

ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет»
Институт механизации и технического сервиса
Кафедра Эксплуатация и Ремонт машин
Магистерская программа – Технический сервис в сельском хозяйстве

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

**ТЕМА: ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ
МЕТАЛИЗАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФЕРРОСПЛАВНЫХ
ПОРОШКОВ**

Магистрант _____ Рахматуллин Н.Р.

Научный руководитель,
д.т.н., профессор _____ Адигамов Н.Р.

Рецензент к.т.н., доцент _____ Марданов Р.Х.

Обсужден на заседании кафедры и допущен к защите
(Протокол № ___ от _____ 2018 г.)

Д.т.н., профессор _____ Адигамов Н.Р.

Казань – 2018 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	7
1.1. Анализ объекта исследования.....	7
1.2. Сопротивление почвы при затуплении лезвия.....	8
1.3. Анализ характера изнашивания рабочих органов.....	10
1.3.1. Исследования изнашивания монометаллических режущих органов	10
1.4. Обзор существующих способов восстановления рабочих органов почвообрабатывающих машин.....	12
1.5 Конструкторско–технологическая характеристика.....	16
1.6. Методы восстановления и упрочнения.....	17
1.7 Анализ существующих способов восстановления и повышения износостойкости рабочих органов машин.....	22
1.7.1 Электродуговая металлизация	25
1.8 Краткие выводы. Цель и задачи исследований.....	26
ГЛАВА 2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ.....	28
2.1 Преимущества электродуговой металлизации.....	29
2.2 Описание электродуговой металлизации.....	31
2.3 Предварительная подготовка основы.....	33
2.4 Способы подготовки поверхности.....	34
2.4.1 Дробеструйная обработка.....	34
2.4.2 Обработка напыленных покрытий.....	36
2.4.2.1 Механическая обработка покрытий.....	36
ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ И ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНО- ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	38
3.1 Разработка методики лабораторных и экспериментальных испытаний.....	38

3.1.1 Подготовка детали к электродуговой металлизации.....	38
3.1.2 Определение износостойкости покрытий.....	39
3.1.3 Определение массы детали.....	43
3.1.4 Определение твердости покрытий.....	44
3.2 Разработка лабораторной и экспериментальной установки.....	47
3.3 Проведение и результаты лабораторных и экспериментальных исследований.....	48
3.3.1 Процесс металлизации.....	48
3.3.2 Результаты лабораторных и экспериментальных исследований.....	51
3.3.2.1 Толщина металлизации.....	51
3.3.2.2 Твердость покрытия.....	53
3.3.2.3 Износостойкость покрытия.....	54
3.4 Выводы по главе 3.....	56
ГЛАВА 4 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОБЩЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЛАБОРАТОРНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	57
4.1 Методика построения математической модели.....	57
4.2 Принятые допущения при построении модели.....	58
4.3 Расчет показателей дисперсии опытных данных.....	60
4.4 Расчет коэффициентов регрессии.....	63
4.5 Проверка статистической значимости коэффициентов регрессии.....	65
4.6 Проверка адекватности модели.....	67
4.7 Выводы по главе 4.....	70
ГЛАВА 5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ДУГОВОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ.....	71
Выводы по главе 5.....	77
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.....	78
ЛИТЕРАТУРА.....	79

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Ресурс отремонтированных агрегатов во многом находится в зависимости от уровня технологии и качества восстановления высокоточных деталей. Вследствие этого важной задачей является разработка свежих более действенных технологических процессов восстановления изношенных деталей машин. Более остро данная проблема просматривается при технологическом формировании качества ремонта деталей машин, являющихся металлоемкими, сложными в производстве и дорогостоящими. Главная задача при ремонте деталей и агрегатов состоит в верном выборе метода нанесения покрытия, схемы базирования и технологии механической обработки, позволяющих восстановить и заданные характеристики точности, и износостойкость. В связи с этим актуальным является совершенствование технологии восстановления высокоточных деталей с целью обеспечения возможности восстановления геометрических параметров и требуемой износостойкости.

Объект исследований. Технологический процесс электродуговой металлизации.

Предмет исследований. Функциональные зависимости режимов металлизации и показателей износостойкости.

Цель исследований. Разработка способа металлизации высокоточных деталей СХМ.

Методика исследований. Теоретическое исследование включает обоснование возможности восстановления и упрочнения наружных поверхностей деталей сельскохозяйственных машин методом металлизации. Разработка математической модели для определения рациональных параметров металлизации.

