-за предельного износа носка и крыльев по ширине. Из-за уменьшения ширины захвата, лапы достигают неработоспособного состояния, износа хвостовика поломок, но доля отказов по этим причинам сравнительно невелика (менее 20 %). Динамика линейного износа носка и крыльев серийных стрелчатых лап в функции наработки показана на рис. 1.5.

Таблица 1.4- Основные критерии предельных состояний лап

Критерии предельных состояний		Значимость признака предельного состояния %	Влияние на функциональные качества и надежность машин
шифр	Внешние признаки		
1	2	3	4
ПС 1	Деформация или разрушение лап	6	Отказ, полная утрата работоспособности
ПС 2 ПС 3	Затупление лезвия вследствие увеличения радиуса закругления кромки r угла заострения i	15	Ухудшение подрезания сорняков и повышение тягового сопротивления
ПС 4 ПС 5	Образование затылочной фаски шириной s с наклоном к дну борозды под углом E	3	Снижение глубины обработки, повышение тягового сопротивления
ПС 6	Износ W_1 носка по длине	36	Снижение глубины обработки, повреждение стойки, увеличение тягового сопротивления, повышение износа хвостовой части лапы и головок болтов
ПС 7 ПС 8	Износ W_2 лапы по ширине с уменьшением: ширины захвата крыла ширины лезвия	5...25	Снижение прочности детали и степени подрезания сорняков
ПС 9	Износ W_3 лапы по толщине	5	Снижение прочности детали ослабления крепления детали, ускоренный износ носка
ПС 10	Износ головок крепежных болтов	6	Отказ из-за деформации, Разрушения или потери детали

Наиболее интенсивному изнашиванию подвергается носок лапы. Чем дальше от него, тем меньше износ режущей кромки снижается [27]. При увеличении плотности почвы износ лезвия будет повышаться, а при обработке рыхлой почвы износ по контуру лапы будет одинаковым, так как давление на носок и на крылья уменьшаются.

Наиболее интенсивному изнашиванию подвергается носок лапы. Чем дальше от него, тем меньше износ режущей кромки снижается¹[27]. При увеличении плотности почвы износ лезвия будет повышаться, а при

обработке рыхлой почвы износ по контуру лапы будет одинаковым, так как давление на носок и на крылья уменьшаются.

При достижении линейного износа носка до 30 мм, начинается износ стойки и крепежных деталей, при этом повышается тяговое сопротивление и появляется неравномерность хода по глубине обработки. Поэтому предельным состоянием износа носка будет 30 мм (ПС- 6).

Износ крыльев имеет повышенной износ это обуславливается опережающим износом армирующего или несущего слоя. На культиваторных лапах происходит самозатачивание, это может быть чрезмерным или нормальным, а в некоторых случаях самозатачивание культиваторных лап может и отсутствовать [27]. Схемы износа самозатачивающегося лезвия приведены на рисунке 1.6.

Нормальное самозатачивание (рисунок 1.6, а): очертания лезвия после работы определенного количества гектара принимает форму .

Затылочная фаска образуется у нижнего износостойкого слоя которая уплотняет почву, связи с этим возникает реактивная сила, в результате чего возникает сила стремящаяся вытолкнуть лапу из почвы. Однако если толщина слоя лезвий культиваторных лап выбрана правильно, то эта сила не имеет особого значения, так как не может ухудшить устойчивости хода по глубине. Передняя грань верхнего слоя которая обеспечивает прочность лезвия принимает криволинейное очертание. При дальнейшем изнашивания

лезвия, его профиль смещается вдоль линии, при этом очертания не изменяются.

Чрезмерное самозатачивание биметаллических лезвий происходит на стрелчатых лапах где толщина нижнего слоя завышена (рисунок 1.6,б).

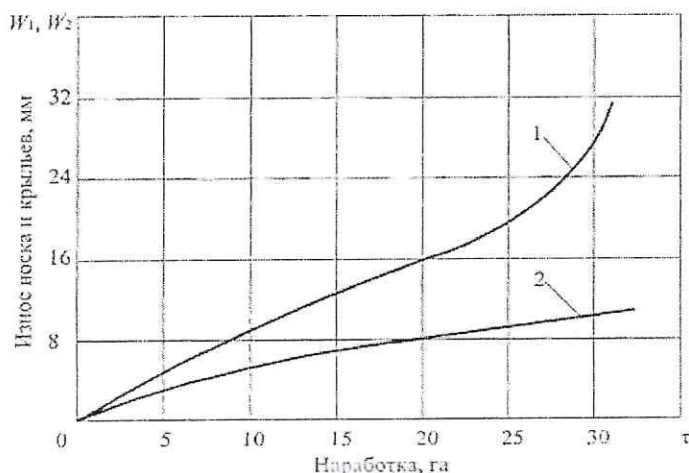


Рисунок 1.5 - Динамика линейного износа носка (1) и крыльев (2) стрелчатых лап

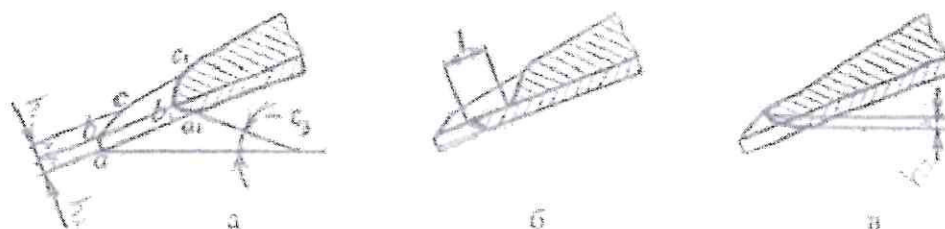


Рисунок 1.6- Схемы износа биметаллического самозатачивающегося лезвия стрелчатой лапы

Длина консольной части нижнего слоя увеличивается потому что износ на верхней части слоя происходит быстрее, чем нижнего. Наплавленный нижний слой лезвия выступает вперед, и происходит выкрашивание и сколы нижнего хрупкого и твердого слоя. В результате образуется пилообразная кромка это вызывает повышенной линейный износ.

Самозатачивание может отсутствовать, если наплавленный слой имеет пониженную толщину (рисунок 1.6). При этом увеличивается высота затылка h , и это влияет на устойчивость хода по глубине.

При различных условиях работы износ лезвий стрелчатых лап сопровождается как чрезмерным и нормальным самозатачиванием, так же и его отсутствием.

Образование широкой затылочной фаски влияет на устойчивость хода по глубине, а величина затылка повышается при износе нижнего твердого слоя, ширина которого составляет 15 мм, то износ крыла по ширине на 15 мм принимается в качестве предельной величины, в результате которой наступает потеря работоспособности лапы (ПС - 8).

При снижении перекрытия следа второго ряда лапой первого ряда до 10...15 мм наступает предельный износ лап по ширине захвата, в результате ухудшается срезание сорняков из-за малого пути скольжения их корней по лезвию. В связи с этим предельное значение износа составляет 10... 15 мм (ПС - 7).

От характера формоизменения лезвий зависит острота полольных рабочих органов. При чрезмерном и нормальном самозатачивании она определяется толщиной армирующего слоя, и радиус закругления при таком самозатачивании равен половине толщины этого слоя. Если при отсутствии самозатачивания, то предельным принимают радиус кромки лезвия 0,5 мм [27].

После рассмотрения износов рабочих органов и влияния на них различных факторов, нужно отметить, что интенсивность изнашивания зависит в основном от содержания в почве абразивных (корундовых и кварцевых) частиц размеры, которых более 0,1 мм и от плотности почвы.

Интенсивность износа рабочих лап может быть настолько велика, что в некоторых случаях возникает необходимость в ремонте через 2...3 ч работы.

При обработке почв, которой содержит каменистые включения, наблюдается повышенная деформация режущей кромки и усталостные выщербины.

После анализа вышеизложенного, можно сделать вывод о том, что состояние носка и лезвия лап культиватора оказывает влияние на

энергетические затраты и качество обработки почвы. Работоспособность лап определяется величиной и остротой их износа. В результате при восстановлении стрельчатых лап культиватора нужно достигнуть повышения твердости и износостойкости носка и лезвия.

1.2. Анализ существующих способов восстановления и повышения износостойкости рабочих органов почвообрабатывающих машин

Восстанавливают изношенные лемеха кузнечной оттяжкой, приваркой нового лезвия, оттяжкой с последующей наплавкой твердого сплава, а также заменой изношенной части приваркой вставок с последующей наплавкой твердого сплава.

Одним из первых появился метод восстановления оттяжкой.

При оттяжке из утолщенной части лемеха (магазина) металл после нагрева перемещают к изношенным местам ударами кувалды или пневматического молота. Оттяжку проводят не более 4 раз. Для ручной оттяжки лемех нагревают участками со стороны лезвия вначале медленно до 500...600°C, а затем с большей скоростью до температуры 900...1200°C (оранжевый или светло-желтый цвет). Нагревать лемех следует минимальное количество раз, но быстро и равномерно, без перегрева. Оттяжку лемеха начинают при температуре 1200° С и заканчивают при температуре 800° С.

Оттяжка при меньшей температуре приводит к появлению трещин на лезвии лемеха.

При полном использовании запаса материала магазина лемеха и износе до ширины менее 92 мм его можно восстанавливать приваркой лезвия и носка лемеха. Ремонт лемехов заменой изношенной части заключается в том, что изношенное лезвие обрубает и к лемеху приваривают вставку из клинового проката ремонтного профиля. Промышленность выпускает три типа такого проката: 30Р, 50Р и 85Р или предварительно приготавливают

полосу соответствующих размеров из выбракованных лемехов, полевых досок и т. п.

Полосу можно приваривать кузнечным способом, газовой или электродуговой сваркой.

Технология ГосНИТИ предусматривает отжиг долотообразного лемеха при температуре 860 °С, правку его в горячем состоянии на прессе и одновременно обрубку изношенной части. Отжиг производят в электрической камерной печи Н-45, в которой лемехи нагревают до температуры 810-860 °С и выдерживают при этой температуре два часа, а затем медленно охлаждают вместе с печью.

Лезвие обрубает на расстоянии 90 мм от спинки лемеха параллельно ей, а носок — под некоторым углом (рис. 1.4 а). Сначала отрезается изношенная часть лезвия, затем носок. Удаление изношенных частей лемеха может производиться методом кислородной резки. В этом случае предварительного отжига лемехов не требуется.

В некоторых случаях для резки можно воспользоваться углошлифовальной машиной с обрезающими абразивными дисками. Однако такой способ нельзя назвать рациональным с точки зрения больших затрат времени и средств на покупку абразивных дисков.

Затем на прессе вырубает вставку для лезвия из клинового проката ремонтного профиля 30Р, а для носка — из профиля 85Р. Вставки приваривают к лемеху дуговой сваркой и наплавляют на них с тыльной стороны твердосплавный порошок.

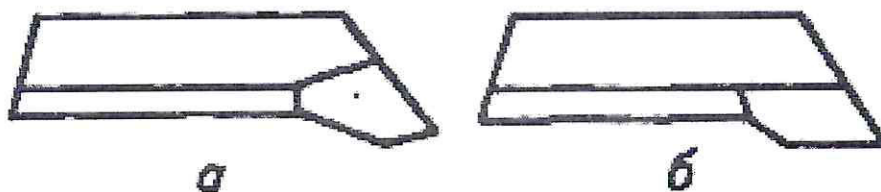


Рисунок 1.4 - Варианты плужных лемехов, восстановленных ремонтными вставками, по технологии: а-ГосНИТИ, б- Челябинский ГАУ.

После остывания лемех затачивают, при необходимости зенкуют отверстия под крепежные болты.

Отжиг лемехов перед восстановлением приводит к уменьшению твердости остова до HB 150... 170, в результате чего снижается жесткость лемеха и он часто изгибается в носовой части. Для повышения жесткости лемеха рекомендуется с тыльной стороны на носовой части приварить планку размером 15 x 20 x 40 мм вместо ребра жесткости, которое при восстановлении нарушается. По этой технологии можно восстановить до 70 % лемехов, поступающих в ремонт.

Сварка лезвия производится от середины к краям. Для устранения коробления сваривать лезвие лемеха с остовом можно сплошным и прерывистым швом. Ширина прерывистого шва должна равняться 8-10 мм, а с тыльной стороны лемеха должно обеспечиваться усиление шва толщиной 1-2 мм.

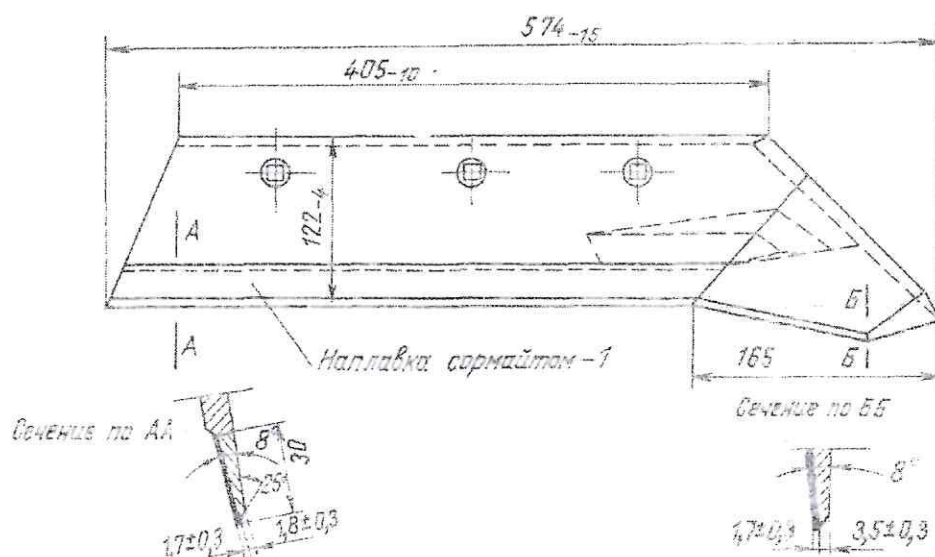


Рисунок 1.5- Восстановленный долотообразный самозатачивающийся лемех.

Для повышения долговечности лемехов кроме закалки разработаны ряд способов.

Вопросам увеличения долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин посвящены работы В.П. Горячкина М.М. Хрущева, М.А. Бабичева, А.Ш. Рабиновича, А.Н. Розенбаума, М.М. Севернева, М.М. Тененбаума, Г.Н. Синеокова, В.Н. Винокурова, В.И. Виноградова, Е.П. Огрызкова, В.Н. Ткачева, С.А. Сидорова, М.Н. Ерохина, Я.П. Лобачевского, В.С. Новикова, Н.Н. Литовченко, А.Ф. Фаюршина, В.И. Черноиванова и других ученых.

Активно этим вопросом занимаются на кафедре «Эксплуатация и ремонт машин» Казанского ГАУ.

Известные способы нанесения на детали покрытий сверхизносостойкими металлокерамическими материалами – индукционный, лазерный, плазменный, детонационный являются относительно перспективными.

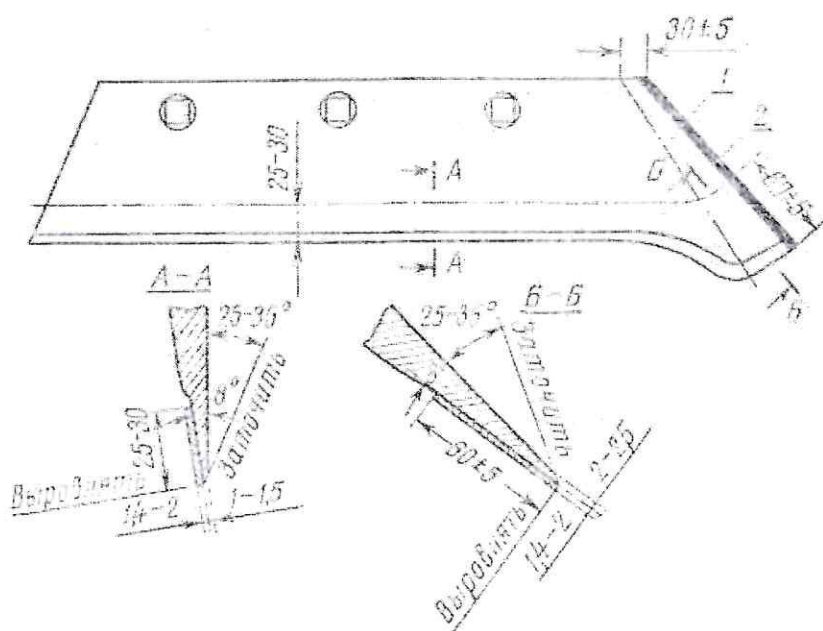
В ГосНИТИ разработан способ повышения износостойкости лемехов наплавкой на лезвие твердого сплава сормайт No 1. Такой лемех при вспашке самозатачивается, благодаря чему увеличивается срок его службы (в 10...12 раз на почвах без камней и крупного песка).

Сормайт наплавляют на лезвие с нижней стороны. Нанесение твердого сплава с лицевой стороны лемеха приводит к очень быстрому появлению широкой затылочной фаски.

Сормайт наплавляют на лезвие с нижней стороны. Нанесение твердого сплава с лицевой стороны лемеха приводит к очень быстрому появлению широкой затылочной фаски. Наплавлять можно следующими способами: на установке ТВЧ износостойким твердым сплавом сормайт № 1; ацетиленокислородным пламенем, используя в качестве присадочного стержня прутки 06 мм из сормайта № 1; электродами марки Т-590. После наплавки лемех затачивают. Благодаря высокой твердости слоя, наплавленного с тыльной стороны, характер износа лемеха при работе таков, что лезвие остается острым. Самозатачивающиеся лемеха работают на всех почвах, кроме песчаных и каменистых.

Самозатачивание лезвия лемеха обеспечивается только при оптимальном соотношении толщины лезвия лемеха и твердого сплава, которое должно быть в пределах 1...1,2.

Процесс изготовления самозатачивающегося лемеха состоит из оттяжки, наплавки твердого сплава, выравнивания и заточки. Лезвие лемеха оттягивают обычным способом. Очень важно при этом получить необходимую толщину и угол наклона лезвия.



1 — зона закалки; 2 — слой сормаита, наплавленный на торцовую поверхность полевого обреза лемеха

Рисунок 1.6 - Лемех, наплавленный сормайтом № 1.

Межремонтный технический ресурс лемехов можно увеличить на 30...35%, если твердый сплав наплавлять участками (рис. 1.8). Перед наплавкой оттягивать лемеха не нужно. Толщина слоя сормаита на носке должна быть 1,7...2,5 мм, на остальной части лезвия - 1,4...2,0 мм. Наплавленный лемех затачивают на наждачном круге с лицевой стороны под углом 20...25° до толщины лезвия 0,5...1,5 мм.

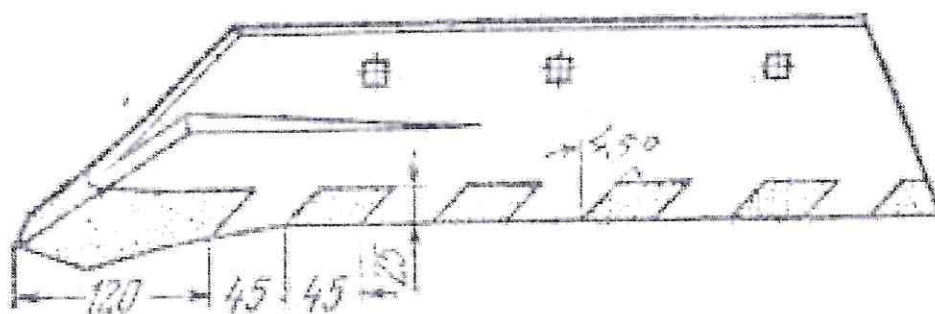


Рисунок 1.8 - Лемех, наплавленный твердым сплавом сормайт №1 участками.

В процессе работы такой лемех делается зубчатым, благодаря чему плуг хорошо заглубляется и даже при большом износе носков лемехов работает устойчиво.

За рубежом применяется комбинированный метод нанесения упрочняющих металлокерамических покрытий. Например, в Японии разработана технология, включающая следующие основные операции [6]: очищают поверхность детали струйно-абразивным методом, наносят газотермическим методом сначала керамический слой, а на него металлический сплав (никель, хром) толщиной 20 мкм. Затем поверхность детали подвергают высокотемпературной обработке лучом лазера в результате чего расплавляется промежуточный слой покрытия, металл которого проникает в поры керамики и диффундирует в металлическую основу детали. Среди зарубежных фирм, применяющих смеси для газотермического напыления покрытий, можно назвать немецкую «Plasmatechnik».

В зарубежной практике широко используется метод упрочнения деталей различной техники закреплением на рабочих плоскостях специальных износостойких в абразивных условиях пластин. Крепление таких пластин производится пайкой твердыми припоями. Такой способ крепления дает возможность легко удалять изношенные или поврежденные пластины и ставить новые. Упрочнение пластинами имеет оригинальную особенность: общее полотно пластины на лезвии дискретно, то есть состоит

из отдельных пластинок длиной 25-35 мм, толщиной 2,0-5,0 мм (в зависимости от условий работы детали).

Пластины из гетерогенного высокоизносостойкого нанопорошкового состава изготавливаются из размерного полосового материала, полученного прокаткой из расплава нанопорошкового композита.