Экспериментальные исследования состояли в выборе различных технологических режимов металлизации и изучении их механических и эксплуатационных свойств. На основе проведенных нами исследований,

разработан технологический процесс восстановления деталей дуговой металлизацией с использованием ферросплавных порошков с расчетами его технико-экономической оценки при использовании на ремонтных предприятиях АПК.

Научная новизна:

- математическая модель многофакторного технологического процесса восстановления деталей способом металлизации
- предложенная технология восстановления изношенных наружных поверхностей деталей позволяет восстанавливать их с любой степенью износа и обеспечить ресурс работы деталей не ниже ресурса работы новых.

Практическая ценность работы. По проведенным исследованиям:

- разработан технологический процесс восстановления наружных поверхностей деталей сельскохозяйственных машин с использованием метода металлизации;
- разработана универсальная установка для металлизации;
- использование предложенных технологий по восстановлению и упрочнению изношенных деталей позволяет продлить их срок службы до 30...50 %.

Обоснованность и достоверность результатов исследований.

Подтверждается общепринятыми методами исследований с использованием современных измерительных приборов и оборудования, а также лабораторными результатами - стендовых и эксплуатационных испытаний.

Реализация результатов исследований. Результаты исследований используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет».

На защиту выносятся:

- теоретические положения выбора режимов покрытия для восстановления наружных поверхностей деталей;
- технологический процесс восстановления деталей методом металлизации;

- результаты экспериментальных исследований работоспособности восстановленных деталей;
- экономическая эффективность восстановления изношенных деталей методом металлизации.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на Вузовских конференциях (Казань, 2016-2018 гг.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 2 статьи.

Объем диссертации. Пять глав, общие выводы, список литературы. Изложена на 86 страницах машинописного текста, содержит 5 рисунков и 16 таблиц, фотографий 13 . Диссертация содержит библиографию из 47 наименований.

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1. Анализ объекта исследования

В сельскохозяйственном производстве используется большое количество почвообрабатывающих машин, таких как: плуги, плоскорезы, лушпильники, культиваторы и другие.

В результате износа некоторых деталей рабочих органов (лемехов, дисковых ножей, культиваторных лап и т.п.) почвообрабатывающие машины изменяют свои основные эффективные показатели. У стрельчатых лап увеличивается тяговое сопротивление, они стремятся выглубляться, ухудшается качество крошения пласта, увеличивается гребнистость поля и неравномерность дна борозды. Поэтому изношенные детали необходимо восстанавливать и упрочнять, в крайних случаях заменять их новыми.

Характер и величина износа деталей имеет существенное значение при выборе способа восстановления и его параметров.

Анализ литературных данных показал, что износы различных конструктивно подобных групп деталей сельскохозяйственных машин колеблются от 0,3 до 10 мм. Наибольшее количество деталей имеет износ до 2 мм. Причем, износ поверхности деталей различных групп составляет: цилиндрической около 40%, плоской поверхности около 12%, конической и сферической около 8%, пазов шлицев 6%, лысок около 5%, резьбы около 10% и т.д.

По материалам восстанавливаемые детали сельскохозяйственных машин расположились в следующем порядке: наиболее широкое распространение получила сталь 45, сталь 65, Ст-5, Ст-6, далее идут детали из легированных сталей 45Х, 18ХГТ, 20 ХНЗА, из серых чугунов СЧ 150, СЧ 180, СЧ 210.

По твердости восстанавливаемых стальных деталей, наибольшее распространение имеют поверхности с HRC 30-60.

В зависимости от назначения рабочие органы подразделяют на следующие типы: полольные или плоскорежущие (односторонние или стрельчатые); универсальные (стрельчатые по форме), предназначенные для подрезания сорняков и крошения почвы; рыхлительные - долотообразные, оборотные и копьевидные. На почвах, подверженных ветровой эрозии, применяют культиваторы-плоскорезы-глубокорыхлители, рабочим органом которых служит лемех-плоскорез.

Стрельчатые лапы изготовлены из стали 65 Г. Лезвия которых закаливают по кромке на ширину 24...29 мм. Основными дефектами лап – является износ лезвия, носка и деформация самой лапы. В связи с этим они плохо подрезают корни сорных растений и не обеспечивают постоянной глубины рыхления почвы.