Пластины изготавливаются из гетерогенных высокоизносостойких нанопорошковых материалов, которые расплавляют с последующей прокаткой в размерные полосы, разрезаемые на нужные типоразмеры. Другой способ – размерная прессовая штамповка с последующим спеканием.

Упрочнение пластинами является перспективным, технологичным, высокоэффективным в экономическом и практическом значении для упрочнения деталей почвообрабатывающей и другой техники.

Козарез И.В. [28] предлагает для увеличения износостойкости лемехов проводить двухслойную наплавку при восстановлении лучевидного износа в области носка лемеха. Первый слой наплавлялся электродами Э-42А-УОНИИ-13/55 затем проводилась наварка валиков электродом Т-590, обеспечивающим твердость около 60 HRC, при этом достигается ресурс с 25 до 35 га, соответственно технологическим вариантам и условиям эксплуатации.

Колпаков А.В. [29] предлагает повышение износостойкости рабочих органов почвообрабатывающих орудий путем применения вибродугового науглероживания поверхностного слоя графитовым электродом.

Науглероженные рабочие органы почвообрабатывающих орудий имеют износостойкость в 1,8.3,0 раза выше, чем неупрочненные и на 15. .18 % выше, чем наплавленные твердым сплавом.

Преобладающим типом исходных материалов для изготовления нанопорошков являются оксиды - Al_2O_3 , SiO_2 , ZnO , TiO_2 и др., используемые в разных областях, также композиционные твердые растворы Fe – Cu, FeNi, Fe – Ti, FeAl, W – Cu, Al – Ni и др., а также порошки многих тугоплавких соединений – TiN, TiC, TiB_2 , ZrN , NbC и др.

Упрочнение деталей путем индукционной и дуговой наплавки рабочих поверхностей почвообрабатывающих органов применяют при изготовлении, например, на Рубцовском заводе запчастей. Предприятие «РЗЗ» не использует дуговую наплавку электродами ЦН - 29, Т-590, Т-620, ЭН-ИТС-01 и наплавку порошковыми проволоками ПП-АН-125, ПП-АН-123 или порошковой лентой ЛС-У10Х7ГР. Ресурс упрочненных рабочих органов по сравнению с серийными в условиях суглинистых почв увеличивается в 1,5...2,5 раза. Практика показала, что эти технологии имеют некоторые недостатки, например, перекал деталей, большая стоимость применяемых материалов, твердость покрытия и недостаточна. Его может обеспечить использование металлокерамические композиционные материалы, разработанные самостоятельно и в ГОСНИТИ [14].

В зарубежной практике широко используется метод упрочнения деталей различной техники закреплением на рабочих плоскостях специальных износостойких в абразивных условиях пластин. Крепление таких пластин производится пайкой твердыми припоями. Такой способ крепления дает возможность легко удалять изношенные или поврежденные пластины и ставить новые.

Новый метод наплавки индукционной лезвий «ХЕТИЛЛ» разработан немецкой фирмой «ИННОВЕЛД» для изготовления тонких покрытий из твердых наносплавов. Метод пригоден для производства самозатачивающихся рабочих органов почвообрабатывающих машин.

Основой примененной технологии сохранения лезвия является запатентованная фирмой «ИННОВЕЛД КФТ» - технология самозатачивания профилей лезвий. Сущность метода заключается в том, что на обработанное необходимым образом лезвие наплавляется износостойкий твердый сплав. Толщина слоя сплава в зависимости от детали меняется в пределах от 0,6 до 1,5 мм. Наплавка твердого сплава происходит на разработанной для этой цели установке с помощью индукционного нагрева. Слой твердого сплава

соединяется с материалом детали диффузионной связью и до полного изнашивания обеспечивает самозатачивающийся профиль лезвия.

Самозатачивающиеся почвообрабатывающие детали марки «ХЕТИЛЛ» имеют следующие преимущества при эксплуатации:

- срок службы деталей увеличивается в 6 раз;
- рабочие органы до полного износа остаются острыми, этим обеспечивается эффективная эксплуатация, что приводит к экономии 10-15% энергии;
- несмотря на эффективное резание и измельчение, сельскохозяйственные работы могут быть проведены в хорошем качестве с точки зрения агротехнических требований;
- применение самозатачивающихся деталей позволяет устранить время на заточку и замену изношенных деталей и кроме этого приводит к экономному использованию материалов.

Технология обеспечивает точную настройку и автоматическую регулировку температуры расплавленного твердого сплава. Так можно получить ровный, однородный слой твердого сплава.

Исследования Шарифуллина С.Н. и других [34] показали, что электроискровая обработка лемешной стали позволяет повысить ее твердость до HRC45...55, однако, слой получается очень тонким.

Производительность и качество вибродугового упрочнения зависит от режимов обработки (силы тока, амплитуд и частот колебаний инструмента, скорости его движения и других факторов). Имеющиеся в литературе данные свидетельствуют о недостаточной изученности процесса вибрационного упрочнения материала обрабатываемых деталей (лап культиваторов и др.) Отсутствует конкретная теория этого технологического процесса. Поэтому надо исследовать процесс с целью установления оптимальных режимов.

На наш взгляд перспективным является способ вибродугового упрочнения (ВДУ) с применением металлокерамической пасты.

Основную часть рынков сбыта оборудования и технологии для упрочнения деталей составляют не заводы-изготовители сельскохозяйственной почвообрабатывающей техники, а предприятия сферы ее эксплуатации и ремонта, а также отраслей промышленности.

1.3 Краткие выводы. Цель и задачи исследований

Исходя из проведенного обзора и анализа состояния вопроса можно сделать следующие выводы:

1. Несмотря на многочисленные исследования, до настоящего момента нет единого мнения о преобладающем виде изнашивания рабочих органов и закономерности их изнашивания. Ресурс нового лемеха составляет от 5 до 20 га., лезвия и носовая часть Стрельчатая лапа в процессе работы сильно изнашивается, и имеют недостаточную прочность.

2. Проведенный нами анализ ресурса стрелчатых лап по данным литературных источников, посвященных этому вопросу, показывает, что в последние годы не было достигнуто существенного повышения срока службы этих рабочих органов. Применяемые способы восстановления, повышения износостойкости и долговечности лап нельзя признать эффективными, так как они обладают высокой трудоемкостью и стоимостью. Часто при восстановлении детали увеличивается уровень напряженного состояния, также снижается сопротивляемость ударным воздействиям. Не всегда гарантируется требуемая работоспособность.

3. Перспективным является способ вибродугового упрочнения. При сравнительной оценке существующих методов, учитывая их технологические достоинства и недостатки, производительность (скорость насыщения) и стоимость (экономическую эффективность), наиболее эффективным и менее трудоемким в нашем случае остается метод вибродугового упрочнения. Имеющиеся в литературе данные свидетельствуют о недостаточной

изученности процесса вибрационного упрочнения материала обрабатываемых деталей (лап культиваторов и др.)

Целью работы является повышение износостойкости рабочих органов почвообрабатывающих орудий металлокерамическими покрытиями

Задачи исследования:

- Провести микрометраж партии изношенных рабочих органов для определения теоретического закона распределения износа. Провести измерение твердости поверхности рабочих органов.

- установить аналитические зависимости формирования напряженности электрического поля при ВДУ с целью обоснования толщины слоя металлокерамической пасты, обеспечивающей стабильное зажигание электрической дуги;

- провести экспериментальные исследования по определению толщины и физико-механических свойств металлокерамических покрытий, полученных при ВДУ на пастах различного состава;

- провести сравнительные испытания на изнашивание, а также эксплуатационные испытания неупрочнённых серийных и упрочнённых ВДУ рабочих органов почвообрабатывающих орудий;

- разработать технологический процесс ВДУ режущих поверхностей рабочих органов почвообрабатывающих орудий и определить экономическую эффективность от его внедрения в производство.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Анализ химических взаимодействий металлокерамических и легирующих компонентов при расплавлении электрической дугой графитового электрода

Поставлена задача создания метода и технологии упрочнения и восстановления, с разработкой и использованием нанопорошков, обеспечивающего ресурс рабочих органов почвообрабатывающей и другой техники, соизмеримой с ресурсом новой техники в целом.

Ставка делается на разработку метода восстановления и упрочнения металлокерамическими покрытиями с использованием доступных и сравнительно дешевых нанокристаллических материалов, на базе оксида, двуокиси кремния (SiO_2) с добавлением химических компонентов, содержащих бор и азот.

Эти материалы доступны любому с/х предприятию.

Металлокерамика выбрана по следующим соображениям. В различных странах мира ученым удалось получить высокоэффективные металлокерамические твердые сплавы (МКТС), обеспечивающие повышение срока службы деталей различной техники в том числе и почвообрабатывающей в 10...15 раз. Однако, такие МКТС – весьма дорогие (в среднем около 70 долларов США за кг) [14].

Отечественные металлокерамические материалы в 5-10 раз дешевле.

Кроме этого первые результаты применения зарубежных керамических пластин для упрочнения лемехов, работающих на супесчаных и суглинистых почвах, не дали достаточно убедительных результатов из-за их хрупкости.

В разрабатываемой нами технологии упрочнения заложен метод наплавки нанометаллокерамических пластин или паст с последующим их расплавлением косвенной дугой и графитовыми электродами.

Преобладающим типом исходных материалов для изготовления нанопорошков являются оксиды - Al_2O_3 , SiO_2 , ZnO , TiO_2 и др., используемые в разных областях, также композиционные твердые растворы $\text{Fe} - \text{Cu}$, FeNi , $\text{Fe} - \text{Ti}$, FeAl , $\text{W} - \text{Cu}$, $\text{Al} - \text{Ni}$ и др., а также порошки многих тугоплавких соединений - TiN , TiC , TiB_2 , ZrN_2 , NbC и др. Основные механические свойства нанопорошков приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Механические свойства нанопорошков

Состав	Относительная плотность	Размер зерна, нм	Твердость По Виккерсу, ГПа
Ni-TiN (64%)	0,97	10	13,5
Fe	<u>0,94</u>	<u>15</u>	<u>8,0</u>
TiAl	0,99	20	6,0
WC-Co(10%)	1,0	20,0	24,0
TiN	0,98 - 0,99	30 – 50	29 – 31
TiN-TiB ₂ (50%)	0,98 – 0,99	-	34
Si ₃ N ₄	0,99	-	38
SiC	0,97	70	27
BN	0,96	25	43 – 80
TiB ₂	1,0	2 – 8	50 – 70
Ti (B, C, N)	1,0	1 – 5	60 – 70
TiN-Si ₃ N ₄ -TiSi ₂	-	3	100

Анализируя механические свойства некоторых нанопорошков (табл. 2.1), в целом можно отметить, что прочность и твердость металлических наноматериалов выше таковых для обычных материалов примерно в 4 – 6 раз

Металлокерамическая структура таких покрытий обладает достаточными прочностными свойствами, обеспечивающими возможность

использования упрочненных деталей в условиях абразивнопочвенных и гидроабразивных условиях и динамических нагрузок.

Исследование упрочнения деталей наплавкой металлокерамики заключается прежде всего в изучении процессов образования твёрдых и высокотвёрдых фаз (твёрдых растворов).

Упрочняющие свойства основных компонентов, входящих в состав металлокерамических композитов: бор (В), карбид бора (B_4C). В металлургии бор применяется как добавка к стали.

Присадка очень небольших количеств бора уменьшает размер зерна, что приводит к улучшению механических свойств сплавов. Применяется также поверхностное насыщение стальных изделий бором – борирование, повышающее твёрдость и стойкость против износа и коррозии.

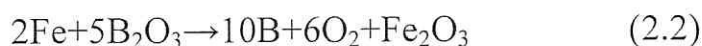
При контакте бора с углеродом в процессе горения дуги и сублимации графитового электрода образуется карбид бора. При высокой температуре дуги бор соединяется со многими металлами, образуя бориды, например, борид железа FeB (на внешней зоне упрочнённой поверхности) и борид FeB_2 во внутренней зоне диффузионной части подложки.

Далее рассмотрим процессы металлокерамических образований.

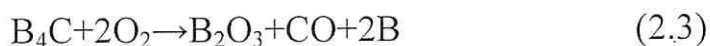
При воздействии высокой температуры (выше $850^\circ C$) при расплавлении буры происходит процесс её термической диссоциации [10].



Далее оксид бора B_2O_3 , контактируя с железом, разлагается по реакции:



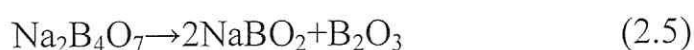
Окисление карбида бора (B_4C) происходит по реакции:

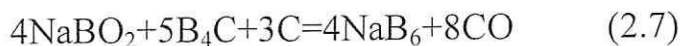
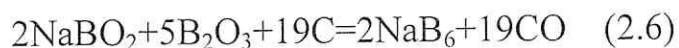


Свободные атомы бора диффундируют в поверхность металла, а закись железа FeO восстанавливается под действием CO :



В расплаве пасты возможны также реакции:

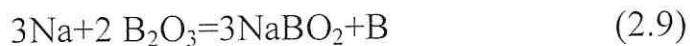




Устойчивое соединение NaB_6 разлагается на бор и натрий.



Полученный натрий восстанавливает B_2O_3 :



Отсюда следует вывод, что для образования активных атомов бора в расплаве пасты необходимо либо получение натрия, либо окисла натрия Na_2O или неустойчивого соединения NaB_6 .

2.2 Исследование напряженности электрического поля в зоне горения дуги при вибродуговом упрочнении

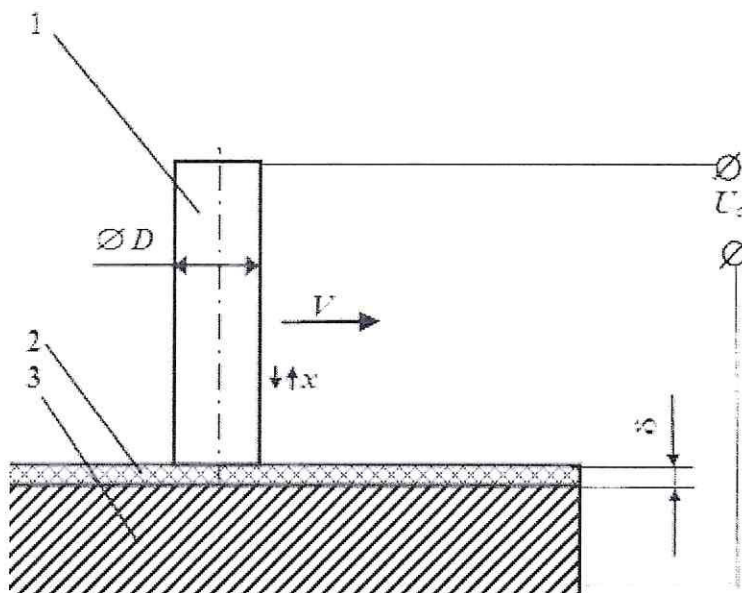
Металлокерамические порошки наносятся на поверхность обрабатываемой детали в виде заранее подготовленной пасты, паста подготавливается смешиванием порошков в жидком стекле или клее ПВА. В состав входят связующее (жидкое стекло $\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$ по ГОСТ 13078-81) или клей ПВА, наполнители в виде порошка (ПГ-10Н-01, B_4C) в различных соотношениях. До зажигания дуги на поверхности проводится сушка нанесенной композиции до затвердевания, и слой затвердевшей пасты оказывает значительное сопротивление на горение дуги. Для того чтобы обеспечить стабильное горение дуги между вибрирующим угольным электродом и упрочняемой поверхностью необходимо создать напряженность (E) электрического поля, которая превышала бы минимальное пороговое значение зажигания дуги через нанесенный слой.

Известно, что зажигание дуги возможно двумя способами:

1. Возбуждение контактированием двух электродов;

2. Возбуждение дополнительным введением импульсного высокого напряжения и высокой частоты. Т.е. оба способа должны иметь достаточное напряженность электрическое поля.

В работе [9] рассматривают предложенный методический подход Л.А. Сена, здесь говорится, что необходимо электрод и поверхность детали рассматривать как обкладки конденсатора, которые разделены между собой слоем сопротивления, как это показано на рисунке 2.1.



1 –электрод угольный; 2 – слой композиционного материала, т.е. пасты толщиной (δ); 3 – упрочняемая поверхность детали.

Рисунок 2.1 – Схема вибродуговой обработки

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 из зависимости:

$$E = k_E \cdot \frac{U_0}{\sqrt[3]{a \cdot R^2 S^2}}, \quad (2.11)$$

где E – напряженность поля, В/мм;

k_E – коэффициент влияния напряженности электрического поля колебаний электрода в направлении наплавленной поверхности, $\text{мм}^{5/3} \text{Ом}^{2/3} / \text{с}^{2/3}$;

U_0 – напряжение с трансформатора, В;

R – сопротивление слоя композиционного материала между электродом и наплавленной поверхностью детали, Ом;

S – площадь выступов на поверхности детали в зоне контакта с электродом, мм^2 ;

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

В зависимость (2.5) необходимо ввести потери напряжения на аноде U_a и катоде U_k , в литературе [24] по таблице 2 определяется при использовании графитового электрода и стальной поверхности детали $U_k + U_a = 17 \dots 19$ В. А также необходимо учитывать толщину слоя композиционного материала между электродом и наплавленной поверхностью детали.

С учетом вышеизложенного зависимость (2.11) приведена к виду:

$$E = \frac{U_0 - (U_k + U_a)}{\delta \left(1 + k_a \sqrt[3]{a \cdot R^2 S^2} \right)}, \quad (2.12)$$

где k_a – коэффициент, учитывающий влияние колебаний электрода, ориентированных в направлении упрочняемой поверхности, на напряженность электрического поля, $\text{с}^{2/3} \text{мм}^{-5/3} \text{Ом}^{2/3}$;

δ – толщина затвердевшего слоя пасты, мм.

Тогда условие устойчивого зажигания электрической дуги при колебаниях электрода может быть записано в следующем виде:

$$E = \frac{U_0 - (U_k + U_a)}{\delta \left(1 + k_a \sqrt[3]{a \cdot R^2 S^2} \right)} \geq E_3, \quad (2.13)$$

где E_3 – минимальное значение напряженности электрического поля, обеспечивающее зажигание дуги при ВДУ, В/мм.

Рассмотрим более подробно входящие в зависимость (2.13) параметры a , R и S , оказывающие наиболее существенное влияние на напряженность E электрического поля при вибродуговом упрочнении.

При упрочнении угольный электрод установки ВДГУ-2, используемой

для вибродуговом упрочнении, колеблется с амплитудой $A = 0,5 \dots 1,1$ мм и частотой $f = 25$ Гц и $f = 50$ Гц, т.е. его перемещения при колебаниях в вертикальном направлении могут быть описаны уравнением:

$$x = A \cdot \sin(2\pi ft), \quad (2.14)$$

где A – амплитуда колебаний электрода, мм;

f – частота колебаний электрода, Гц;

t – время, с.

Таким образом, амплитуда ускорения электрода при вибродуговом упрочнении может изменяться в достаточно широком диапазоне:

$$a = \ddot{x}_{\max} = 4 \pi^2 f^2 A = 12300 \dots 49300 \text{ мм/с}^2, \quad (2.15)$$

Предварительно проведенными исследованиями было установлено, что наиболее существенное влияние на сопротивление R затвердевшей пасты оказывает толщина слоя пасты, причем это влияние носит степенной характер, в аналитической форме имеющее вид [25]:

$$R = k_\delta \delta^5, \quad (2.16)$$

где $k_\delta = 28500$ Ом/мм⁵.

Поверхность отвердевшего, но сохранившего относительно упруго-пластичные свойства, слоя пасты имеет развитый рельеф поверхности, который при контакте с угольным электродом деформируется. Учитывая достаточно большую площадь контакта электрода с поверхностью пасты и ее определенные упругоподатливые свойства, величина площади микронеровностей S может быть принята равной:

$$S = 0,25\pi D^2, \quad (2.17)$$

где D – диаметр угольного электрода, мм.

Тогда с учетом приведенных выше результатов математическая зависимость напряженности электрического поля, определяющая условие устойчивого загорания дуги, может быть записана в следующем виде:

$$E = \frac{U_0 - (U_k + U_a)}{\delta(1 + 2,9 \cdot k_a \sqrt[3]{A \cdot f^2 \cdot k_\delta^2 \cdot \delta^{10} \cdot D^4})} \geq E_3. \quad (2.18)$$

Процесс зажигания дуги при ВДУ условно может быть разделен на три фазы:

– первая фаза, при которой при создании разности потенциалов $U_0 - (U_k + U_a) \approx 32...42$ В между электродом и металлической поверхностью возникает электрическое поле, при воздействии которого на слой пасты происходит изменение величины ее электрического сопротивления и снижением напряжения до величины U_3 , при котором начинается процесс зажигания дуги;

– вторая фаза, при которой возникает «тонкая» дуга, поперечное сечение которой начинает увеличиваться, вследствие чего сопротивление расплавляемого слоя пасты, размещенного между угольным электродом и упрочняемой металлической поверхностью, снижается с одновременным снижением напряжения источника питания до U_0 , при котором горение дуги становится устойчивым;

– третья фаза, при которой поперечное сечение дуги, ток наплавки и напряжения источника U_0 стабилизируются на определенном уровне и начинается процесс ВДУ.