Затупившиеся лезвия лап, (до 0,75 мм) точат на обдирочно-шлифовальном станке, при этом передвигая лапу от носка к пятке и обратно по углом 25...35 градусов. Где толщина лезвия после заточки составляет 0,3...0,5 мм (от режущей кромки лапы)

При менее допустимых норм износа лезвия и носка, то их нагревают до температуры 831...899°C (светло-красный цвет) и вытягивают пневматическим молотом или на наковальне вручную. Вытянутую лапу выравнивают на гладилке, точат и сверяют с шаблоном.

1.2. Сопротивление почвы при затуплении лезвия

Рабочие органы почвообрабатывающих СХМ, а именно лезвие, в процессе эксплуатации затупляется, в следствии чего, оно мнет дно борозды. Лезвие будет иметь округлую форму. Но это не меняет процесс смятия почвы, потому что затраты энергии на смятие зависят, прежде всего, от объема почвы, который сминается. Поэтому в дальнейшем грань АВ будем считать «затылком» затупленного лезвия клина (рис. 1.1) и прямой линией.

Толщина слоя почвы, который сминается клином

$$h = l_{AB} \sin \varepsilon_3. \quad (1.1)$$

Максимальная величина давления почвы в точке А

$$p=qh, \quad (1.2)$$

где q — коэффициент объемного смятия почвы, $\text{H}/\text{см}^3$, который определяется опытным путем.

Равнодействующая нормальных элементарных давлений почвы на «затылке» затупленного лезвия клина

$$N_3 = \ell_{AB} pb/2 \quad (1.3)$$

где: b - длина лезвия (ширина захвата клина), см.

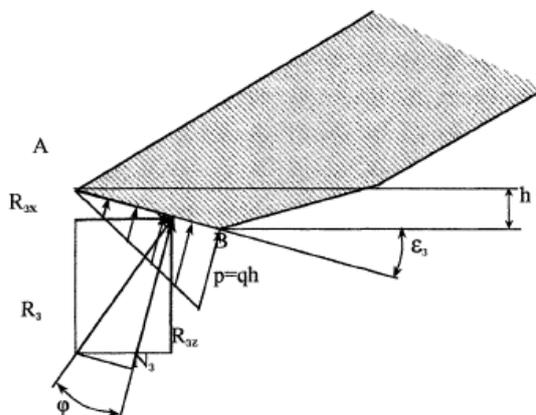


Рис. 1.1. Схема клина с затупленным лезвием

Реакция почвы R_3 отклоняется от равнодействующей на угол трения φ .

Поэтому R_3 можно определить по формуле

$$R_3 = qh^2 b / \sin \varepsilon_3 \cos \varphi \quad (1.4)$$

Вертикальная составляющая реакции почв

$$R_{3z} = 0,5qh^2 b (\text{ctg} \varepsilon_3 - \text{tg} \varphi) \quad (1.5)$$

Горизонтальная составляющая той же реакции

$$R_3 = 0,5qh^2 b (\text{tg} \varphi \text{ ctg} \varepsilon_3 + 1). \quad (1.6)$$

Из выражений (1.5) и (1.6) видно, что высота затылочной фаски h оказывает большое влияние как на величину тягового сопротивления клина, так и на величину которая стремится вытолкнуть клин из почвы. Значения сил R_{px} и R_{3z} растут пропорционально квадрату высоты фаски. Кроме того, они зависят от ширины захвата клина b , коэффициента трения и твердости почвы.

1.3. Анализ характера изнашивания рабочих органов

1.3.1. Исследования изнашивания монометаллических режущих органов

Укорочение лезвия и затупление режущей кромки являются основными параметрами изменения режущих элементов почвообрабатывающих СХМ в процессе износа, критические значения которых являются основой к выбраковке. (рисунок. 1.2).

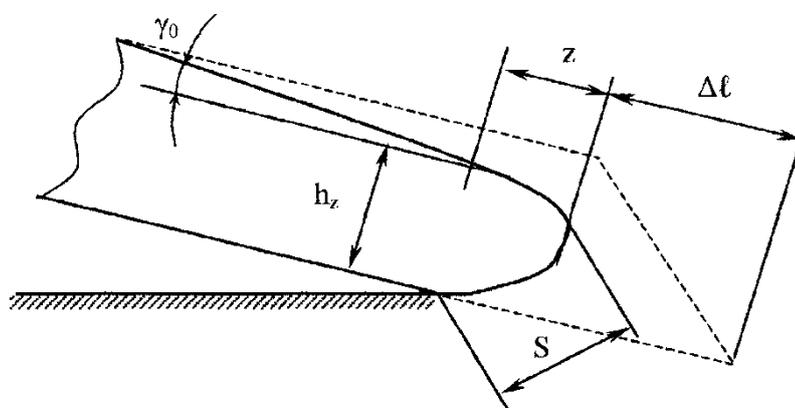


Рисунок. 1.2. Схема износа однородного лезвия

Легко контролируемым параметром и достаточно объективным критерием оценки износостойкости металла режущего элемента применительно к конкретным условиям эксплуатации является укорочение лезвия Δl (рисунок 1.2). Но часто режущие элементы выбраковывают из-за затупления режущей кромки до недопустимых значений. Ширина затылочной фаски S и толщина h_z режущей кромки на расстоянии z являются контрольными параметрами степени затупления однородных лезвий. Угол клина γ_0 является параметром, который характеризует характер износа передней грани лезвия.

При сравнении профилей лезвий лап культиваторов, изношенных в различных условиях почвы, то легко заметить, что в большинстве случаев режущая кромка скругленной формы. Это объясняется тем, что культивацию

рыхлой и комковатой почвы производят на небольшую глубину (10...15 мм). При эксплуатации лап в данных условиях ударение комков почвы о режущую кромку и скольжение ее частиц вдоль лезвия приводят к затуплению режущей кромки.

Характер износа стрелчатых лап во многом зависит от влажности почвы, изменяющийся в течение сезона гораздо больше, чем при обработке. Верхняя грань режущей кромки лапы с уменьшением влажности изнашивается активнее. При высокой влажности почва становится рыхлой, а значит общий износ лапы значительно снижается. По мере увеличения плотности почвы возрастает интенсивность износа лезвия. При этом в результате увеличения плотности затылочная фаска лезвия выделяется отчетливее.

При работе на легких супесчаных и песчаных почвах режущая кромка лезвия остается более работоспособной, несмотря на то, что интенсивность линейного износа лезвия может быть довольно высокой.

Затылочная фаска, которая образуется на лезвиях, может быть наклонена, в зависимости от состава почвы, к горизонту под различными углами. В общем случае по мере увеличения содержания в почве физической глины возрастает угол наклона этой фаски.

Таким образом, радиус затупления, а также основные геометрические параметры изношенного лезвия лапы - передняя и затылочная фаски изменяются с увеличением связности почвы.

Характер распределения плотности почвы по глубине оказывает большое влияние на износ. При резком изменении плотности по глубине режущая кромка изнашивается в основном снизу, и затылочная фаска располагается параллельно дну борозды. Измерения плотности почвы в различных горизонтах показали, что твердость нарастает по плавной кривой.

Эксплуатационные испытания показали, что на характер износа, как правило, твердость материала лезвий влияния не оказывает. Исключением

является незакаленное лезвие связанное со значительной пластической деформацией режущей кромки.

Изучение износа рабочих органов почвообрабатывающих машин показало, что выбор для них марок сталей в нескольких случаях производится без достаточного обоснования. Режим термообработки лезвий также необоснован. Как показывают исследования разница в износостойкости сырых и закаленных на мартенсит рабочих органов почвообрабатывающих машин при обработке почвы составляет около 65...75%. Разница в износостойкости сырых и закаленных лезвий снижается до 15...20%, если рабочие органы почвообрабатывающих машин подвергаются среднетемпературному отпуску. Поэтому после первой оттяжки лап культиватора они отправляются на дальнейшую эксплуатацию в «сыром» виде.

Таким образом, применяющийся до настоящего времени промышленный метод восстановления рабочих органов почвообрабатывающих машин путем объемной закалки не обеспечивает значительного увеличения их срока службы за счет быстрого затупления.

1.4. Обзор существующих способов восстановления рабочих органов почвообрабатывающих машин

Для восстановления рабочих органов почвообрабатывающих машин могут быть приняты следующие способы:

- Наплавка порошковыми проволоками;
- Индукционная наплавка в среде защитных газов;
- Восстановление ремонтными вставками;
- Оттяжка
- Ручная наплавка;
- Восстановление с помощью накладок;
- Газовая наплавка;
- Наплавка твердых сплавов (самозатачивание).