Значения E_3 рассчитывались по формуле:

$$E_3 = \frac{U_0 - (U_k + U_a)}{\delta_{0\max}}; \quad (2.19)$$

Таким образом, зависимость (2.13) с учетом полученных значений напряженности E_3 , значения k_a и среднеквадратического отклонения может быть записана в следующем виде:

$$E = k_e E_0 \geq E_{3(\max)} = 7,6 \text{ В/мм}, \quad (2.20)$$

где k_e – безразмерный коэффициент, комплексно учитывающий влияние изменения расстояния между угольным электродом и упрочняемой

металлической поверхностью лапы культиватора, соответствующего толщине отвердевшего слоя пасты, и параметры колебаний электрода, равный:

$$k_e = \left(1 + 2,9 \cdot k_a \sqrt[3]{A \cdot f^2 \cdot k_s^2 \delta^{10} \cdot D^4}\right)^{-1}; \quad (2.21)$$

E_0 – напряженность электрического поля при неколеблущемся электроде, равная отношению $E_0 = (U_0 - (U_k + U_a))/\delta$, В/мм.

Анализ зависимости (2.21) показывает следующее:

– с увеличением толщины затвердевшего слоя пасты влияние колебаний электрода на напряженность электрического поля нелинейно снижается. При этом, в связи с увеличением толщины затвердевшего слоя пасты, еще в большей мере уменьшается напряженность электрического поля, размещенного между угольным электродом и стальной поверхностью образца.

Для улучшения поджигания дуги предлагается ввести в состав металлокерамического порошка графит из измельченного угольного электрода.

Составы металлокерамических порошков (связующее клей поливинилацетатный (ПВА):

состав 1: матрица (порошок ПГ-10Н-01) 60%, керамический компонент – 30%, графит – 10%.

состав 2: матрица(порошок ПГ-10Н-01) 50%, керамический компонент – 30%, графит – 20%.

состав 3: матрица (порошок ПГ-10Н-01) 40%, керамический компонент – 30%, графит – 30%.

2.3 Сварочная дуга как источник нагрева

Мощным концентрированным источником теплоты является сварочная дуга. В основном потребляемая дугой электрическая энергия превращается в тепловую энергию. В анодном и катодном активных пятнах происходит отдача тепловой энергии и дуговом промежутке. При этом в центральной зоне активного пятна тепловой поток дуги достигает наибольшей интенсивности (рисунок 2.2). Чем дальше от центра пятна, тем интенсивнее убывает тепловой поток. Когда напряжение падает, то происходит распределение теплоты вдоль дугового промежутка [7].

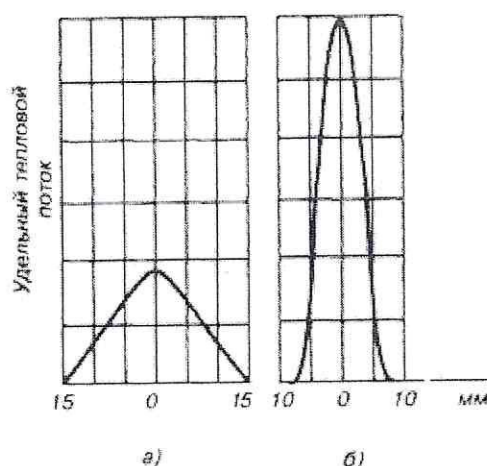


Рисунок. 2.2 Удельный тепловой поток при нагреве дугой: а - при сварке покрытым электродом, б - при сварке под слоем флюса

Полная тепловая мощность дуги Q (Дж/с) зависит от силы сварочного тока $I_{св}$ (А) и напряжения дуги U_d (В):

$$Q = I_{св} U_d. \quad (2.22)$$

При этом не вся теплота дуги затрачивается на расплавление металла, т.е. на собственно сварку. Большая часть этой теплоты затрачивается на теплоотдачу в окружающую среду, расплавление электродного покрытия или флюса, разбрызгивание и т.п. Полная тепловая мощность распределяется по отдельным статьям расхода - это называется тепловым балансом дуги (рисунок 2.2).

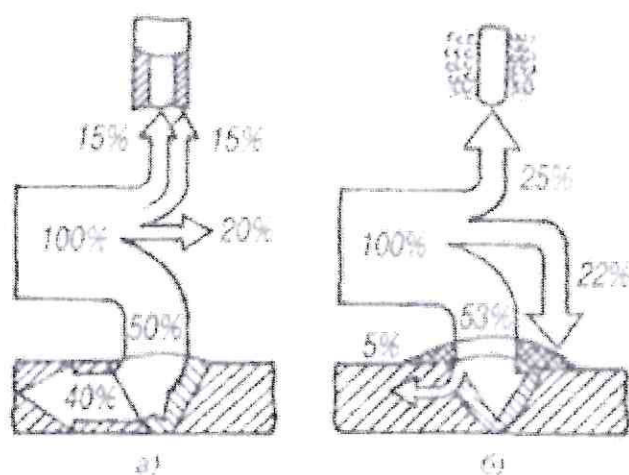


Рисунок. 2.2 Тепловой баланс при сварке: а - покрытыми электродами, б - подслоем флюса

Сварочный ток протекает по вылету электрода в результате чего на активном пятне, который расположен на его торце, происходит нагревание и плавление электрода.

Сферическую форму капли определяет сила натяжения поверхности. Электромагнитные силы играют важнейшую роль при переносе капель к сварочной ванне, при сварке швов в любом пространственном положении. Когда электрический ток проходит по электроду, то вокруг него создается магнитное поле, при этом возникает сжимающая сила. Сферические капли отделяются, и формируются при уменьшении сечения.

Под действием электромагнитной силы капли в сварочной ванне приобретают направленность движения. Также в переносе капли участвуют силы внутреннего давления разных газов.

При переносе электродного металла различают три типа: струйный, мелкокапельный, крупнокапельный и переносятся с образованием короткой замыкающей дуги.

Дуговая сварка имеет следующие параметры: сила сварочного тока $I_{св}$, напряжение дуги U_d , скорость сварки $V_{св}$. Факторы, влияющие на условия сварки: положение электрода по отношению к ванне, диаметра электрода, рода и полярности тока и др.

Длина сварочной ванны зависит от силы тока, когда сила тока возрастает, то возрастает и ширина, и глубина проплавления. Глубина проплавления сварочной ванны можно написать так:

$$H = k \cdot I_{св}, \quad (2.23)$$

где k - коэффициент, полярности, зависящий от рода тока, диаметра электрода, степени сжатия дуги и др.

Тепловая мощность зависит от напряжения дуги.

Погонная энергия является значительным параметром дуговой сварки. Он представляет собой отношение эффективной тепловой мощности дуги к скорости ее перемещения (скорости сварки). Этот параметр является обобщающим по отношению к основным параметрам сварочного режима и может быть представлен формулой:

$$q_n = \frac{I_{св} U_{дг} \eta}{v_{св}} \quad (2.24)$$

Количество тепловой энергии, которая вводится на единицу длины одностороннего шва, называется погонной энергией. При сварке основного металла и наплавленного металла шва, воздействие термического цикла можно оценить количеством тепловой энергии. При этом процесс увеличивается термической КПД, так как повышается скорость сварки. При этом уменьшается ширина сварочной ванны, а глубина проплавления увеличивается [7].

Далее рассмотрим сварку низкоуглеродистой стали, структуру сварного соединения и его термический цикл. На рисунке (рисунок 2.24) показано распределение максимальной температуры на шве, схематичная структура на различных зонах соединения, изменение свойств металла и температуры (термические циклы) в этих зонах [7].

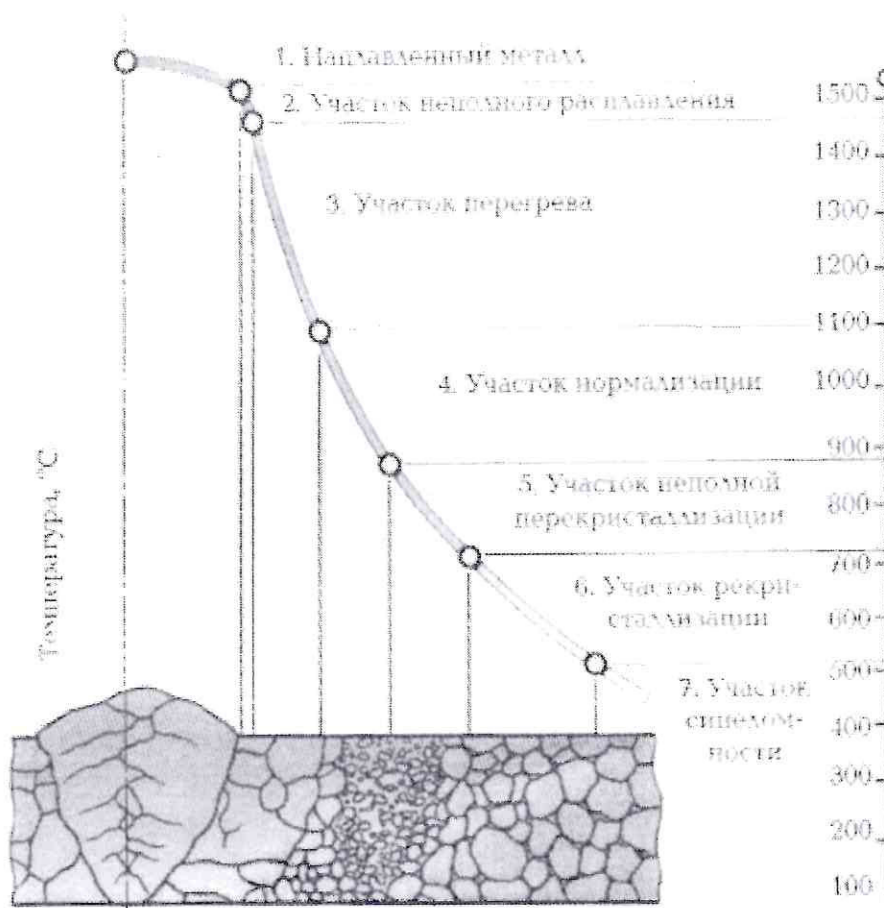


Рисунок. 2.4-Термический цикл сварного соединения низкоуглеродистой стали при однопроходной сварке

Все металлы состоят из зерен, они очень мелкие. При изломе можно увидеть эти зерна. Эгоструктурой называют количество всех зерен металла.

На участке 1 расплавленный металл в процессе затвердевания, образует сварной шов, который имеет литую структуру из столбчатых кристаллов. На пластичность и прочность металла влияет неблагоприятная грубая столбчатая структура металла. При нагревании металла в пределах 1530°C , образуются несколько структурных участков, которые различаются строением зерна и формой. Ширина участка 1 составляет примерно половину ширины шва.

Участок неполного расплавления 2 — является переходным, так как происходит наплавление металла к основному. На этом участке происходит образование соединения и проходит граница сплавления, он представляет

собой очень узкую область (0,1—0,4 мм) основного металла, нагретого до частичного оплавления зерен. В этом участке рост зерен увеличивается, наблюдается скопление примесей. Пластичность и прочность этого участка является самым слабым. Температура участка составляет 1530- 1470 °С.

Участок перегрева 3 — область основного металла, на этом участке металл нагревается до температуры 1470 — 1100 °С, при этом металл будет овладеть крупнозернистой структурой, а пластичность и ударной вязкость будет самым низким. Чем эти свойства ниже, тем крупнее зерна и шире зона перегрева. Ширина участка 3 составляет 3 — 4 мм.

Участок нормализации 4 — на данном участке, температура нагретого металла составляет 880 до 1100 °С. При этом 4 механические свойства будут самыми высокими, так как мелкозернистая структура образуется при нагреве и охлаждении. Так же металл перекристаллизуется без перегрева. Ширина участка 4 составляет 0,2 — 0,4 мм.

Участок неполной перекристаллизации 5 — металл нагревается до температур 720 — 880 °С. При недостаточной времени и температуры нагрева перекристаллизация будет неполным. Структура этого участка характеризуется смесью мелких перекристаллизовавшихся зерен и крупных зерен, которые не успели перекристаллизироваться. На этом участке механические свойства имеют более низкие показатели, чем металл предыдущего участка. Ширина его составляет 0,1—3 мм[13] .

Участок рекристаллизации 6 - металл нагревается в пределах от 510 до 720 °С. Если сталь, перед сваркой испытала холодную деформацию (прокатку, ковку, штамповку), то на этом участке развиваются процессы рекристаллизации, приводящие к росту зерна, огрублению структуры и, как следствие, к разупрочнению. Ширина участка 6 составляет 0,1 — 1,5 мм.

Участок 7 - на этом участке металл нагревается в пределах 200 — 510 °С. Здесь зона термического влияния переходит к основному металлу. Из-за выпадения нитридов и карбидов железа протекает процесс старения, в связи с чем механические свойства металла этой зоны понижаются.

Ширина зоны термического влияния зависит от толщины металла, вида и режимов сварки. При ручной дуговой сварке она составляет обычно 5 — 6 мм, при сварке под флюсом средних толщин — около 10 мм, при газовой сварке — до 25 мм [39].

3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТОВ

3.1 Программа экспериментальных исследований

Цель: оптимизация технологического процесса упрочнения вибродуговой наплавкой комплексных металлокерамических материалов деталей почвообрабатывающей техники, обеспечивающего повышение ресурса в 2-3 раза по сравнению с новыми и их самозатачивание в процессе работы.

В соответствии с поставленными задачами при выполнении работы проводились экспериментальные исследования с целью проверки достоверности теоретических предпосылок и установления характера влияния факторов на процесс упрочнения.

В программу экспериментальных исследований были включены: следующие вопросы:

- провести микрометраж партии изношенных рабочих органов для определения теоретического закона распределения износа.
- провести измерение твердости поверхности рабочих органов.
- провести экспериментальные исследования по определению толщины и физико-механических свойств металлокерамических покрытий, полученных при ВДУ на пастах различного состава;
- провести сравнительные испытания на изнашивание, а также эксплуатационные испытания неупрочнённых серийных и упрочнённых ВДУ рабочих органов почвообрабатывающих орудий;
- разработать технологический процесс ВДУ режущих поверхностей рабочих органов почвообрабатывающих орудий и определить экономическую эффективность от его внедрения в производство.

Объектом исследования являются культиваторные лапы почвообрабатывающих орудий (на примере культиватора КПС-4), лемеха и полевые доски плугов, а также технология их упрочнения.

3.2 Методика экспериментов

3. 2.1 Оборудование для вибродугового упрочнения

Комплект ВДГУ-2 (рисунок 3.1 и 3.2) предназначен для упрочнения дисков, лап культиваторов, лемехов, деталей работающих в условиях абразивного износа. В состав установки входит инверторный источник тока «Мастер- 162».

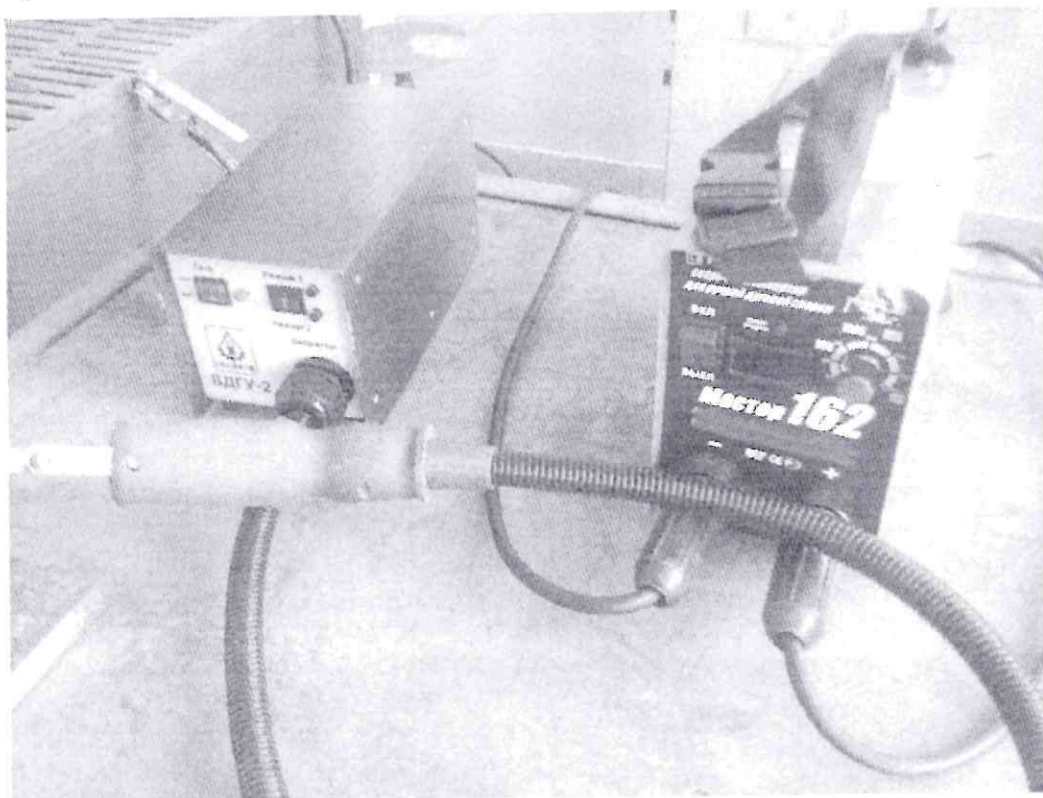


Рисунок 3.1-Комплект ВДГУ-2.

Подготовить заготовку к обработке.

1. Очистить заготовку от загрязнений, видимых невооруженным взглядом.
2. Очистить заготовку от ржавчины шлифовальной шкуркой или в камере струйно-абразивной обработкой.
3. Надёжно заземлить заготовку.

4. Нанести пасту МКП на упрочняемую поверхность.

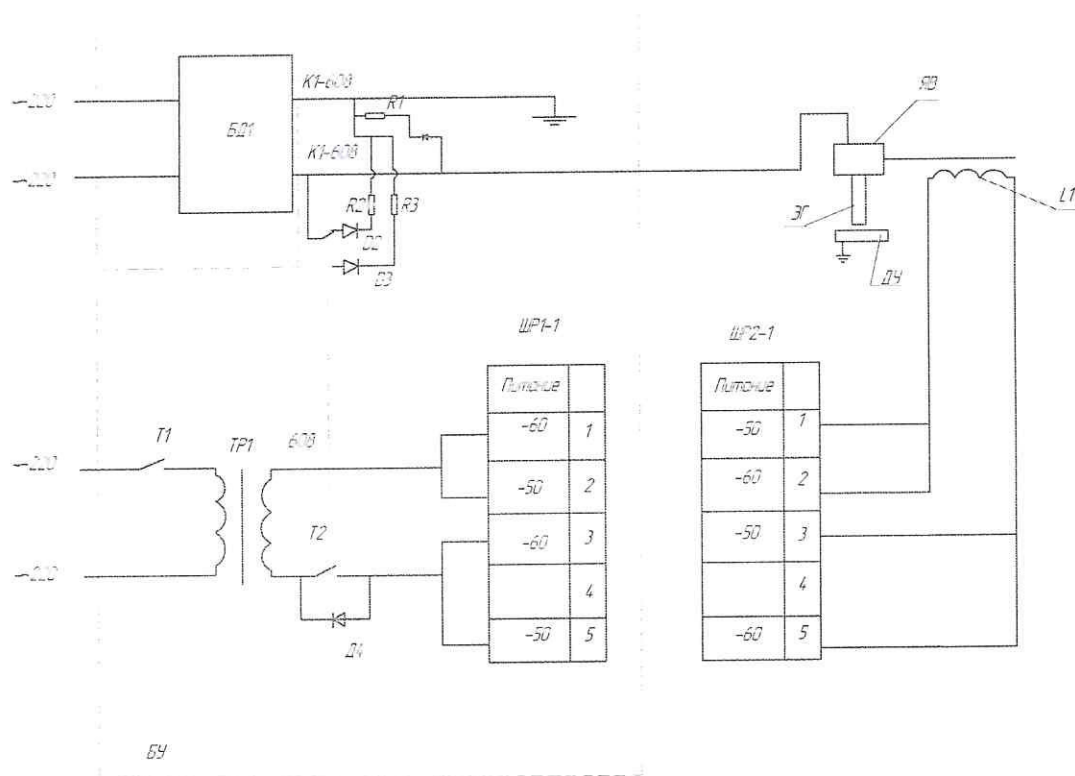


Рисунок 3.2 - Схема ВДГУ-2.

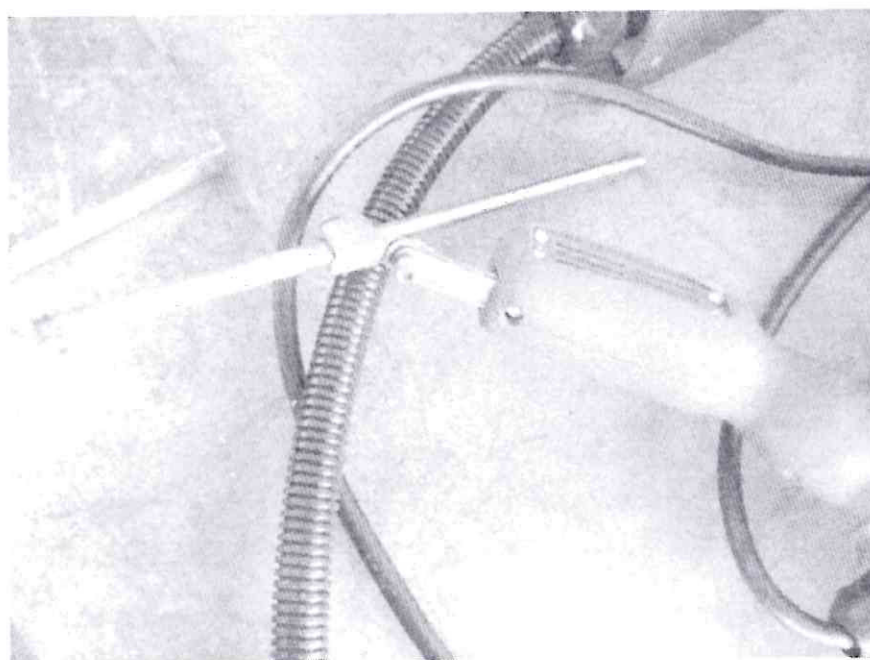


Рисунок 3.3 -Графитовый электрод.