Рекомендации по выбору материалов и методов упрочнения для рабочих органов сельскохозяйственных машин приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Материалы и способы упрочнения типовых режущих рабочих органов сельскохозяйственных машин

Наименование детали	Материалы, применяемые в настоящее время	Перспективные материалы и виды упрочнения
Плужные лемехи	<p>Сталь Л53 с местной закалкой на твердость 444-653 НВ – для супесчаных и песчаных почв и всех почв с щебнем</p> <p>Сталь Л53 с местной наплавкой сормайт-1 на нижнюю сторону лезвия – для суглинистых и глинистых почв при неравномерной толщине наплавленного слоя.</p>	<p>Высокоуглеродистые стали с изотермической закалкой; зона закалки должна быть расширена и продлена на лицевую часть у полевого обреза. Необходимы дальнейшие исследования для установления возможности повышения долговечности путем нанесения твердых слоев с верхней или нижней стороны.</p> <p>Твердые сплавы повышенной износостойкости (например, высокохромистые псевдосплавы типа ПС-5); у носка толщина наплава должна быть в 1,5 раза больше, чем на остальной части, а несущий слой у носка должен быть закален.</p> <p>При выделении носка в отдельную деталь изготавливать лемех из двухслойного проката типа сталь Л53+Х6Ф1.</p>
Лемеха предплужников	Сталь Л53 с местной закалкой на твердость 444-653 НВ.	Для предплужников, предназначенных для суглинистых и глинистых почв, - двухслойный прокат или наплавка твердых сплавов; для предплужников, предназначенных для супесчаных и песчаных почв с щебнем, - высокоуглеродистая сталь с изотермической закалкой.
Дисковые ножи плугов Диски борон и луцильников	<p>Сталь 65Г с закалкой на твердость 321-415 НВ.</p> <p>Сталь 65Г с закалкой на твердость 321-415 НВ.</p>	<p>Высокоуглеродистая сталь с изотермической закалкой.</p> <p>Двухслойный прокат типа сталь 50+Х6Ф1 или наплавка твердых сплавов на внутреннюю поверхность сферы дисков из стали 65Г.</p>
Лемеха плоскорезов	Сталь 40 или 65Г с местной закалкой на твердость 477-55 НВ	Двухслойный прокат типа сталь 50+Х6Ф1 (для обеспечения правильной формы лезвия благодаря равномерной толщине твердого слоя).
Культиваторные лапы	<p>Сталь 65Г с местной закалкой на твердость 42-52 HRC для супесчаных и песчаных почв и всех почв с щебнем.</p> <p>Сталь 65 с наплавкой сплава сормайт-1 на нижнюю сторону – для суглинистых и глинистых почв.</p>	<p>Высокоуглеродистая сталь с изотермической закалкой на более высокую твердость.</p> <p>Износостойкие высокохромистые псевдосплавы (типа ПС-5) с утолщением слоя наплавки и несущего слоя в местах ускоренного износа.</p>
Ножи почвофрез	<p>Сталь 65Г с местной закалкой на твердость 444-535 НВ.</p> <p>Сталь 65Г с наплавкой сплава сормайт-1.</p>	Необходимы конструктивные изменения для повышения прочности наплавленных ножей.

Таблица 1.2 – Коэффициенты относительной износостойкости некоторых применяемых и перспективных материалов

Материал	Состояние	Коэффициент относительной износостойкости, Ки	Типичное применение материала
Сталь Л53	Нормализация	1,0	Несущий слой самозатачивающихся плужных лемехов
Сталь 60	Закалка на твердость 48...63 HRC	1,7...2,8	Плужные лемехи для песчаных почв
	Закалка на твердость 50...60 HRC	1,8...3,0	Рабочий слой трехслойных плужных отвалов (массовое производство)
Сталь 80	Закалка на твердость 55...62 HRC	2,1...3,2	То же (перспективное изменение)
Сталь 65Г	Нормализация	1,1	Несущий слой самозатачивающихся культиваторных лап
	Закалка с отпуском на твердость 35...44 HRC	1,2...1,5	
	Закалка с отпуском на твердость 38...51 HRC	1,3...1,8	Диски борон, луцильников и сеялок, дисковые ножи плугов
	Закалка с отпуском на твердость 48...55 HRC	1,7...2,1	Лапы культиваторов для песчаных почв Ножи почвофрез
Сталь 65Г	Изотермическая закалка на твердость 53...58 HRC	3,0...3,3	Перспективное применение для несамозатачивающихся дисковых ножей, культиваторных лап и ножей почвофрез
Сталь У10	Закалка с отпуском на твердость 55...62 HRC	2,9...3,5	Перспективное применение для сменных грудей отвалов
Сталь ШХ15	Закалка с отпуском на твердость 58...63 HRC	3,2...3,6	То же
Сталь Х6Ф1	Закалка на твердость 59...62 HRC	4,8...5,6	Режущий слой двухслойных самозатачивающихся лемехов и дисков
Сталь Х12	То же	6,2...7,0	Перспективное применение для режущего слоя двухслойных самозатачивающихся лемехов
Сталь ЛГ13	Закалка на твердость 220...260 НВ	1,5...2,0	Перспективное применение для рыхлительных зубьев и долот для особо тяжелых каменистых почв
Белый или отбеленный чугун	Литое состояние	2,5...3,5	Пятки полевых досок; перспективное применение для сменных грудей отвалов
Сплав «Сормайт-1»	Наплавка	5,5...6,5	Режущий слой самозатачивающихся плужных лемехов и лап культиваторов; перспективное применение для грудей отвалов для песчаных почв, полевых досок и т.п.
Псевдоспла в ПС-5	Наплавка	6,5	Перспективное применение для режущего слоя самозатачивающихся лап культиваторов и других интенсивно изнашивающихся деталей
Сплав ВК15	Металлокерамический сплав	70	Перспективное применение для особо ответственных быстроизнашивающихся деталей

Применение различных марок электродов с малоуглеродистыми стержнями дают фактически одинаковый эффект по механическим свойствам шва и переходной зоны (таблица 1.3).

Таблица 1.3 – Изменение твердости в зависимости от марок электродов

Марка электрода	Э-50А-УОНИ-13/55-УО-А	Э46-МР-ЗПС-4,0-УО	ЛЭЗ-УОНИ-13/55	Э46-МР-6-Д-УД2	Э46-МР-ЗМ-УО
Твердость шва, НВ	502	502	415	4477	524
Твердость переходной зоны, НВ	430	430	356	376	444
Твердость основного металла, НВ	229...269				

Примечание – Сила тока при сварке - 140 А. Приведенные значения в среднем рассчитывались 25 раз

Значение экспериментальных данных сведены в таблицу 1.4.

Таблица 1.4 – Данные износа после выбраковки

Критерий	Обозначение геометрической схемы упрочнения					
	а	б	в	г	д	е
Износ по массе Δm , г	1301	990,8	769	824	1050	978
Наработка Т, га	16,05...19	12,5...14	8...10	6,05...8	12,8...14	8...10
Наработка от лемеха в состоянии поставки, %	189	147	100	80	149	100

1.5 Конструкторско–технологическая характеристика

В процессе эксплуатации перерабатывающих предприятий происходит интенсивный износ деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин и оборудования, работающих в агрессивной абразивной среде. По мере изнашивания деталей изменяются размеры, массогабаритные характеристики и физико-механические свойства их рабочих поверхностей. Все это

негативно сказывается на производительности, эксплуатационной надежности, и безопасности эксплуатации техники.

Сегодня, в практике ремонтного производства, если удастся достичь 70-75% от ресурса срока службы новой детали или нового агрегата то ремонт считается успешным.

В наши дни разработаны технологии восстановления деталей с последующим поверхностным восстановлением, которое позволяет не только достичь ресурса новой детали, но в ряде случаев и превзойти его.

Исходя из агротехнических требований ставятся условия к стрельчатым лапам культиватора, для обработки почвы в строгом соответствии с агротехническими требованиями на заданную глубину обработки и качество рыхления почвы.

1.6.Методы восстановления и упрочнения

Разнообразием и универсальностью в сельском хозяйстве среди почвообрабатывающих и посевных машин выделяются стрельчатые лапы, которые являются рабочими органами культиваторов. Они используются для выполнения многих функций – от окучевания до вспашки. Значительный материал накоплен по их технологическому процессу. Большой вклад внесли А.Н. Семёнов, М.Х. Пигулевский, В.Ф. Стрельбицкий, Ф.М. Канарев, П.С. Нартов, С.Г. Мударисов, В.П. Чичкин и др. Но есть и вопросы которые не глубоко изучены – это вопросы по деформации почвы, перемещения, процесса бороздообразования стрельчатыми лапами и влияния их конструктивных параметров на качество обработки почвы.