Таблица 3.1- Основные технические характеристики

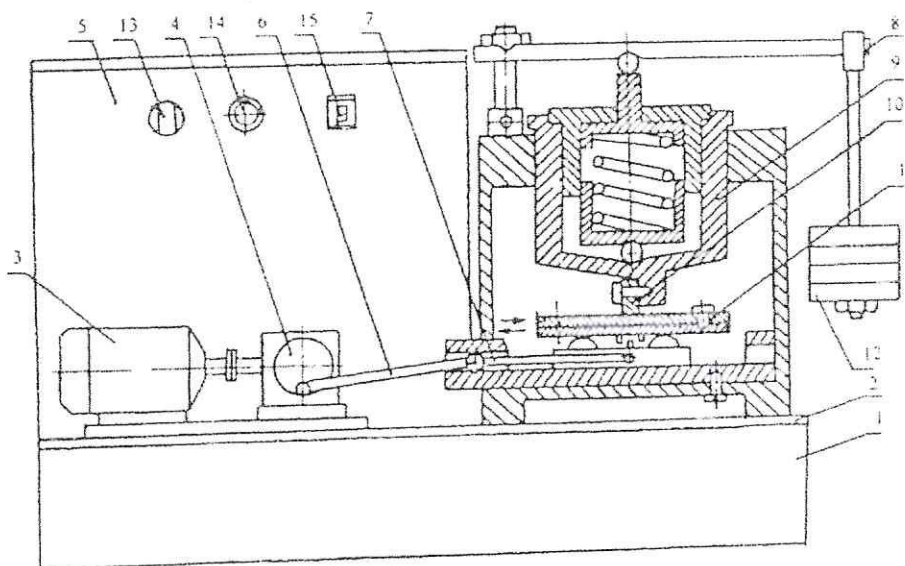
1	Тип оборудования	Переносной
2	Напряжение питающей сети, В	220
3	Номинальная частота, Гц	50
4	Рабочий ток, А	60-180
5	Напряжение холостого хода не более, В	60
6	Потребляемая мощность не более, В	5
7	Ток защиты по первичной сети, А	40
8	Ток холостого хода, А	1,6
9	Температура срабатывания термозащиты °С	83
10	Габаритные размеры установки, мм	290x132x375
11	Длина проводов питания, м	1,8
12	Масса установка, кг	9,5

Подготовить установку к работе.

1. Установить графитовый электрод в оправку вибратора. Условия и порядок проведения экспериментов
2. Для избежание поломки оборудования, при включении установки вибратор должен находиться в руке оператора.
3. Произвести включение установки клавишным переключателем Т1.

При этом должен загореться зелёный светодиод. Выбор режима осуществляется переключением клавишного переключателя Т2. При загорании синего светодиода частота вибрации электрододержателя составляет 100 Гц, при загорании красного – 50Гц.

Износостойкость в лабораторных условиях определяли на машине трения 77МТ-1 (рисунок 3.4).



1-основание; 2-станина; 3-двигатель постоянного тока; 4-редуктор; 5-панель управления; 6-шатун; 7-ползун; 8-рычаг; 9-стакан; 10-истираемый (испытываемый) образец; 11-подвижная тарелка (нижний образец); 12-навеска с гирями; 13-регулятор скорости движения подвижной тарелки; 14-индикатор напряжения сети; 15-сетевой выключатель

Рисунок 3.4 -Схема машины трения 77МТ-1

3.2.2 Технология упрочнения рабочих органов СХМ

Марка стали дисков, лап культиваторов и лемехов – Ст.65Г.

- Диаметр графитовых электродов – 10 мм.
- Величина тока – 80, 110, 140 А.
- Нанесение НМКП без закалки.
- Толщина нанометаллокерамических паст – 2,0-2,2мм, длина 30мм, ширина определяется шириной рабочего лезвия.

- Рабочие носки лемехов и лап культиваторов наплавлять в 2 слоя;

Порядок изготовления композитов из нанометаллокерамических порошков (НМКП):

1. Изготовление нанопорошков каждого наименования выполняется отдельно друг от друга ;

2. Составление из нанопорошков композитов.

Составы металлокерамических порошков (связующее клей поливинилацетатный (ПВА):

состав 1: матрица (порошок ПГ-10Н-01) 60%, керамический компонент – 30%, графит – 10%.

состав 2: матрица(порошок ПГ-10Н-01) 50%, керамический компонент – 30%, графит – 20%.

состав 3: матрица (порошок ПГ-10Н-01) 40%, керамический компонент – 30%, графит – 30%.

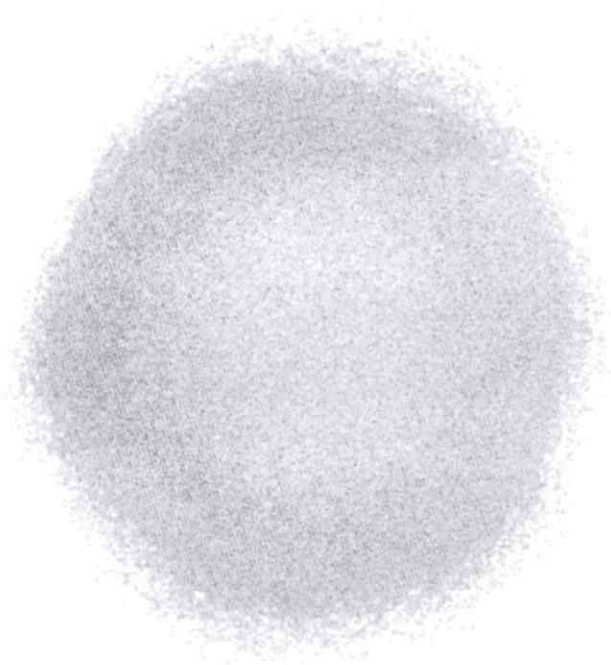


Рисунок 3.5 -Матричный порошок (порошок ПГ-10Н-01)

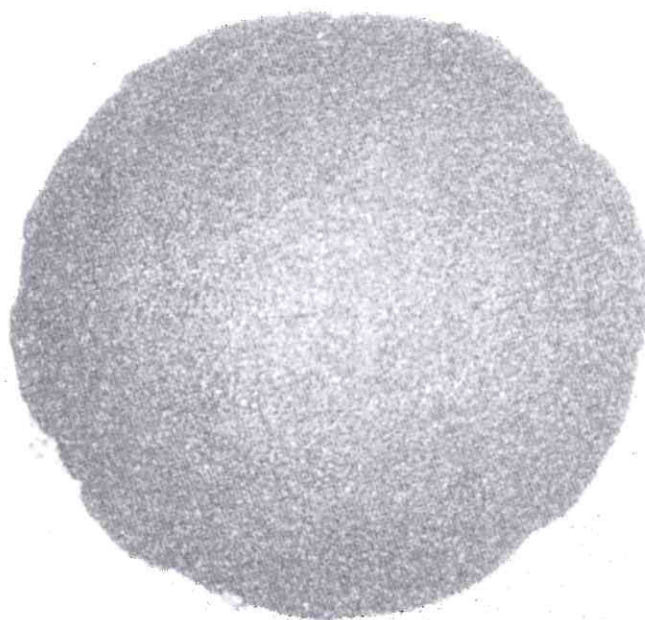


Рисунок 3.6 - Состав 2: матрица (порошок ПГ-10Н-01)-50%, керамический компонент (В4С)– 30%, графит – 20%.

3. Изготовление пасты из композитов НМКП по с добавлением связки – 50 процентного водного раствора клея ПВА;

4. Высушивание до затвердевания;

6. Наплавка деталей косвенной дугой графитовыми электродами с использованием оборудования.

3. Взвесели массу каждого порошка на приборе AND HR – 200 .

4. В качестве связующего вещество взяли жидкое стекло.

5. В металлической таре смешали все компоненты.

6. После изготовления, пасту наносим на лезвийную часть слоем 4,0...5,0 мм.

Лабораторные исследования проводили на образцах из стали 65Г изготовленных из рабочих органов (рис.3.7).

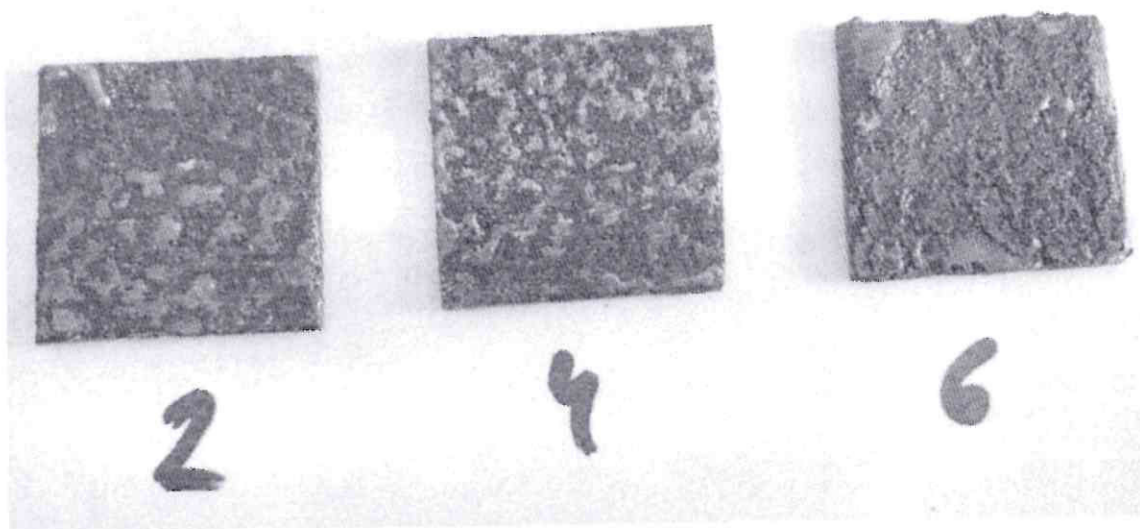


Рисунок 3.7- Упрочненные образцы из стали 65Г

Производственные испытания проводили на лапах культиватора КПС-4 (рис. 3.8).

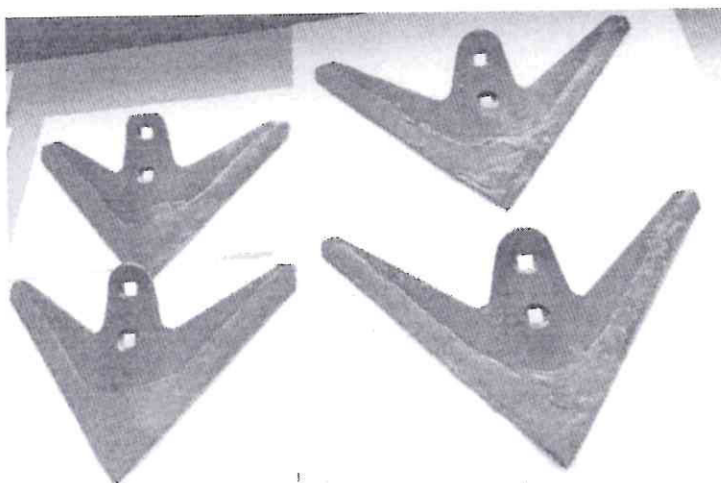


Рисунок 3.8 Нанесение пасты на лапы.

7. Высушиваем лапы до затвердевания;
8. После сушки упрочняем лапы прибором ВДГУ-2.

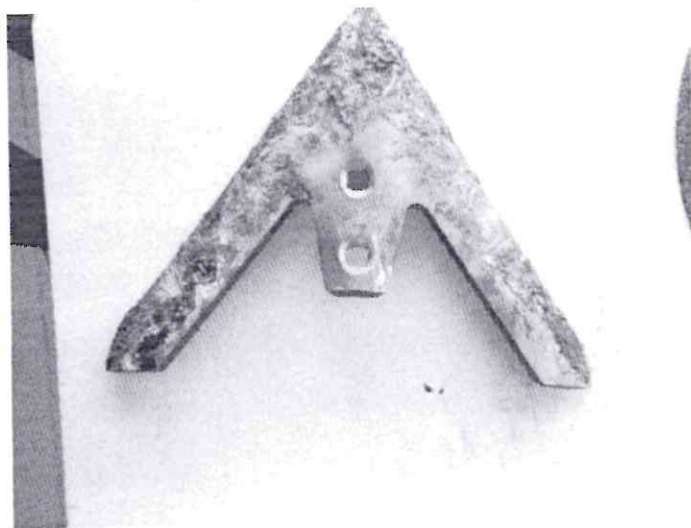


Рисунок 3.9 – Упрочненная лапа

3.2.3 Методика определения твердости поверхностного слоя

Различают микротвердость и макротвердость. Они отличаются величиной нагрузки, действующей на наконечник прибора. Макротвердость определяется при нагрузке свыше 49 Н (5 кг), а микротвердость, определяется при нагрузке от $0,049\text{ Н}$ (5 Г) до $4,9\text{ Н}$ (500 Г). Между ними есть промежуточная область – микротвердость при маленьких нагрузках, но в настоящее время очень редко используются.

Макротвердость используется для характеристики средней твердости образца, потому что при испытании деформируемый объем образца значительно больше отдельных структурных составляющих образца.

При определении микротвердости размер отпечатка получается настолько малым, что позволяет определять твердость структурных составляющих образца или отдельных зерен. Поэтому испытания на микротвердость является важным процессом физико-химического анализа материалов [6].

Твердость поверхности определяли с помощью переносного твердомера ТКМ-459С. Прибор ТКМ-459С (рисунок 3.10) предназначен для оперативного измерения твердости металлов и металлических изделий (в т. ч.

поверхностно-упрочненных слоев - цементация, азотирование, закалка ТВЧ и др.).

Измерения твердомером производятся в основных единицах твердости HRC, HB, HV. Так же возможен контроль по шкалам HRA, HRB, HSD и пределу прочности (МПа, пересчет по ГОСТ 22791-77). Предусмотрена возможность программирования пользователем собственных шкал.

Ультразвуковой твердомер ТКМ-459С выполняет неразрушающий контроль качества продукции в различных отраслях промышленности: металлургической, машиностроительной, авиастроительной, судостроительной, атомной, нефте-газовой и других отраслях.

Особенности твердомера ТКМ-459С:

Ударопрочный, прорезиненный, пыле-влагозащищенный корпус.

- Интуитивный интерфейс соответствует мировым стандартам вычислительной техники и организован по принципу «ВКЛЮЧИ И РАБОТАЙ».
- Яркий цветной графический дисплей функционирует даже при отрицательных температурах, позволяет четко видеть показания при любом освещении.
- Уникальная система статистической обработки.
- Гибкая организация памяти для записи результатов измерений и последующего анализа.
- Оперативная корректировка показаний прибора по одной или 2-м образцовым мерам твердости.
- Программирование:

- дополнительных калибровок к шкалам твердомера с использованием не более чем 2-х контрольных образцов;
- дополнительных шкал с использованием от 2-х до 10-ти контрольных образцов.



Рисунок 3.10 – Общий вид твердомера ТКМ-459С

Преимущества ультразвукового твердомера ТКМ-459С в эксплуатации:

Стабильные показания вне зависимости от усилия и времени прижатия датчика к контролируемой поверхности.

- Измерение твердости в труднодоступных местах - пространственное положение датчика не влияет на результат измерения.
- Сверхмалая площадь зоны контроля - от 1 мм.
- Контроль в пазах и глухих отверстиях - от 5 мм.
- Практически незаметный отпечаток на «зеркальных» поверхностях.
- Малая чувствительность к кривизне поверхности, толщине и массе изделия.
- Предусмотрено оповещение о выходе результата измерения за установленные пределы.

Твердость обычно определяют при помощи отечественного прибора ТК-2М, рисунок 3.11.



Рисунок 3.11- Твердомер ТК-2М

Перед началом испытания приготовленный образец ставим на столик прибора ТК-2М так, чтобы образец был строго перпендикулярен к направлению перемещения алмазного конуса при вдавливании.

Порядок выполнения работы

1. Проверяем соответствие образцов требованиям.
2. По таблице 3.3 выбираем шкалу, нагрузку и вид наконечника.
3. Включаем прибор тумблером 8, при этом сигнальная лампочка 7 загореться.
4. Проверяем правильность масса груза выбранному наконечнику и шкале, по которой предполагается проводить измерение .
5. Взятой образец надо установить на столик 2 прибора
6. Вращением рукояток маховика 3 образец соприкасается с наконечником, после соприкосновения производим предварительное нагружение. При этом малая стрелка должна совпасть с красной точкой на циферблате, а большая – принять вертикальное положение.

7. С нажатием на клавишу 5 включаем привод механизма нагружение.

8. После окончания цикла нагружение отсчитаем твердость повыбранной шкале индикатора .

9. Опускаем предметный столик вращением маховика 3 против часовой стрелки, и снять образец .

Для каждого образца проводим не менее трех испытаний.

Определяем среднее число твердости.

Твердость по Роквеллу HRC вычисляют так:

$$HR = \frac{k - (h - h_0)}{c}, \quad (3.7)$$

где h_0 – глубина вдавливания наконечника под действием предварительной нагрузки, мм;

h – глубина вдавливания наконечника под действием общей нагрузки, мм;

k – постоянная величина, равная 0,26 мм для шарика и 0,2 мм для алмазного конуса;

c – цена деления шкалы индикаторного прибора, соответствующая внедрению наконечника на 0,002 мм.

Также испытания проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 9450-76 на приборе ПМТ-3 при нагрузке на индентор 0,98 Н. Перед измерениями поверхность шлифа тщательно полировали и обезжиривали. Расстояние от края образца и между соседними отпечатками составляло не менее двух длин диагоналей большего отпечатка[4].

Значение микротвердости вычисляли по формуле:

$$HV = 1,854 * P / d^2, \quad (3.6)$$

где HV – твердость;

P - номинальная нагрузка (в течение 10...15с) к алмазному наконечнику (четырёхгранная пирамида с квадратным основанием), Па;

d - среднеарифметическое значение длин обеих диагоналей отпечатка, измеренная с помощью фотоэлектрического окулярного микрометра
ФОМ -2-16, мм.

Количество шлифов готовили из расчета по 3 штуки на каждый эксперимент. На каждом шлифе повторность замеров трехкратная, после чего выводилось ее среднее арифметическое значение. Затем по полученным данным строили графики $HV=f(h)$, где h - расстояние от края образца (мм).

3.2.4 Методика полевых ресурсных испытаний

Полевые испытания стрельчатых лап культиваторов проводились в предприятиях АПК Балтасинского района Республики Татарстан на КПС-4, агрегатированным с трактором МТЗ-1221. При постановке на культиватор упрочненные лапы чередовались с серийными (рис. 3.12).

Испытания лап проводились на подготовке почвы для посева зерновых, яровых и технических культур; при обработке средне- и тяжелосуглинистые почв на глубину 8...12 см. Влажность почвы за период испытаний менялась в пределах 13...28%, твердость – от 0,3 до 0,8 МПа.

Скорость движения агрегата составляла в среднем 9,5 км/ч.

В период проведения полевых испытаний периодически осматривали, и проводили оценку их технического состояния по всем критериям выбраковки.

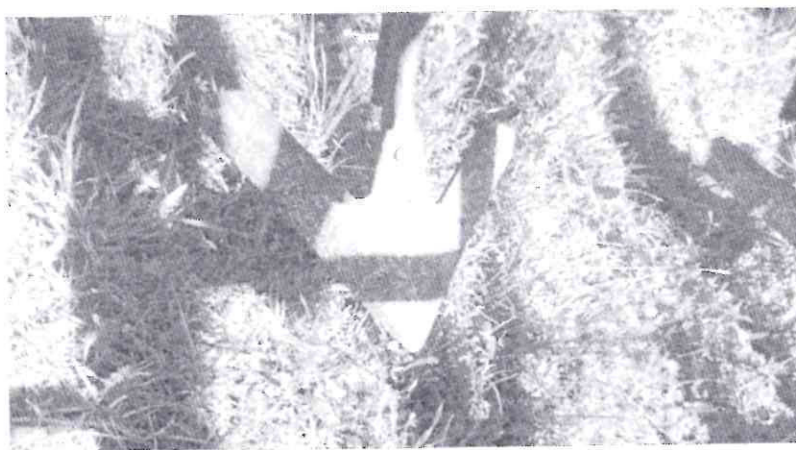


Рисунок 3.12 - Агрегат КПС-4

После снятия, измерили величины износа лап (рисунок 3.13).