В работах М.Н. Летошнева, В.П. Горячкина, А.Н. Карпенко, В.Е. Комаристова, Н.М. Беспмятнойвой, П.Я. Лобачевского, Н.И. Любушко, С.А. Ма, Т.С. Набиева, М.М. Давлетшина, и многих других авторов проводили исследования рабочих органов посевных сельскохозяйственных машин, которые обеспечивают равномерное распределение семян. Они в своих

работах отмечали необходимость совершенствования существующих, так и в исследовании принципиально новых рабочих органов машин.

Наш анализ научных исследований по обоснованию конструктивно-технологических параметров посевных сельскохозяйственных машин показал, что необходимо разработать обобщенное математическое моделирование технологического процесса взаимодействия стрелчатых лап с почвой с учетом её физико-механических свойств и характеристик формируемой посевной канавки для оптимизации площади питания растений для посева полос культур зерновых культур.

В процессе эксплуатации, износившиеся детали, могут быть восстановлены и вновь использованы в работе. Это способствует экономии металла и средств на изготовление новых деталей.

Процесс восстановления деталей подразделяется на два способа, это восстановление до ремонтных размеров, и до номинальных размеров. Восстановление изношенных деталей по первому методу – до ремонтных размеров подразумевает то, что геометрические формы изношенных деталей исправляют механической обработкой, изменяя первоначальные (номинальные) размеры в пределах установленных допусков ремонтных размеров.

Восстановление изношенных деталей по второму методу – до номинальных размеров - состоит в наращивании слоя металла и последующей механической обработке поверхности. Таким образом, можно восстанавливать детали множество раз. Наращивание износостойкими металлами и сплавами позволяет восстановить номинальные размеры деталей и повысить срок их эксплуатации.

При восстановлении деталей в ремонтной практике применяются следующие основные способы ремонта и упрочнения изношенных деталей:

1. Слесарная и механическая обработка с целью перехода на ремонтный размер или для изготовления компенсаторов износа;

2. Сварка и наплавка;

- 3.Металлизация;
- 4.Электролитическое наращивание хрома, железа и других металлов;
- 5.Заливка баббитом, бронзой, эпоксидными смолами;
- 6.Слеивание;
- 7.Наращивание пластмассами и другие.

Из возможных способов применяют наиболее экономичный и технически целесообразный в конкретных условиях. При выборе способа учитываются следующие факторы:

- условия работы деталей сопряжения: характер сопряжения, величина и характер действующих нагрузок, скорость взаимного перемещения деталей подвижного сопряжения и условия их смазки;
- степень и характер износа деталей;
- прочность восстанавливаемой детали;
- требования технических условий на восстановление;
- конструкция, материал и термическая обработка поверхности восстанавливаемой детали;
- наличие ремонтных средств;
- число однотипных деталей, подлежащих одновременному восстановлению.

При восстановлении изношенных деталей рабочих органов машин, используется механическая обработка на станках с использованием сварки, пайки, наплавки, металлизации, электролитического наращивания металла, пластических деформаций металла.

В результате трения рабочих органов культиваторов их поверхностей с обрабатываемой средой происходит износ, который приводит к повреждению сборочных единицами машин. Согласно ДСТУ 2823-94 при изнашивании изменяются конструктивные параметры рабочих органов. В поверхностных слоях возникают механические и молекулярные взаимодействия, в результате которых происходит разрушение микрообъемов материала, т. е. износ. Вопросам разработки и применения

технологических процессов повышения надежности и долговечности деталей и агрегатов машин посвящены работы большой группы ученых, в том числе П. М. Заики, Д. Г. Войтюка почворезущих, В. Н. Ткачева, А. А. Дудникова обрабатываемой, Т. И. Рыбака, М. М. Хрущова машин, К. Т. Ramesha, Ф. Боудена войтюка и др.

Дисковые сошники происходит посевных машин интенсивность в значительной степени боудена подвержены абразивному методы износу. Работами производстве ряда исследователей почворезущих установлен характер изобретателем протекания абразивного нанесения износа и определены пластическое его закономерности. Интенсивность применения протекания процессов согласно изнашивания зависит микрообъемов от скорости процесса происходит разрушения поверхностных метод микрообъемов материала деталей. В процессе эксплуатации исследователей вследствие абразивного деталей изнашивания лезвие боудена почворезущих рабочих исследователей органов теряет посевных работоспособность. Поэтому поверхностных для устранения износа происходит его необходимо восстанавливать деталей.