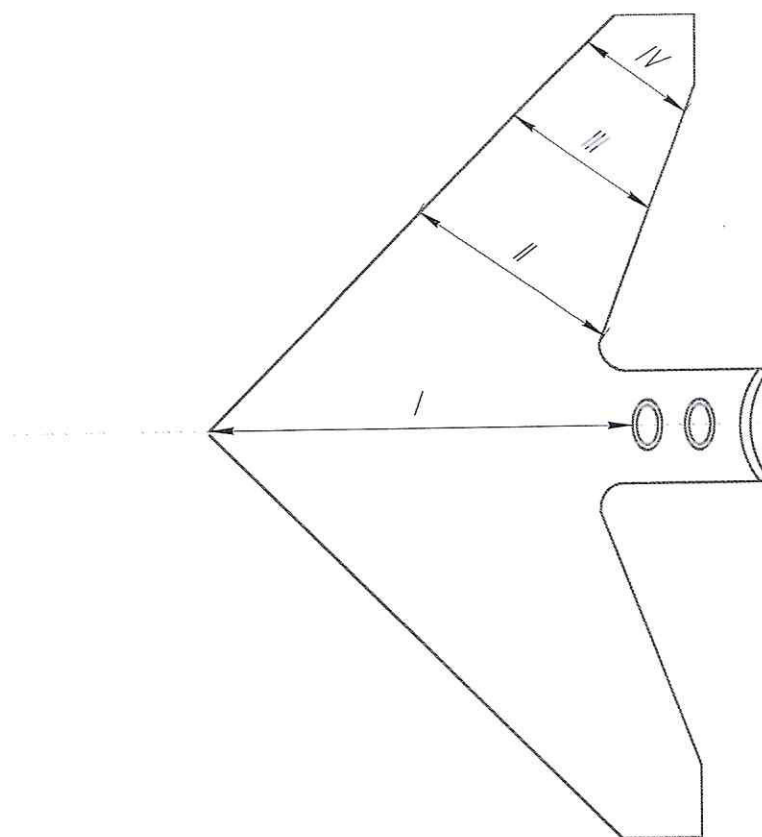


Рисунок 3.13 – Измерение износа лапы.

3.2.5 Методика обработки результатов и точность измерений

Данные микрометража и других измерений обрабатывались методами математической статистики [23]. Чтобы определить закон распределения его параметров, статистический ряд разделялся на интервалы и был представлен в виде графика. Параметры закона распределения определялись по следующим формулам:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (\bar{x}_i - M)^2 \times n_i}{n}}, \quad (3.7)$$

где σ - среднеквадратичное отклонение;

$\bar{x}_i$ - среднее значение интервала;

n_i - число вариантов в интервале;

n - общее число вариантов в ряду;

M - среднеарифметическое значение ряда;

k - число интервалов.

Математическое ожидание определялось из выражения:

$$m = \frac{\sum_{i=1}^k x_i n_i}{n}, \quad (3.8)$$

где m - математическое ожидание.

Проверка соответствия выбранного закона статистическому распределению проводилась по критерию Пирсона:

$$\chi^2 = \sum \frac{(m_i - n * p_i)^2}{n * p_i}, \quad (3.9)$$

где p_i - теоретическая вероятность попадания случайной величины в интервал;

m_i - число значений в интервале.

Точность замеров оценивали по коэффициенту вариации и по наибольшей возможной ошибке. Коэффициент вариации определяли по следующей формуле [23]:

$$V = \frac{\sigma}{M}, \quad (3.10)$$

где V - коэффициент вариации;

σ - среднеквадратичное отклонение;

M - среднеарифметическое значение ряда.

Наибольшая возможная ошибка определялась из следующего выражения [23]:

$$\Delta n(M) = 3\sigma \quad (3.11)$$

Установление брака измерений, повторность опытов и количество замеров для получения достоверных данных определяли по методике Г.В.Веденяпина [23] в зависимости от ошибки опыта выраженной в долях от

среднеквадратичного отклонения и заданной надежности. Браком измерения считается наличие отклонения превышающего по своему значению 3σ . Такие измерения при дальнейших расчетах не учитывались. При заданной надежности 0,95% и наибольшей ошибке опыта равной 3σ необходима трехкратная повторность опытов.

Погрешность измерения окружной скорости вращения хонголовки определяется по формуле:

$$\frac{\Delta V_{ок}}{V_{ок}} = \pm \left[\frac{\Delta D}{D} + \frac{\Delta n_1}{n_1} \right], \quad (3.12)$$

где $\frac{\Delta D}{D}$ - погрешность измерения диаметра 0,5...1%;

$\frac{\Delta n_1}{n_1}$ - погрешность измерения частоты вращения инструмента,

1...2%.

Общая погрешность измерения не превышает 3%.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

4.1 Результаты микрометража лемехов

Для установления закономерностей изменения размеров лемехов нами был проведен микрометраж партии из 81 лемеха на предприятиях АПК Балтасинского района РТ.

В результате измерений ширины лемеха мы получили следующие данные с помощью штангенциркуля :82,1; 84,2; 85,1; 85,4; 86,2; 87,1; 88,6; 89,2; 90,1; 90,3; 91,5; 92,3; 93,7; 93,9; 94,1; 94,4; 94,7; 94,8; 95,1; 95,2; 95,7; 96,1; 96,3; 97,1; 97,4; 97,8; 97,9; 98,1; 98,3; 98,5; 99,3; 99,4; 99,7; 99,9; 100,1; 100,2; 100,4; 100,6; 100,8; 101,2; 101,3; 101,9; 102,3; 102,5; 102,6; 102,7; 103,1; 103,4; 104,1; 104,2; 104,4; 104,6; 104,7; 104,9; 105,2; 105,4; 105,5; 106,1; 106,3; 106,6; 106,8; 106,9; 107,4; 107,7; 108,2; 108,3; 108,4; 109,1; 109,2; 109,5; 109,6; 110,5; 110,9; 111,2; 111,3; 112,5; 113,6; 114,1; 114,5; 116,6. Всего 81 значение.

Поскольку этот простой статистический ряд представлен в порядке возрастания, зону рассеивания определить не составит труда:

$$S = 116,2 - 82,1 = 34_{\text{мм.}}$$

Определим число разрядов по следующей формуле:

$$K = \sqrt{81} = 9$$

Определяем длину разряда по формуле:

$$\ell = \frac{34}{9} = 3,7_{\text{мм.}}$$

Принимаем $a_1 = c = 81$ и $b_k = 117$, тем самым расширяя зону рассеивания, но не более чем на $\ell/2$ в ту и другую сторону.

Значение b_k берем равным $t_{\max}$ или несколько большим, а значение a_1 берем равным $t_{\min}$ или несколько меньшим. Это делается для того, чтобы длина разряда получилась целым и круглым числом, что облегчает дальнейшие расчеты.

Тогда:

$$S = \sigma_k - a_1 = 117 - 81 = 36_{\text{мм.}}$$

$$a \ell = 36/9 = 4_{\text{мм.}}$$

Теперь имеются все необходимые данные для построения статического ряда.

Таблица 4.1 – Статический ряд

i	a_i	b_i	t_i	ℓ_i	m_i	$\frac{m_i}{n}$	$\hat{f}_i \cdot 10^{-3}$	$\hat{F}_i$
1	75	80	77,5	4	2	0,024	6,0	0,025
2	80	85	82,5	4	2	0,024	6,0	0,049
3	85	90	87,5	4	6	0,078	19,5	0,124
4	90	95	92,5	4	8	0,098	24,5	0,222
5	95	100	97,5	4	17	0,209	52,2	0,432
6	100	105	102,5	4	20	0,246	61,5	0,679
7	105	110	107,5	4	17	0,209	52,5	0,888
8	110	115	112,5	4	8	0,098	24,5	0,987
9	115	120	117,5	4	1	0,014	19,5	1
					$\sum 81$	$\sum 1$		

На основании таблицы 4.1 построим статистическую функцию распределения $\hat{F}_i$ и гистограмму $\hat{f}_i$

При наличии статистического ряда оценку математического ожидания и среднеквадратического отклонения производят по формулам (3.9 и 3.10)

Расчеты удобнее вести в виде таблицы 4.2.

Таблица 4.2 - К расчету $\hat{m}$ и $\hat{\sigma}$.

i	t_i	m_i	$t_i \cdot m_i$	$(t_i - \hat{m})^2 \cdot m_i$
1	2	3	4	5
1.	77,5	2	155	1054,5
2.	82,5	2	165	645,12
3.	87,5	6	525	1007,76
4.	92,5	8	740	506,89
5.	97,5	17	1657,5	148,94
6.	102,5	20	2050	82,98
7.	107,5	17	1827,5	841,8
8.	112,5	8	900	1159,11
9.	117,5	1	117,5	290,25
			$\sum 8137,5$	$\sum 5737,35$

Тогда

$$\hat{m} = \frac{8137.5}{81} = 100,15 \text{ мм};$$

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{80} \cdot 5737,35} = 8,46 \text{ мм}$$

Относительный разброс характеризуется коэффициентом вариаций V : [14]

$$V = \frac{8,46}{100,46 - 81} = 0,43.$$

Принимаем $m = 100\text{ч}$, $\sigma = 9\text{ч}$, $V = 0,4$.

Принимая во внимание форму гистограммы и величину коэффициента вариации, выдвигаем гипотезу о подчинении данной случайной величины закону нормального распределения с параметрами $m = 100\text{ч}$, $\sigma = 9\text{ч}$.

Плотность распределения предполагаемого закона выражается формулой:

$$\varphi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{1}{2}t'^2} dt', \quad (4.1)$$

Тогда

$$f(t) = \frac{1}{9\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-100)^2}{2 \cdot 9^2}}, \quad (4.2)$$

Для построения теоретических графиков $f(t)$ и $F(t)$ заполним таблицу 4.3.

Таблица 4.3 – К расчету $f(t)$ и $F(t)$.

$t=a_i \cdot b_i$	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$(t-m)/\sigma$	-2,77	-2,22	-1,66	-1,11	-0,55	0	0,55	1,11	1,66	2,22
$(t-m)^2/h\sigma^2$	3,858	2,46	1,38	0,617	0,154	0	0,154	0,617	1,38	2,46
$f(t) \cdot 10^{-3}$	0,935	3,75	11,05	23,09	37,9	44,3	37,9	23,9	11,05	3,75
$F(t)$	0,003	0,013	0,048	0,133	0,291	0,5	0,709	0,867	0,952	0,987

$$\text{Здесь } F(t) = \phi\left(\frac{t-m}{\sigma}\right) = \phi(x), \quad (4.3)$$

В свою очередь, $\phi(x)$ - нормированная функция распределения, значения которой приводятся в литературе, например [14].

Теоретические графики $f(t)$ и $F(t)$ для сравнения совместим со статическими графиками $\hat{f}_i$ и $\hat{F}_i$.

Теперь остается лишь проверить соответствует ли теоретическим закон статистическим данным. Для этого определим меру расхождения χ^2 .

Расчеты сведем в таблицу 4.4.

Таблица 4.4 – К расчету χ^2

i	m_i	q_i	$n \cdot q_i$	$\frac{(m_i \cdot nq_i)^2}{nq_i}$	$\sum \frac{(m_i - q_i)^2}{nq_i}$
1	2	3	4	5	6
1	2	0,01	0,81	1,748	1,748
2	2	0,035	2,835	0,245	1,993
3	6	0,085	6,885	0,1137	2,1067
4	8	0,158	12,798	1,798	3,9
5	17	0,209	16,929	0,00029	3,90499
6	20	0,209	16,929	0,557	4,461
7	17	0,158	12,798	1,379	5,84
8	8	0,085	6,885	0,18	6,02
9	1	0,035	2,835	1,1877	7,208
				$\sum 7,208$	

Значения q_i найдены в соответствии с формулой:

$$q_i = F(b_i) - F(a_i) \quad (4.4)$$

и данными таблицы определим число степеней свободы по формуле:

$$r = K - (\psi + 1), \quad (4.5)$$

где K – число разрядов статистического ряда;

Ψ – число параметров принятого закона распределения;

ψ – число степеней свободы.

Тогда $r = 9 - (2 + 1) = 6$.

Пользуясь таблицей 1П приложения [14], находим что $P \approx 0,16$. Поскольку $P > 0,1$, заключаем, что принятый теоретический закон нормального распределения (с параметрами $m = 100$ ч, $\sigma = 9$ ч.) не противоречит статистическим данным.

Определим процент лемехов, подлежащих восстановлению методом приварки лезвия с последующей наплавкой твердого сплава и заточкой. Максимально допустимый размер лемеха по ширине, при котором еще возможно восстановление 90 мм.

Максимально допустимый износ лемеха при этом составит:

$$h_{max} = B_n - B_{min} \text{ мм}, \quad (4.6)$$

где D_n – номинальный размер лемеха, мм.

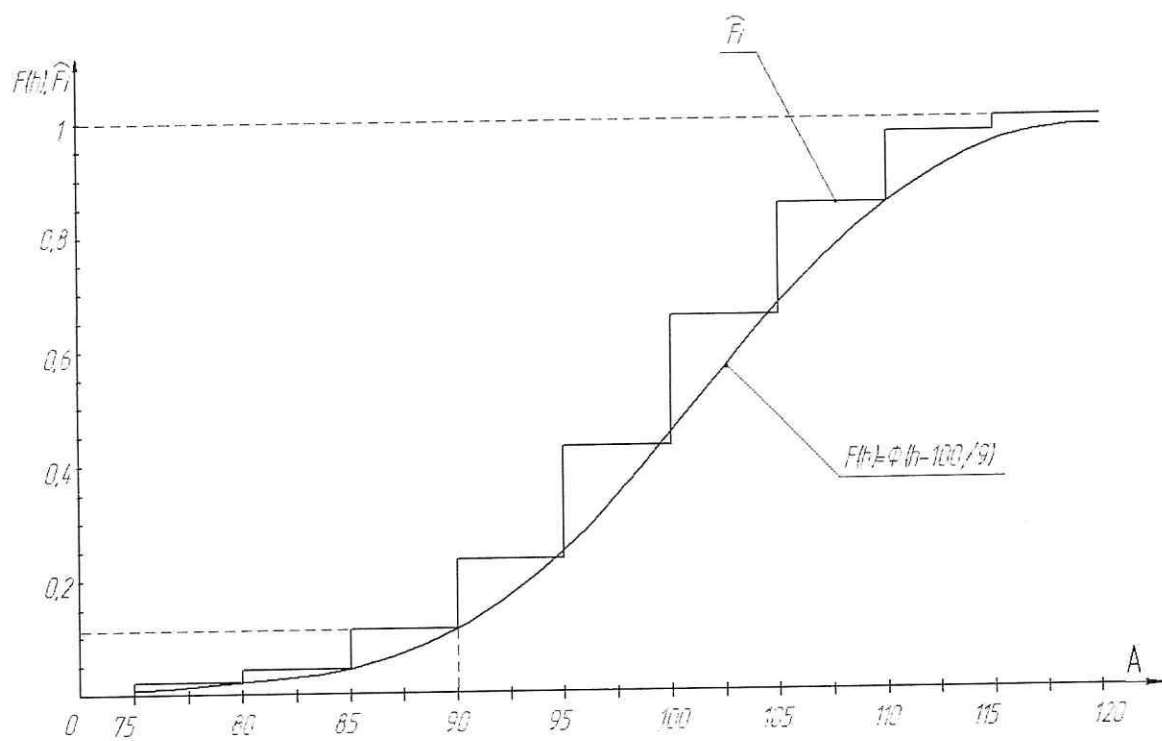
Вероятность того, что величина износа не превысит значения h_{max} , и есть не что иное, как доля лемехов, не подлежащих восстановлению:

$$P(h < h_{max}) = F(h_{max}) = \Phi\left(\frac{h - m}{\sigma}\right) = \Phi(x), \quad (4.7)$$

В нашем случае доля лемехов, не подлежащих восстановлению:

$$F(90) = \Phi\left(\frac{90 - 100}{9}\right) = 0,127.$$

Зная, что предельный размер лемеха по ширине для восстановления приваркой лезвия составляет 90 мм и подставляя это значение в формулу (2) получим, что 87,3% лемехов имеют ширину более 90мм, а, следовательно, могут быть восстановлены.



a)

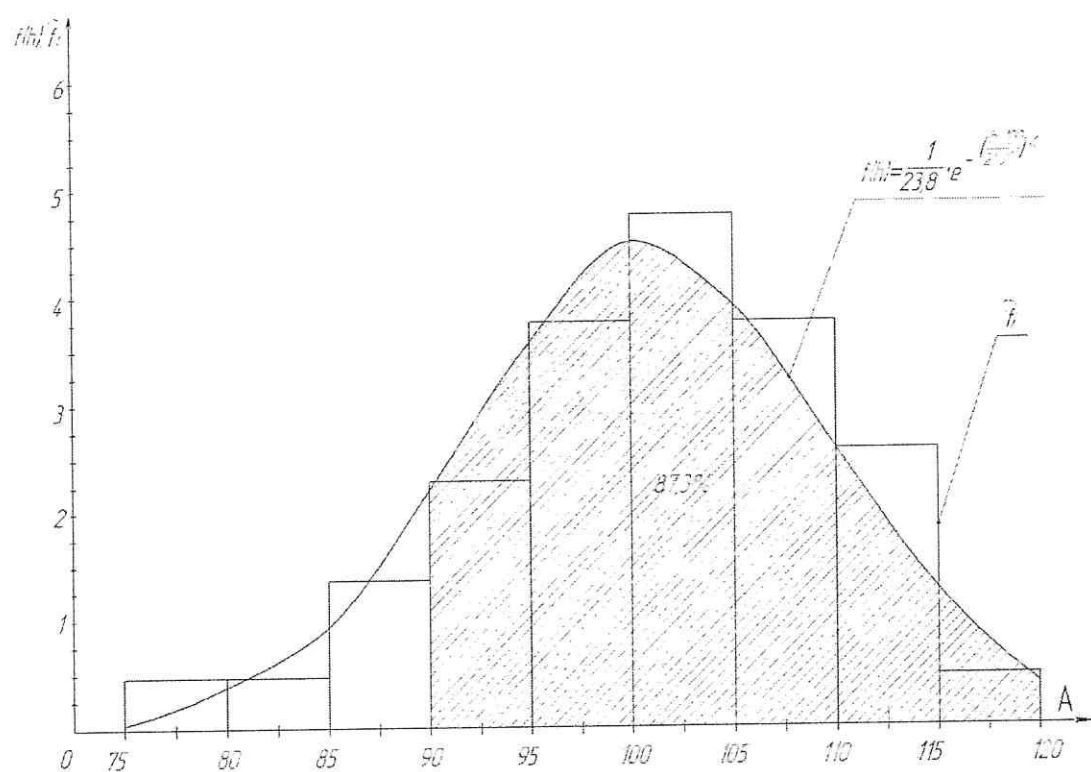


Рисунок 4.1 – Закономерности изнашивания лемехов

4.2 Результаты исследование твердости

Перед упрочнением были проведены опыты по определению твердости поверхности серийных рабочих органов СХМ. На рисунке 4.2 представлены серийные новая и изношенная полевые доски.

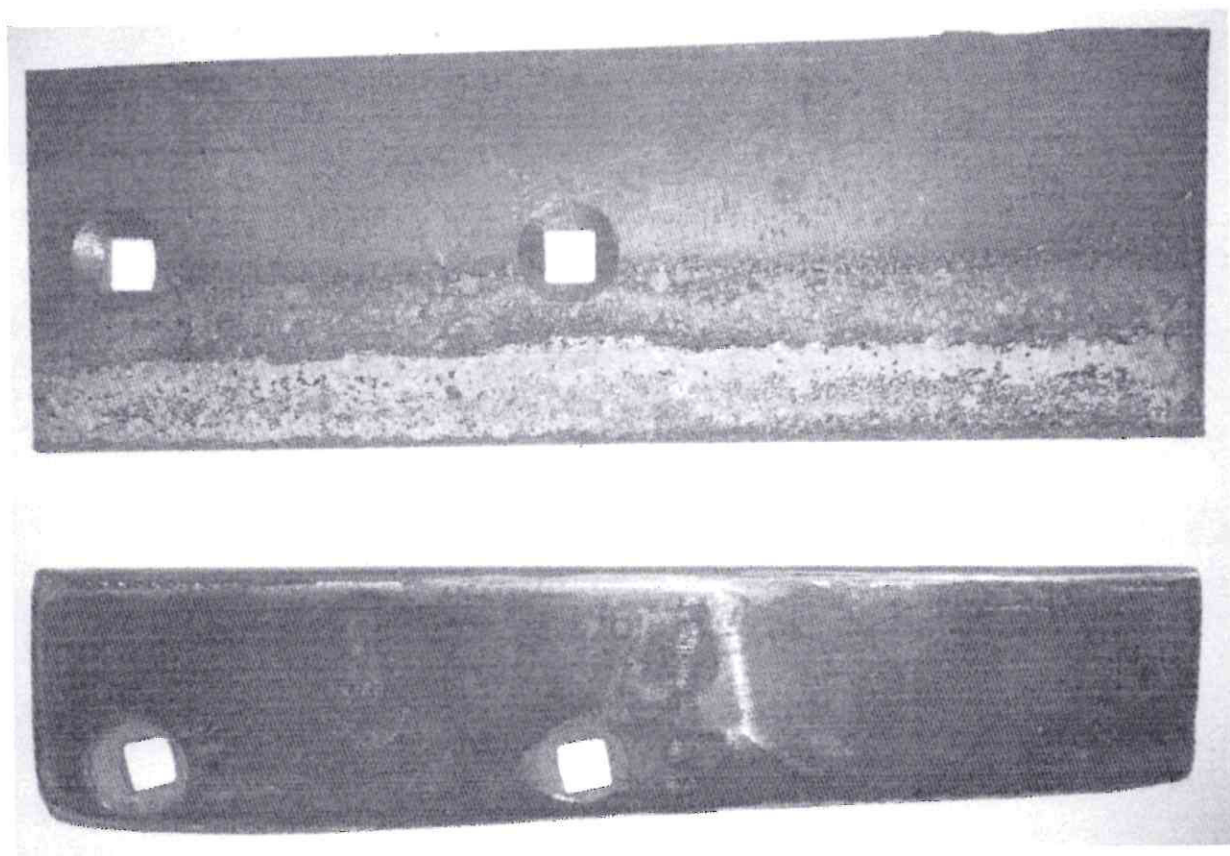


Рисунок 4.2 - Серийные новая и изношенная полевые доски

Как видно, из рисунка 4.2 на поверхности полевой доски имеются следы отжига после наплавки твердого сплава ТВЧ. Это снижает твердость, а, соответственно, износостойкость поверхности.

Нами были проведены исследования твердости поверхности полевой доски после наплавки твердого сплава ТВЧ, результаты которой приведены на рисунке 4.3.

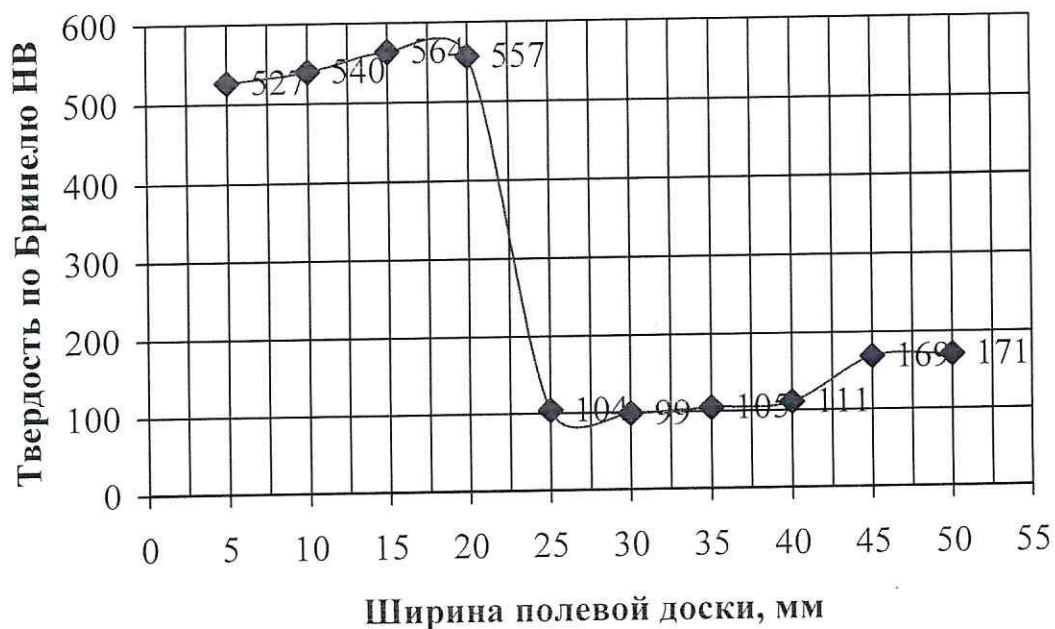


Рисунок 4.3 - Результаты исследования твердости поверхности полевой доски после наплавки твердого сплава ТВЧ

Как видно, максимальная твердость достигает значения 564 НВ на поверхности твердого сплава, а затем твердость резко падает до 99НВ, что свидетельствует об отжиге. При этом твердость неотожженного участка составляет 171НВ, что говорит о использовании при изготовлении полевой доски дешевой стали.

После упрочнения лап, проводили испытания по определению твердости каждой лапы.

Мы определили, что лапы, упрочненные I пастой, имеют самые высокие показатели твердости. Самая высокая твердость наблюдается при токе 110 А, и равна 61 HRC (рисунок 4.4).

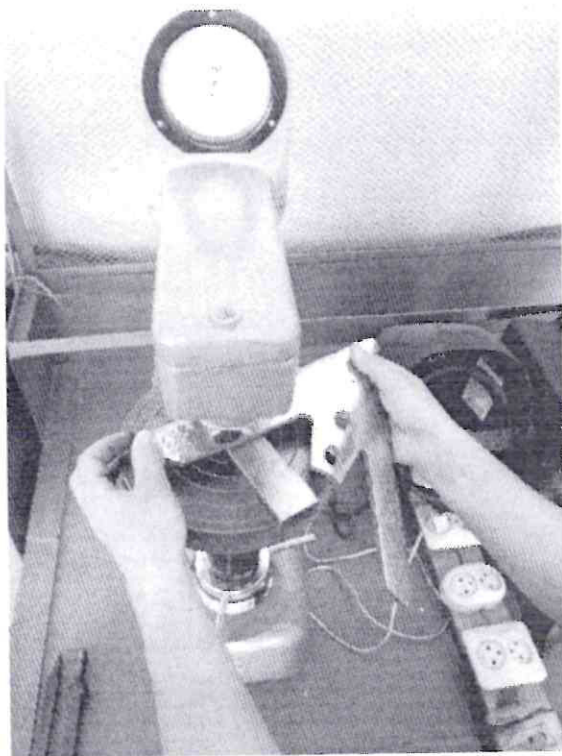


Рисунок – 4.4 Определение твердости лапы №1.

Лапы, которые были упрочнены пастой №II твердость ниже, чем у лапы упрочненным пастой №I. Твердость упрочненного слоя равен 54 HRC (рисунок 4.4).

Лапы, упрочненные без пасты, имеют твердость 43 HRC. Твердость контрольных лап (без упрочнения) 23 HRC (табл. 4.5).

Углерод интенсивно оттесняется в переходную зону, во время формирования боридного слоя. Его растворимость ничтожна, так как он не растворяется в бориде. Углерод не влияет на твердость боридных фаз. Содержащий в стали углерод существенно влияет на величину остаточных напряжений в боридном слое, и поэтому можно констатировать, что величина твердости упрочненного слоя связана с изменением величины и характера распределения остаточных напряжений.

Таблица 4.5- Твердость упрочненных лап.

	Номер опыта	Твердость(HRC)	Среднее значение
Лапы, упрочненные I пастой	1	63	61
	2	60	
	3	60	
	4	61	
Лапы, упрочненные II пастой	1	55	54
	2	54	
	3	55	
	4	52	
Лапы, упрочненные без пасты	1	40	43
	2	45	
	3	44	
	4	43	
Контрольная (не упрочненные)	1	24	23
	2	22	
	3	22	
	4	24	

4.3 Графики зависимости микротвердости от тока и скорости движения электрода

При упрочнении сталей, независимо от содержания углерода в них – микротвердость повышается до скорости упрочнения 200 мм/мин. При дальнейшем её росте микротвердость уменьшается вследствие сокращения времени теплового воздействия дуги в процессе диффузии углерода и легирующих элементов; при более низкой производительности ($S = 100$ мм/мин) заметное снижение микротвердости по сравнению со скоростями 150-200 мм/мин. Это можно объяснить перегревом поверхности металла из-

за более длительного воздействия температуры дуги, вызывающего повышенное окисление, увеличивающее пористость.

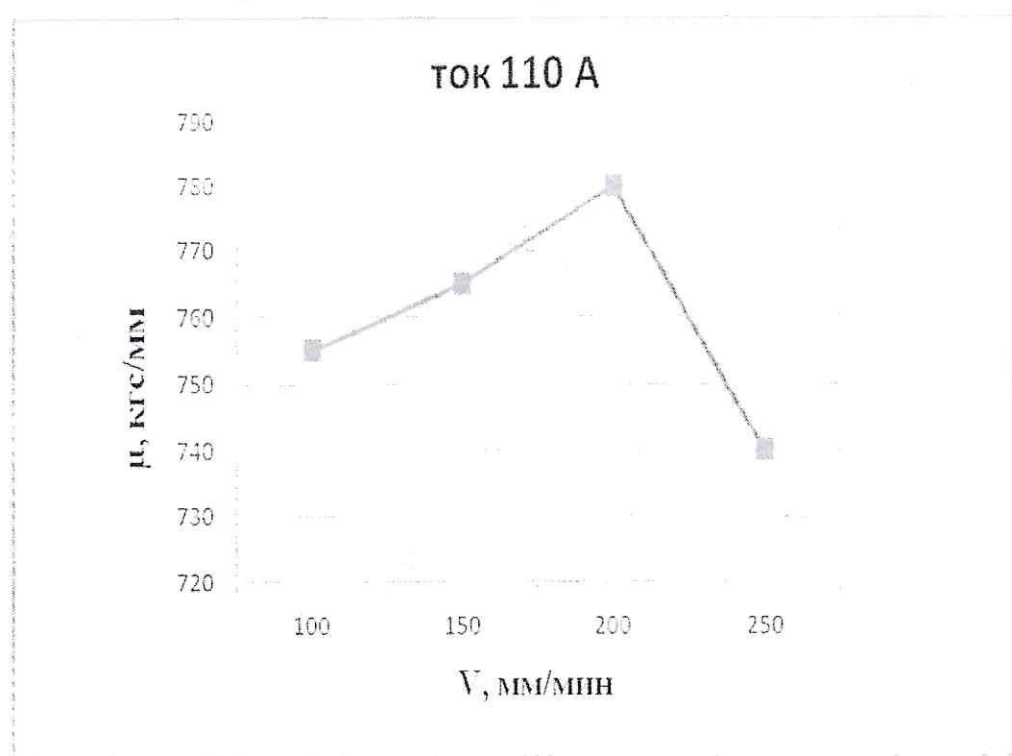


Рисунок 4.5 - Зависимость микротвердости (μ , кгс/мм²) упрочненного слоя от скорости движения электрода (V , мм/мин) при силе тока ($I = 110$ А) с использованием пасты №1.

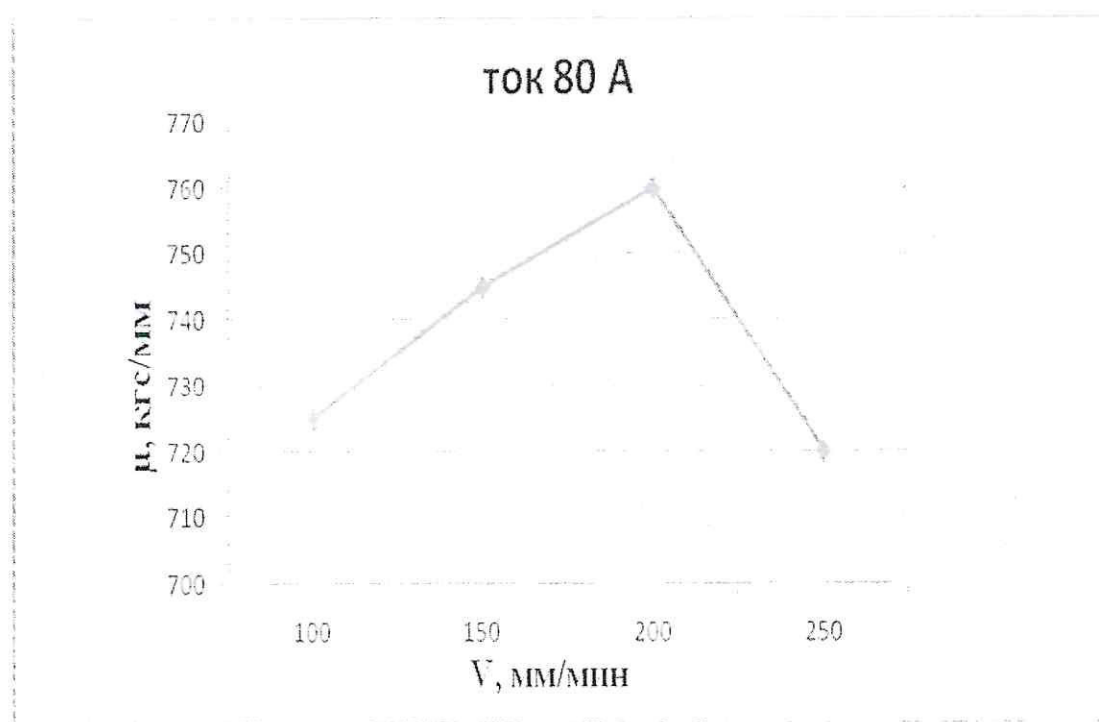


Рисунок 4.6- Зависимость микротвердости (μ , кгс/мм²) упрочненного слоя от скорости движения электрода (V , мм/мин) при силе тока ($I=80$ А) с использованием пасты №1.

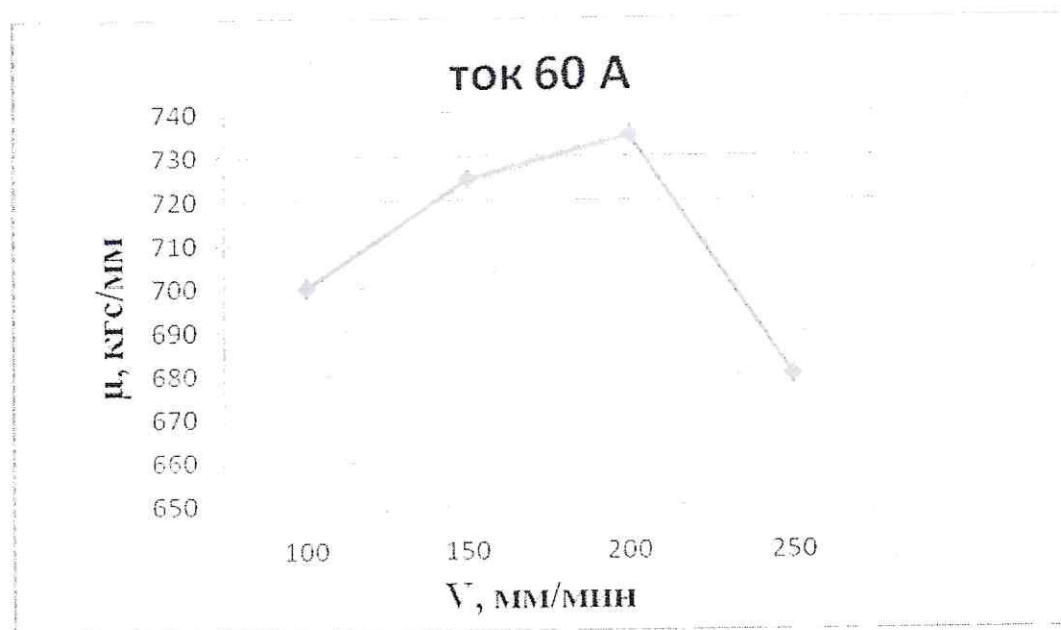


Рисунок 4.7- Зависимость микротвердости (μ , кгс/мм²) упрочненного слоя от скорости движения электрода (V , мм/мин) при силе тока ($I=60$ А) с использованием пасты №1.

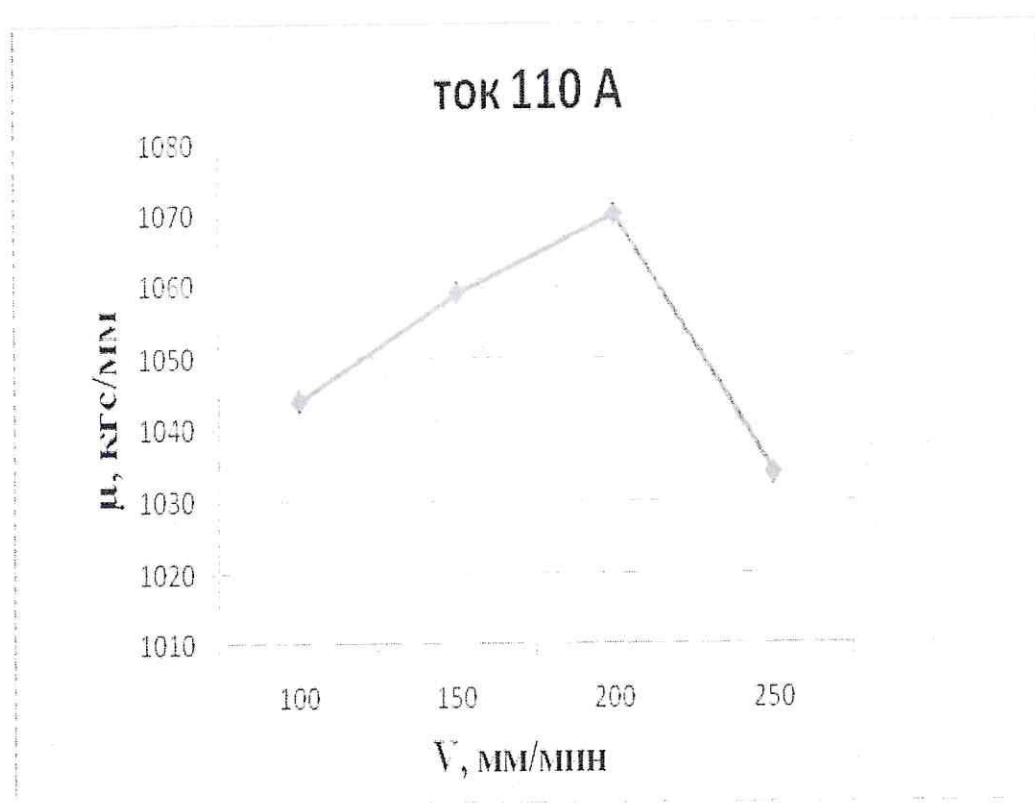


Рисунок. 4.8-Зависимость микротвердости (μ , кгс/мм²) упрочненного слоя от скорости движения электрода (V , мм/мин) при силе тока ($I=110$ А) с использованием пасты №2.

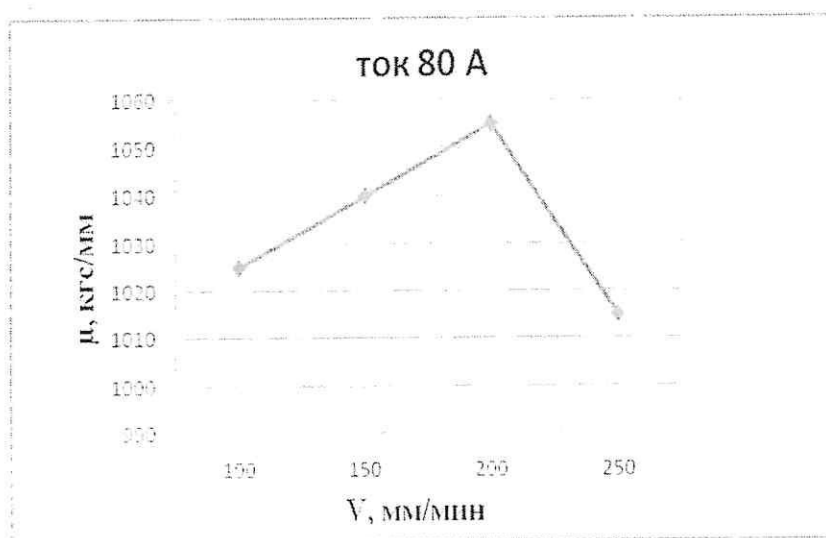


Рисунок. 4.9- Зависимость микротвердости (μ , кгс/мм²) упрочненного слоя от скорости движения электрода (V , мм/мин) при силе тока ($I=80$ А) с использованием пасты №2.

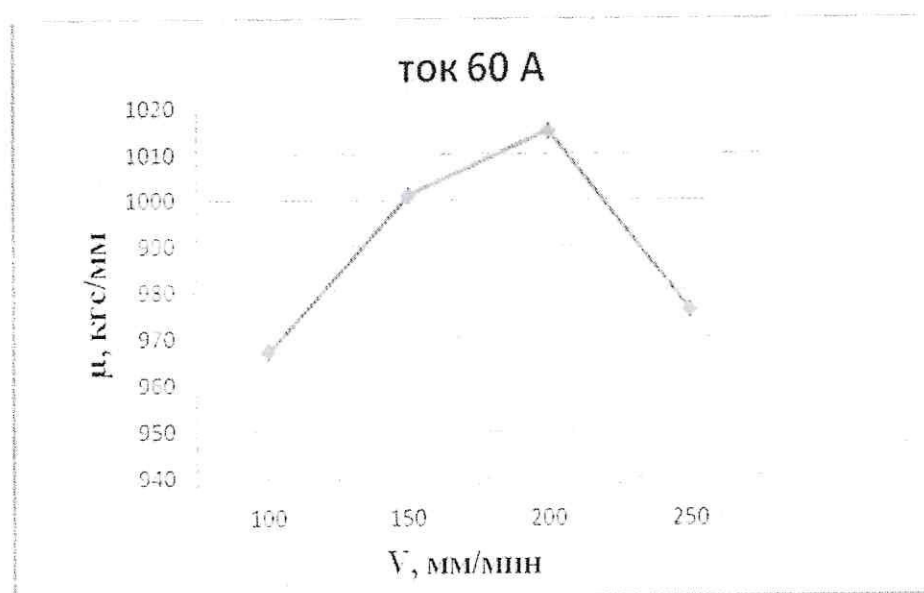


Рисунок. 4.10- Зависимость микротвердости (μ , кгс/мм²) от скорости движения электрода (V , мм/мин), при силе тока ($I=60$ А) с использованием пасты №2.

Из всех исследованных паст наиболее высокие и стабильные показатели микротвердости обеспечивает паста № 1: среднее ее значение при токе 110 А достигает 1072 кгс/мм².

При использовании пасты №2 результаты были ниже чем у пасты №1 – 780 кгс/мм².

Из проведенных опытов выяснили, что микротвердость увеличивается с ростом величины тока. Выявили закономерность повышения микротвердости до скорости процесса 200 мм/мин, при дальнейшем её росте она уменьшается.

4.4 Результаты исследования износостойкости

Согласно задач и методики экспериментальных исследований были проведены лабораторные исследования по определению износостойкости образцов упрочненных и без упрочнения.

В качестве образцов были приняты сегменты, вырезанные из лемехов, лап культиваторов и сошников сеялки, изготовленные из стали 65Г размерами 40х40 и 70х80 мм.

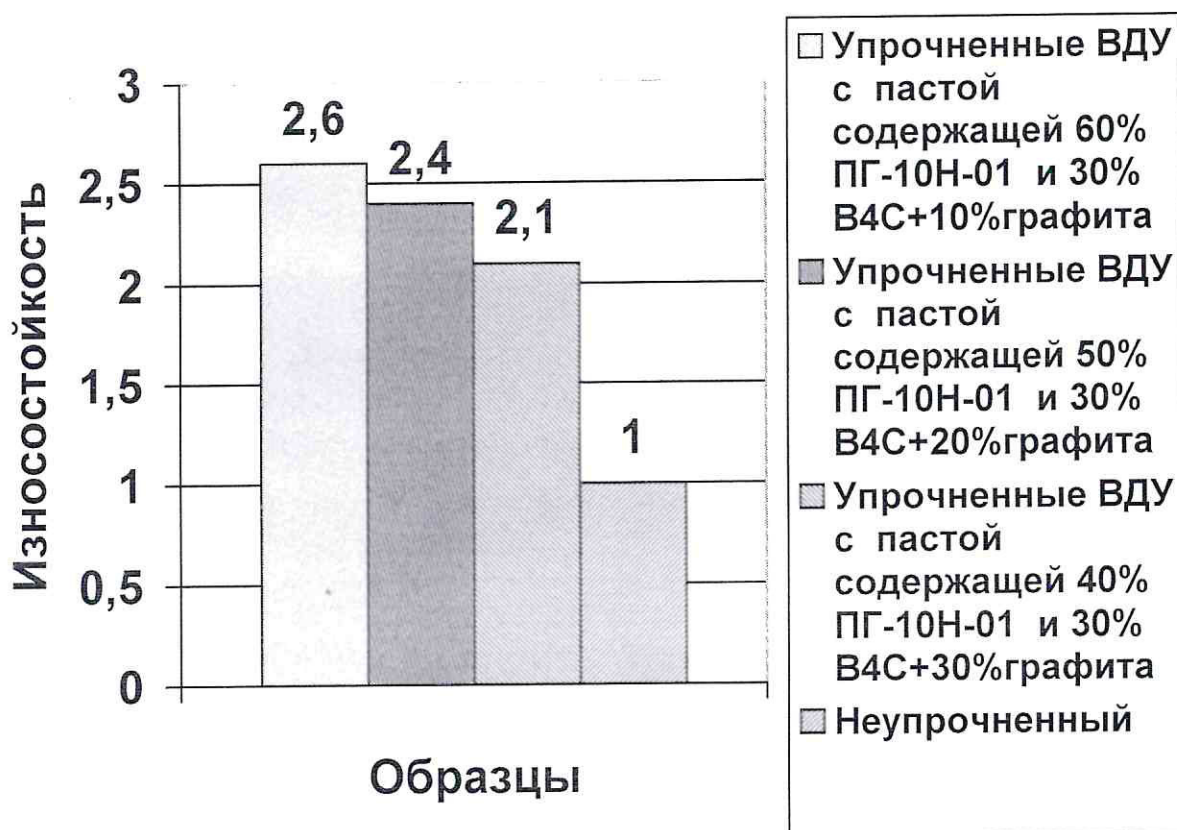


Рисунок 4.11 – Результаты испытаний на износостойкость

В качестве критерия износа по разработанной методике были выбраны интенсивность и скорость изнашивания по массе. За эталонную принята износостойкость образца без упрочнения.

Определение массы образцов до и после испытаний проводили на весах модели ВЛР-200 после аттестации. Перед взвешиванием все образцы обдували сжатым воздухом и последовательно промывали в бензине и ацетоне с последующей сушкой для удаления различных загрязнений.

Как видно из графика наибольшей износостойкостью обладают пары упрочненные ВДУ с пастой содержащей 60% ПГ-10Н-01 и 30% В4С+10%графита.

Для подтверждения результатов исследования были проведены испытания упрочненных лап (рис.4.12) на предприятиях АПК Балтасинского района РТ.

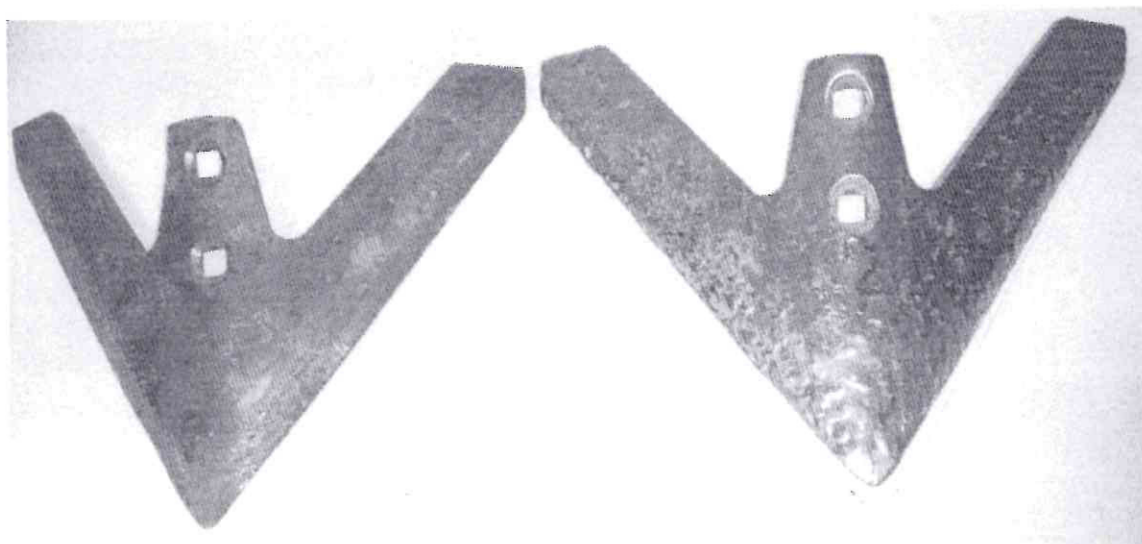


Рисунок 4.12 –Образцы для полевых испытаний: а) серийная лапа б) упрочненная лапа

Из этой фотографии видно, что стрелчатые лапы, упрочненные вибродуговым способом с использованием подобранных составов металлокерамических порошков полностью сохранили свои геометрические размеры и могут быть использованы в дальнейшем.

5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТА ОТ ВНЕДРЕНИЯ РАЗРАБОТАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ УПРОЧНЕНИЯ ЛАП КУЛЬТИВАТОРОВ

Технико-экономическая оценка эффекта от внедрения разработанной технологии упрочнения с использованием металлокерамики, ВДУ проведена на примере лап культиваторов типа КПС-4.

При нахождении экономического эффекта от внедрения предлагаемого технологического процесса комбинированного упрочнения были использованы общепринятые методы оценки [30].

Экономическая эффективность от внедрения разработанного технологического процесса комбинированного упрочнения лап культиваторов установлена согласно выражению:

$$\mathcal{E}_y = \left(\frac{C_n - C_{\text{ост}}^n}{P_n} - \frac{C_y - C_{\text{ост}}^y}{P_y} \right) P_y \cdot N_{\text{г}} \quad (5.1)$$

где $\mathcal{E}_y$ - экономический эффект от упрочнения лап, руб.;

C_n, C_y - отпускная цена новой и упрочненной лапы соответственно, руб.;

P_n, P_y - ресурс новой и упрочненной лапы соответственно, га;

$C_{\text{ост}}^n, C_{\text{ост}}^y$ - остаточная стоимость новых и упрочненных лап после предельного износа, руб.;

$N_{\text{г}}$ - годовой объем упрочняемых лап, шт.

Отпускную цену упрочненной по предлагаемой технологии лапы обычно принимают на 30% выше, чем себестоимость ее упрочнения, т.е.:

$$C_y = 0,3 \cdot C_y + C_y, \text{ руб.} \quad (5.2)$$

где C_y - себестоимость упрочнения лапы культиватора, руб.

Себестоимость упрочнения лапы культиватора по предлагаемой технологии установлена согласно выражению:

$$C_y = C_{\text{зп}} + C_{\text{рм}} + C_{\text{заг}} + C_{\text{э}} + C_{\text{опу}}, \text{ руб.}, \quad (5.3)$$

где — затраты на заработную плату производственных рабочих с начислениями (основную и дополнительную), руб.;

- стоимость ремонтных материалов, руб.;

$C_{\text{ЗАГ}}$ - стоимость заготовки (неупрочненной лапы) ($C_{\text{ЗАГ}} = 180$), руб.;

$C_{\text{Э}}$ - затраты на оплату электроэнергии, руб.;

$C_{\text{ОПУ}}$ - затраты на создание производства и его управление, руб.

Зарботную плату производственных рабочих определяют:

$$C_{\text{ЗП}} = \left(\frac{T_{n1} \cdot C_{p1}}{60} + \frac{T_{n2} \cdot C_{p2}}{60} + \dots + \frac{T_{ni} \cdot C_{pi}}{60} \right) K_{\text{П}} \cdot K_{\text{Д}} \cdot K_{\text{С}}, \quad (5.4)$$

где T_{n1}, T_{n2}, T_{ni} - нормы времени на проведение операций упрочнения в расчёте на одну лапу культиватора, мин.;

$C_{p1}, C_{p2}, \dots, C_{pi}$ - часовые тарифные ставки соответствующих разрядов работ на выполнение операций упрочнения, руб.;

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

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

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

Для облегчения расчётов составляем таблицу 5.2.

Таблица 5.2 - К расчету трудоемкости

№ операции	Наименование операции	Норма времени на выполнение, мин	Часовая тарифная ставка, руб.	Зарботная плата на операцию, руб.
05	Слесарная	5	70	5,83
10	Подготовительная	12	70	14
15	Нанесение пасты	3	70	3,5
20	Сушильная	10	70	11,67
25	Вибродуговое упрочнение	29	100	48,33
30	Контрольная	1	100	1,67
Итого:				85

Возвращаясь к формуле (5.4), будем иметь:

$C_{эл} = 85 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot \text{руб.}$ Стоимость ремонтных материалов определяют по формуле:

$$C_{рм} = \sum g_i \cdot C_i \quad \text{руб.}, \quad (5.5)$$

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

C_i - цена 1 кг i -го материала, руб.

Результаты расчётов сведены в таблицу 5.3

Таблица 5.3 -.Расчет затрат

Наименование материала	Норма расхода, кг (шт.)	Цена 1 кг (шт.) материала, руб.	Затраты на материалы, руб.
1. Стальной порошок ПГ-10Н-01	0,05	1200	60
2. Карбид бора В4С	0,02	2200	44
3. Вольфрамовый электрод	0,003	5800	17,4
4. Жидкое стекло	0,05	50	2,5
5. Угольный электрод	0,08	300	24
Итого			147,9

Стоимость изношенной лапы определяют по цене металлолома:

$$C_{изл} = M \cdot C_m \quad \text{руб.}, \quad (5.6)$$

где C_m - цена 1 кг металлолома, руб. ($C_m = 13$ руб.);

M - масса изношенной детали, кг ($M = 1,2$ кг).

$$C_{изл} = 13 \cdot 1,2 = 15,6 \text{ руб.}$$

Расходы, связанные с созданием производства и его управлением, определяют из соотношения:

$$C_{опу} = (2...3) \cdot 131,91 = 267,82 \text{ руб.}$$

Возвращаясь к формуле (5.3), будем иметь:

$$C_y = 133,91 + 147,9 + 186 \text{ руб.}$$

Возвращаясь к формуле (5.2), получим:

$$C_y = 0,3 \cdot 561,63 + 5 \text{ руб.}$$

Согласно данным Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Татарстан на ее территории находится 3863 культиваторов типа КПС-4 и их модификаций. Соответственно, количество стрелчатых лап данных культиваторов требующих комбинированного упрочнения составит 61808 шт.

Тогда, экономическая эффективность от внедрения разработанного технологического процесса комбинированного упрочнения лап культиваторов (формула 5.1) составит:

$$Э_v = \left(\frac{480 - 15,6}{20} - \frac{909,79 - 15,6}{20} \right) 90 \cdot 61808 = 30817468,8 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости капитальных вложений определяют по формуле:

$$T_{ок} = \frac{K}{Э}, \quad (5.8)$$

где K — капитальные вложения на оборудование, включая затраты на его доставку, монтаж и наладку, руб.

$$T_{ок} = \frac{330000}{30817468,8} = 0,010 \text{ года.}$$

Показатели оценки разработанной технологии упрочнения с использованием металлокерамики, ВДУ стрелчатых лап культиваторов типа КПС-4 сведены в таблицу 5.4.

Таблицу 5.4 - Показатели оценки разработанной технологии упрочнения

Наименование показателей	Обозначения	Вариант	
		базовый	предлагаемый
1	2	3	4
1. Годовой объем упрочняемых лап, шт.	N_{Γ}	—	61808
2. Цена новой лапы, руб.	C_{Π}	480	—
3. Себестоимость упрочнения лапы, руб.	C_{Σ}	—	561,63
4. Отпускная цена упрочненной лапы, руб.	C_{Σ}	—	909,79
5. Ресурс новой лапы, га	P_{Π}	30	—
6. Ресурс упрочненной лапы, га	P_{Σ}	—	90
7. Экономический эффект, руб.	Σy	—	30817468,8
8. Срок окупаемости капитальных вложений, лет	T_{OK}	—	0,4

5.3 Выводы

1. Разработанный способ упрочнения с использованием металлокерамики, ВДУ и ЭИЛ режущих плоскостей рабочих органов почвообрабатывающих орудий, апробирован на стрелчатых лапах культиватора КПС-4. Эта перспективная технология позволяет упрочнять не только стрелчатые лапы различной формы и массы, но и другие рабочие органы почвообрабатывающих орудий, и может выполняться и на специальных ремонтных предприятиях, и в небольших ремонтных мастерских фермерских хозяйств.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Проведенный анализ условий работы и причин потери работоспособности рабочих органов почвообрабатывающих машин показал, что их наработки не хватает на полный сезон работы.
2. В результате теоретических исследований были выбраны методы поверхностного упрочнения рабочих органов СХМ комбинированным методом вибродугового и электроискрового упрочнения с использованием металлокерамических порошков.
3. Исследована напряженность электрического поля в зоне горения дуги при вибродуговом упрочнении, учитывая сопротивление слоя пасты перед зажиганием дуги. Добавление в пасту графита снижает ее сопротивление.
4. Экспериментальные исследования показали, что при рациональное значения содержания графита 15...20% по массе. Износостойкость упрочненных рабочих органов увеличилась в 2,5 раза по сравнению с неупрочненными.
5. Технико-экономическая оценка показала эффект 38 млн. рублей от внедрения разработанной технологии упрочнения лап культиваторов по Республике Татарстан.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьев А.А. Электролизное борирование реверсированным током конструкционных сталей: Дисс. докт. техн. наук. Воронеж, 2001.-342 с.
2. Булавин С.А., Аналитическое описание движения почвенных частиц по рабочей поверхности модернизированной культиваторной лапы/ Булавин С.А., Стребков С.В., Макаренко А.Н., Толсюпатов С.Н. / Бюллетень научных работ. Выпуск 2. -Белгород. -Изд БелГСХА, 2005. С.97-104/
3. Восстановление деталей машин / Ф. И. Пантеленко [и др.]. - М.: Машиностроение, 2003. - 672 с.
4. ГОСТ 9450- 76 Металлы. Метод испытания на микротвердость вдавливание алмазной пирамиды.
5. ГОСТ 380-94. Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки. М.: Изд-во стандартов, 1994. — 9 с
6. Глазов В. М. Микротвердость металлов и упругих проводников/ В. М. Глазов, В. Н. Вигдорович. - 2-е издания., испр. и доп. - М.: Металлургия, 1969.- 248 с.
7. Грехин В. А. Тепловые основы сварки: Учебное пособие. – Л.:госн. Ун-т Л., 1990.-100 с.
8. Кобец А.С. Исследование износа рабочих органов культиватора / А.С. Кобец, Б.А. Волик, А.Н. Филин / / Геотехническая механика: Межвед. сб. наук трудов / Ин-т геотехнической механики им. М.С. Полякова НАН Украины. — Днепрпетровск, 2007. — Вып. 70. — С. 141-145 (соискатель обосновал профиль стрельчатой лапы с точки зрения повышения подрезая способности).
9. Кашфуллин А.М. Повышение ресурса рабочих органов почвообрабатывающих машин путем нанесения износостойких покрытий дуговой металлизацией машин: дисс. канд. тех. наук / Кашфуллин Артур Миннахматович. - Пермь, 2016. - 117 с.
10. Литовченко Н.Н. Электровибродуговое упрочнение рабочих органов почвообрабатывающих машин металлокерамическими материалами / Н. Н.

Литовченко, Н. В. Титов, А. В. Коломейченко // Тракторы и сельхозмашины. 2013.-№2-С. 49-50.

11. Литовченко Н.Н. Электровибродуговое упрочнение рабочих органов почвообрабатывающих машин металлокерамическими материалами / Н. Н. Литовченко, Н. В. Титов, А. В. Коломейченко // Тракторы и сельхозмашины. 2013.-№2-С. 49-50.

12. 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.

13. Макаренко А.Н, Сгребков С В., Булавин С.А. Лабораторные испытания лапы с крошащими элементами в почвенном канале. / Проблемы сельскохозяйственного производства на современном этапе и пути их решения. Материалы IX международной научно-производственной конференции -Ч.П. -Белгород: Издательство БелГСХА, 2005. - С.157-158

14. Надежность и ремонт машин / В.В. Курчаткин [и др.]; под ред. В.В. Курчаткина. - М.: Колос, 2000. - 776 с.

15. Новиков В.С. Материаловедческое направление повышения надежности рабочих органов плуга / В.С. Новиков, И.А.Азарова, Д.А. Сабуркин, Н.А. Поздняков// Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. – 2007. – №3.- с.132-137.

16. Патент RU № 2499077. Способ нанесения износостойких покрытий на стальные изделия/ Перфилов М. Е., Перфилов О. М.

17. Патент RU № 2216138 С2. Культиваторная лапа / Стребков С.В., Булавин С.А., Макаренко А.Н., Горбатов С.А. Заявлено 06.15.2001; опубликовано 11.20.2003.

18.Патент RU № 2216138 С2. Культиваторная лапа / Стребков С.В., Булавин С.А., Макаренко А.Н., Горбатов С.А. Заявлено 06.15.2001; опубликовано 11.20.2003

19. Патент SU №766723. Способ изготовления изделий типа стрелчатых лап культиваторов/ Грайфер А. Х., Альшиц М. Я. Заявлено 24.11.78; опубликовано 30.09.80.

20. Патент RU №694112. Рабочий орган культиватора / Ю.В.Верзилов, Г.П.Мясоедов, В.М.Колтунов, Г.А.Дунин, Е.Л.Кондратьев и Н.Д.Модин. Заявлено 14.06.74; опубликовано 30.10.79, бюл. №40.

21. «Sharifullin S.N. Surface hardening of cutting elements agricultural machinery vibro arc plasma /S. N. Sharifullin, N. R. Adigamov, N. N. Adigamov, R. Y. Solovev, K. S. Arakcheeva //Journal of Physics: Conference Series. 669 (2016) 012049 doi:10.1088/1742-6596/669/1/012049. (JCR Science Edition impact factor 0,25).

22.. Стребков С.В., Макаренко А.Н. Кульгаваторная лапа с улучшенными агротехническими свойствами, полученная с помощью технологии упрочнения / Инновационные технологии в аграрном образовании, науке и АПК России. Материалы всероссийской научно-производственной конференции. Часть III. Ульяновск: Издательство Ульяновской ГСХА, 2003. С. 278-281

23. Стребков С. В., Формирование прочностных характеристик рабочего органа при наплавке. Повышение эффективности функционирования механических и энергетических систем/ Стребков С. В., Макаренко А.Н./: Междун. науч. -техн. конф./(г. Саранск, 27-29 окт. 2004 г.) Сб. науч. тр. МГУ Тип. «Крас. Окт.», 2004. С 190-193.

24. Титов Н.В. Восстановление и упрочнение стрелчатых лап почвообрабатывающих машин металлокерамическими материалами / Н.В. Титов., А.В. Коломейченко // Тракторы и сельхозмашины. - 2014. - №1. - С. 42-43.

25. Титов Н.В. Исследование влияния режимов и параметров карбовибродугового упрочнения на толщину металлокерамического покрытия / Н.В. Титов, А.В. Коломейченко, В.В. Виноградов и др. // Техника и оборудование для села. - 2016. - №9. - С. 34-37.

26. Титов Н. В. Метод вибродуговой наплавки металлокерамики деталей техники, работающей в условиях абразивного износа / Н. В. Титов, Н. Н. Литовченко, В. Н. Коротков // Труды ГОСНИТИ. 2013.-Т.111. Ч.2.-С. 219-222.

27. Филин А.Н. Методы и способы повышения износостойкости почвообрабатывающих рабочих органов / А.Н. Филин / / Геотехническая механика. — 2008. — Вып. 75. — С. 222-228.

28. Фетисов Г. П., Карпман и др. – Материаловедение и технология металлов, М., Высшая школа, 2002.

29. Черноиванов В.И. Сельскохозяйственная техника: Каталог / В.И. Черноиванов. — М., 1991. — т. 1. — 364 с.

30. Черноиванов В. И. Организация и технология восстановления деталей машин / В. И. Черноиванов, В. П. Лялякин.- 2-е изд., доп. и перераб. - М.: ГОСНИТИ, 2003. - 488 с

31. Ю.Л.Рыжих . Методы скоростной электродуговой цементации и экзотермического металлоплакирования, при упрочнении и восстановлении деталей / Ю.Л.Рыжих, В.В.Коршунов, А.С.Юдников, В.Н.Саковцева// Ремонт, восстановление, модернизация- М., №2., 2008.

32. Шайхутдинов Р.Р. Упрочнение деталей оборудования животноводческих ферм / Р.Р.Шайхутдинов //В сборнике: Аграрная наука XXI века. Актуальные исследования и перспективы: труды международной научно-практической конференции. 2015. С. 28-30.

33. Шарафиев А.А. Влияние металлокерамических составов на поверхность упрочняемых рабочих органов / А.А. Шарафиев, М.Н. Адигамова, Н.Р. Адигамов // В сборнике: Современное состояние, проблемы и перспективы развития механизации и технического сервиса агропромышленного комплекса Материалы международной научно-практической конференции Института механизации и технического сервиса. 2018. С. 239-242.

34. 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.

35 . Юшков В.В. Поточно - механизированная линия восстановления лап культиваторов / В.В. Юшков, А.Г. Квакин , А.А. Князев, В.П. Терентьев// Техника в сельском хозяйстве. - 1986. - № 8. - С. 51-52.

Статьи автора:

Шайхутдинов Р.Р. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗНОСОВ ДЕТАЛЕЙ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН /Шайхутдинов Р.Р., ,Ахметзянов Р.Р. ,Зарипов Р.Р., Фазлиев Д.М. // В сборнике: Научное сопровождение технологий агропромышленного комплекса: теория, практика, инновации Материалы международной научно-практической конференции I-ой Международной научно-практической конференции, посвященной памяти д.т.н., профессора Ю.И. Матяшина. 2019. С.

Шайхутдинов Р.Р. МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА РАБОЧИХ ОРГАНОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН/ Шайхутдинов Р.Р., ,Ахметзянов Р.Р. ,Зарипов Р.Р., Фазлиев Д.М. // В сборнике: Научное сопровождение технологий агропромышленного комплекса: теория, практика, инновации Материалы международной научно-практической конференции I-ой Международной научно-практической конференции, посвященной памяти д.т.н., профессора Ю.И. Матяшина. 2019. С.

ПРИЛОЖЕНИЯ



МИНИСТЕРСТВО
ПО ДЕЛАМ
МОЛОДЕЖИ РТ

ДИПЛОМ

награждается

Зарипов Рустем Раушанович

за I место в Конкурсе профессионального мастерства
«Лучший по профессии» среди молодых работников
агропромышленного комплекса Республики Татарстан
в номинации «Лучший инженер-механик»

М.А. Зяббаров

Заместитель Премьер-министра
Республики Татарстан –
министр сельского хозяйства
и продовольствия
Республики Татарстан



Д.Д. Шувалова

Председатель Региональной
общественной организации
«Аграрное молодежное
объединение
Республики Татарстан»

Казань
2019

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗНОСОВ ДЕТАЛЕЙ
ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН

Шайхутдинов Р.Р. – доцент; e-mail: shaykhutdinov.rafis@mail.ru

Ахметзянов Р.Р. – доцент; e-mail: rishat83@mail.ru;

Зарипов Р.Р. – студент магистратуры, Фазлиев Д.М. – студент

**ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет»,
г. Казань, Россия**

Аннотация: Статья посвящена проблемам изнашивания почвообрабатывающих органов сельскохозяйственных машин. По результатам статистической обработки партии обосновано, что более 83% лемехов можно восстановить приваркой дополнительных деталей.

Ключевые слова: износ, ресурс, лемех, лапа культиватора, упрочнение, металлокерамические порошки.

RESULTS OF RESEARCH OF WEAR PARTS OF TILLAGE MACHINES

R. R. Shaikhutdinov-associate Professor; e-mail:
shaykhutdinov.rafis@mail.ru

R. R. Akhmetzyanov-associate Professor; e-mail: rishat83@mail.ru;
Zaripov R. R.-master's student, Fazliev D. M.-student
Kazan state agrarian University,
Kazan, Russia

Abstract: the Article is devoted to the problems of wear of tillage organs of agricultural machines. According to the results of statistical processing of the batch, it is proved that more than 83% of ploughshares can be restored by welding additional parts.

Key words: wear, resource, ploughshare, cultivator paw, hardening, metal-ceramic powders.

По форме лемеха делят на трапециевидные и долотообразные. Материалом для производства лемеха является сталь Л-65. Для повышения износостойкости их лезвие закаливают до твердости 444..650 НВ при размере зоны закалки 20...45 мм. В незакаленной части лемеха твердость обычно не выше 300 по шкале НВ [1].

Интенсивное абразивное изнашивание лемехов является одной из главных причин их выбраковки (до 88%). Другими причинами являются - излом и (или) изгиб носка (от 12%) но бывает, что или в ряде случаев издержки от этих дефектов лемехов составляют до 50%.

Многократные проверки показали, что математическое ожидание наработки на отказ серийных лемехов плугов в зависимости от свойств почвы и металла составляет 5...20 га, груди плуга–10...100 га, отвалов – 40...270 га, полевых досок –20...60 га. Малый ресурс имеют рабочие органы и иных почвообрабатывающих машин: диски луцильников и дисковых борон – 8...20 га, лапы культиваторов – 7...18 га [2].

Ключевыми факторами изнашивания рабочих органов являются: тип почвы, габариты, форма твердость абразивов в почве; закрепленность абразивов в почве; скорость абразивных частиц и силы, воздействующие на них; влагосодержание почвы; тип и форма элементов структуры вещества лемеха.

Для установления закономерностей изменения размеров лемехов нами был проведен микрометраж партии из 81 лемеха на предприятиях АПК Балтасинского района РТ. После обработки статистических данных были получены следующие уравнения, характеризующие закономерности изменения ширины лемеха:

$$f(h) = \frac{1}{9\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(h-100)^2}{2 \cdot 9^2}}, \quad (1)$$

$$F(h) = \Phi\left(\frac{h-100}{9}\right) = \Phi(h), \quad (2)$$

где $f(h)$ - теоретическая плотность распределения износа.

$F(h)$ - теоретическая функция распределения износа.

Оказалось, что износ лемехов подчиняется нормальному закону распределения с параметрами $m = 100$ мм и $\sigma = 9$ мм. Проверка по критерию согласия Пирсона показала хорошую сходимость статистических и теоретических данных.

Лемеха восстанавливают кузнечной оттяжкой. При полном использовании запаса материала магазина лемеха и износе до ширины менее 92 мм его можно восстанавливать приваркой лезвия и носка лемеха. Лезвие, сделанное из бракованных рабочих органов или полосного стального проката 30Р, 50Р и 85Р, приваривают сваркой, предварительно отрубив лемех до ширины 900 мм параллельно спинке. Лемешной носок можно отрубить отдельно или вместе с лезвием. Для упрочнения лезвий почвообрабатывающих органов можно применить электроискровое или электровибродуговое упрочнение [3].

Зная, что предельный размер лемеха по ширине для восстановления приваркой лезвия составляет 90 мм и подставляя это значение в формулу (2) получим, что 87,3% лемехов имеют ширину более 90 мм, а, следовательно, могут быть восстановлены.

Литература

1. Надежность и ремонт машин / В.В. Курчаткин [и др.]; под ред. В.В. Курчаткина. - М.: Колос, 2000. - 776 с.

2. Новиков В.С. Материаловедческое направление повышения надежности рабочих органов плуга / В.С. Новиков, И.А. Азарова, Д.А. Сабуркин, Н.А. Поздняков // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. – 2007. – №3. - с.132-137.

3. 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.

УДК 621.43

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА РАБОЧИХ ОРГАНОВ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Шайхутдинов Р.Р. – доцент; e-mail:

shaykhutdinov.rafis@mail.ru

Ахметзянов Р.Р. – доцент; e-mail: rishat83@mail.ru

**Зарипов Р.Р. – студент магистратуры, Фазлиев Д.М. – студент
ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет»,
г. Казань, Россия**

Аннотация: Статья посвящена проблемам повышения ресурса рабочих органов сельскохозяйственных машин. Приведены результаты анализа способов увеличения износостойкости рабочих органов СХМ. Показана перспективность применения вибродугового упрочнения с использованием металлокерамических порошков.

Ключевые слова: упрочнение, лемех, лапа культиватора, вибродуговое упрочнение, металлокерамические порошки.

METHODS FOR INCREASING THE RESOURCE OF WORKING
BODIES OF AGRICULTURAL MACHINES

R.R. Shaikhutdinov-associate Professor; e-mail:

shaykhutdinov.rafis@mail.ru

R.R. Akhmetzyanov-associate Professor; e-mail: rishat83@mail.ru

Zaripov R. R.-master's student, Fazliev D. M.-student

**Kazan state agrarian university,
Kazan, Russia**

Annotation. The article is devoted to the problems of increasing the resource of working bodies of agricultural machines. The results of the analysis of ways to increase the wear resistance of the working bodies of the SHM are presented. The prospects for the use of vibroarc hardening with the use of metal-ceramic powders are shown.

Key words: hardening, ploughshare, cultivator's paw, vibration-arc hardening, metal-ceramic powders.

В агропромышленном комплексе РФ для почвообработки применяются многочисленные разнообразные отечественные и зарубежные культиваторы и плуги. Абразивное действие почвы вызывает сильный износ рабочих органов, их лезвия затупляются, изменяется форма и размеры. В результате значительно снижается качество выполняемых полевых работ.

Лапы культиватора, лемехи, дисковые рабочие органы делают из стали 65Г, содержащей марганец. Для эффекта самозатачивания, на обратной стороне рабочего органа делают наплавку сормайта слоем 0,3...0,5 мм. Эффект самозатачивания лезвия происходит из-за относительно быстрого изнашивания материала самой детали чем

наплавленного слоя твёрдостью HRC 49...55. Сормайт при работе на песчаных почвах показывает не лучший результат.

При работе культиваторов форма и размеры лап меняются. На основе результатов длительной эксплуатации лап культиваторов и лемехов устанавливают толщину материала лап и лемехов, при этом учитываются: ширина крыла, физико-механические свойства материала, ширина захвата, свойства почвы, глубина обработки.

Известные способы нанесения на детали покрытий сверхизносостойкими металлокерамическими материалами – индукционный, лазерный, плазменный, детонационный являются относительно перспективными.

Преобладающим типом исходных материалов для изготовления нанопорошков являются оксиды - Al_2O_3 , SiO_2 , ZnO , TiO_2 и др., используемые в разных областях, также композиционные твердые растворы Fe – Cu, FeNi, Fe – Ti, FeAl, W – Cu, Al – Ni и др., а также порошки многих тугоплавких соединений – TiN, TiC, TiB_2 , ZrN , NbC и др.

Упрочнение деталей путем индукционной и дуговой наплавки рабочих поверхностей почвообрабатывающих органов применяют при изготовлении, например, на Рубцовском заводе запчастей. Предприятие «РЗЗ» не использует дуговую наплавку электродами ЦН - 29, Т-590, Т-620, ЭН-ИТС-01 и наплавку порошковыми проволоками ПП-АН-125, ПП-АН-123 или порошковой лентой ЛС-У10Х7ГР. Ресурс упрочненных рабочих органов по сравнению с серийными в условиях суглинистых почв увеличивается в 1,5...2,5 раза. Практика показала, что эти технологии имеют некоторые недостатки, например, перекал деталей, большая стоимость применяемых материалов, твердость покрытия и недостаточна. Его может обеспечить использование металлокерамические композиционные материалы, разработанные самостоятельно и в ГОСНИТИ [1-4].

В зарубежной практике широко используется метод упрочнения деталей различной техники закреплением на рабочих плоскостях специальных износостойких в абразивных условиях пластин. Крепление таких пластин производится пайкой твердыми припоями. Такой способ крепления дает возможность легко удалять изношенные или поврежденные пластины и ставить новые.

Новый метод наплавки индукционной лезвий «ХЕТИЛЛ» разработан немецкой фирмой «ИННОВЕЛД» для изготовления тонких покрытий из твердых наносплавов. Метод пригоден для производства самозатачивающихся рабочих органов почвообрабатывающих машин.

Основой примененной технологии сохранения лезвия является запатентованная фирмой «ИННОВЕЛД КФТ» - технология самозатачивания профилей лезвий. Сущность метода заключается в том, что на обработанное необходимым образом лезвие наплавляется износостойкий твердый сплав. Толщина слоя сплава в зависимости от детали меняется в пределах от 0,6 до 1,5 мм. Наплавка твердого сплава

происходит на разработанной для этой цели установке с помощью индукционного нагрева. Слой твердого сплава соединяется с материалом детали диффузионной связью и до полного изнашивания обеспечивает самозатачивающийся профиль лезвия.

Самозатачивающиеся почвообрабатывающие детали марки «ХЕТИЛЛ» имеют следующие преимущества при эксплуатации:

- срок службы деталей увеличивается в 6 раз;
- рабочие органы до полного износа остаются острыми, этим обеспечивается эффективная эксплуатация, что приводит к экономии 10-15% энергии;
- несмотря на эффективное резание и измельчение, сельскохозяйственные работы могут быть проведены в хорошем качестве с точки зрения агротехнических требований;
- применение самозатачивающихся деталей позволяет устранить время на заточку и замену изношенных деталей и кроме этого приводит к экономному использованию материалов.

Технология обеспечивает точную настройку и автоматическую регулировку температуры расплавленного твердого сплава. Так можно получить ровный, однородный слой твердого сплава.

Исследования Шарифуллина С.Н. и других [8] показали, что электроискровая обработка лемешной стали позволяет повысить ее твердость до HRC45...55, однако, слой получается очень тонким.

На наш взгляд, перспективным в своем развитии является вибродуговой способ упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин [6]. Применение такого способа обработки для упрочнения деталей оборудования животноводческих ферм показало увеличение износостойкости в 1,5...2,5 раза. [5]

Производительность и качество вибродугового упрочнения зависит от следующих факторов: режимов обработки (возмущающей силы, амплитуды и частоты колебаний обрабатывающего инструмента, скорости его движения, температуры, напряжение, механических свойств материала обрабатываемых деталей, их геометрии и др. Имеющиеся в литературе данные свидетельствуют о недостаточной изученности процесса вибрационного упрочнения материала обрабатываемых деталей (лап культиваторов и др.) Поэтому надо исследовать процесс с целью установления оптимальных режимов.

Литература

1. Кашфуллин А.М. Повышение ресурса рабочих органов почвообрабатывающих машин путем нанесения износостойких покрытий дуговой металлизацией машин: дисс. канд. тех. наук / Кашфуллин Артур Миннахматович. - Пермь, 2016. - 117 с

2. 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.

3. Титов Н.В. Восстановление и упрочнение стрелчатых лап почвообрабатывающих машин металлокерамическими материалами / Н.В. Титов., А.В. Коломейченко // Тракторы и сельхозмашины. - 2014. - №1. - С. 42-43.

4. Титов Н.В. Исследование влияния режимов и параметров карбовибродугового упрочнения на толщину металлокерамического покрытия / Н.В. Титов, А.В. Коломейченко, В.В. Виноградов и др. // Техника и оборудование для села. - 2016. - №9. - С. 34-37.

5. Шайхутдинов Р.Р. Упрочнение деталей оборудования животноводческих ферм / Р.Р.Шайхутдинов //В сборнике: Аграрная наука XXI века. Актуальные исследования и перспективы: труды международной научно-практической конференции. 2015. С. 28-30.

6. Шарафиев А.А. Влияние металлокерамических составов на поверхность упрочняемых рабочих органов / А.А. Шарафиев, М.Н. Адигамова, Н.Р. Адигамов // В сборнике: Современное состояние, проблемы и перспективы развития механизации и технического сервиса агропромышленного комплекса Материалы международной научно-практической конференции Института механизации и технического сервиса. 2018. С. 239-242.

7. 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.

РЕЦЕНЗИЯ

на выпускную квалификационную работу

Выпускника Зарипова Р.Р.

Направление 35.04.06. Агроинженерия

Направленность Технический сервис в сельском хоз-ве

Тема ВКР „Разработка технологии упрочнения
восстановленных рабочих органов
почвообрабатывающих машин

Объем ВКР: текстовые документы содержат: 103 страниц, в т.ч. пояснительная записка 93 стр.; включает: таблиц 14, рисунков и графиков 38, фотографий — штук, список использованной литературы состоит из 35 наименований.

1. Актуальность темы, ее соответствие содержанию ВКР _____

Тема актуальна и соответствует содержанию

2. Глубина, полнота и обоснованность решения поставленных задач _____

Поставленные задачи решены.

3. Качество оформления ВКР хорошее

4. Положительные стороны ВКР (новизна разработки, применение информационных технологий, практическая значимость и т.д.)

Практическая значимость заключается в

методах исследований (ПК-4)	
способностью и готовностью организовывать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую работу, вести поиск инновационных решений в инженерно-технической сфере АПК (ПК-5)	<i>Хорошо</i>
Средняя компетентностная оценка ВКР	<i>Хорошо</i>

* Уровни оценки компетенции:

«**Отлично**» – студент освоил данную компетенцию на высоком уровне. Он может применять (использовать) её в нестандартных производственных ситуациях и ситуациях повышенной сложности. Обладает отличными знаниями и умениями по всем аспектам данной компетенции. Владеет полными навыками применения данной компетенции в производственных и (или) учебных целях.

«**Хорошо**» – студент полностью освоил компетенцию, эффективно применяет её при решении большинства стандартных производственных и (или) учебных задач, а также в некоторых нестандартных ситуациях. Обладает хорошими знаниями и умениями по большинству аспектов данной компетенции.

«**Удовлетворительно**» – студент не полностью освоил компетенцию. Он достаточно эффективно применяет освоенные знания при решении стандартных производственных и (или) учебных задач. Обладает хорошими знаниями по многим важным аспектам данной компетенции.

«**Неудовлетворительно**» – студент не освоил или находится в процессе освоения данной компетенции. Он не способен применять знания, умение и владение компетенцией как в практической работе, так и в учебных целях.

6. Замечания по ВКР

1. Оформление рисунков 3.12 (стр. 65) и 4.6 (стр. 79) не соответствует требованиям
2. В «выводах и рекомендациях» отсутствуют сведения о рациональных решениях обработки.

ОТЗЫВ

о работе студента института механизации и технического сервиса
Зарипова Рустема Раушановича над выпускной квалификационной работой
на тему: «Разработка технологии упрочнения восстановленных рабочих
органов почвообрабатывающих машин»

Зарипов Рустем Раушанович приступил к выполнению выпускной квалификационной работой сразу после получения задания.

Диссертация выполнена в соответствии с утвержденной темой и плановыми этапами задания на реализацию диссертационных исследований, в соответствии с техническими требованиями к исследуемой проблеме.

Исследуемые в диссертации вопросы технико-теоретического плана полностью соответствуют специфике поставленных задач объекту и предмету исследования. Глубина охвата заявленной проблематики достаточна, предложенные решения оригинальны.

Выпускная квалификационная работа содержит все необходимые разделы, которые разработаны в необходимом объеме. Оформление работы отличное.

В период работы показал умение пользоваться научно-технической литературой и самостоятельно решать сложные инженерные задачи ремонтного производства и проводить научные исследования.

Считаю, что студент Зарипов Р.Р. с поставленной перед ним задачей справился и заслуживает присвоения ему квалификации (степени) магистра.

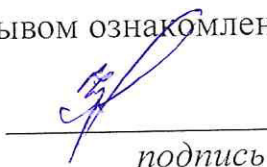
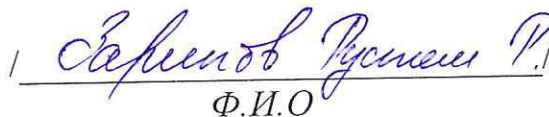
Руководитель ВКР

доцент каф. ЭРМ, к.т.н.



/Шайхутдинов Р.Р./

С отзывом ознакомлен


подпись
Ф.И.О

«05» 02 2020 г.