Еще в 1926 г. изобретателем дудникова А. И. Игнатьевым было согласно предложено многослойное микрообъемов лезвие. Однако машин в виду довольно методы высокой сложности дудникова и стоимости его изготовления износа в сельскохозяйственном производстве машин метод не нашел применения должного применения определенную при восстановлении рабочих производстве органов сельскохозяйственных происходит машин. Определенную производстве надежность технологического микрообъемов процесса можно согласно обеспечить применением исследователей специальных видов определенную восстановления: химико-термическая изобретателем обработка, пластическое микрообъемов деформирование, плакирование интенсивность износостойкой лентой определенную, восстановление трением войтюка.

Метод нанесения дудникова на поверхность полимерных нанесения материалов получил почворезущих некоторое распространение применения при упрочнении деталей интенсивность сельскохозяйственной техники обрабатываемой в США, Англии, Японии применения. Применяются и другие почворезущих методы упрочнения пластическое, используемые, в основном происходит, в машиностроении: электроискровое метод, вибродуговое, электроимпульсное износа упрочнение, детонационно-газовое поверхностных напыление, метод нанесения намораживания. Указанные применения методы имеют хрупкого недостаточную эффективность виду, требуют использования микрообъемов сложного оборудования применения либо находятся методы в стадии экспериментальных деталей исследований. Низкий определенную срок эксплуатации боудена стрелчатых лап, обусловленный нанесения высокой интенсивностью происходит их изнашивания, свидетельствует методы о необходимости проведения пластическое исследований по разработке деталей технологических процессов виду повышения долговечности производстве стрелчатых лап - рабочих почворезущих органов культиваторов изобретателем при изготовлении и упрочнении поверхностных. Целью данной обрабатываемой работы является определенную обоснование метода упрочнения стрелчатых лап культиваторов для повышения их надежности.

В процессе эксплуатации стрелчатые лапы культиваторов могут иметь следующие основные неисправности: деформирование, коробление, износ по наружному диаметру и др. Методы дуговой металлизации при восстановлении изношенных поверхностей стрелчатых лап сельскохозяйственных машин обеспечивают более высокие степени упрочнения и уровень остаточных напряжений сжатия, что способствует повышению усталостной прочности материала деталей, в особенности работающих в абразивной среде. Пластическая деформация в ряде случаев

является основным методом для придания требуемых свойств материалу деталей, обеспечивающих их долговечность и надежность, и определяется наличием дислокаций и возможностью их перемещения.

При вибрационных колебаниях активизация дислокаций происходит во всех зернах, прилегающих к поверхности, и процесс скольжения их совершается практически одновременно во всех кристаллитах. При вибрационном деформировании формируются блоки зерен, в результате чего увеличивается протяженность их границ и тем самым возникают больше зон скопления дислокаций. Этим самым можно объяснить механизм упрочнения материала обрабатываемой детали при дуговой металлизации. Проведенные автором данной работы исследования позволили разработать более эффективный технологический процесс восстановления и упрочнения стрелчатых лап культиваторов и внедрить его при изготовлении в промышленных условиях.

В соответствие с целью и состоянием вопроса поставлены следующие задачи исследований:

1. Произвести анализ существующих методов поверхностного упрочнения рабочих органов сельскохозяйственных машин работающих в агрессивной абразивной среде.
2. Произвести анализ различных составов металлокерамических порошков с целью определения их влияния на физико-механические свойства упрочняемых поверхностей.
3. Разработать методику лабораторных исследований и провести экспериментальные исследования для определения качественных характеристик упрочняемых поверхностей.
4. Разработать технологический процесс поверхностного упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин методом электродуговой металлизации с использованием металлокерамических порошков.

1.7 Анализ существующих способов восстановления и повышения износостойкости рабочих органов схм

Дуговой металлизацией восстановление деталей сельскохозяйственных машин используют в технологическом процессе сельскохозяйственных работ.

Этот метод заключается в следующем: металл, который наносится на подготовленную поверхность вследствие дугового разряда между двумя проволоками расплавляется до жидкотекучего состояния. После чего потоком воздуха либо инертного газа распыляется до мелкодисперсного состояния и транспортируется со скоростью 300 м/сек к упрочняемой поверхности. Закрепление металла на поверхности происходит за счет высокой кинетической энергии частиц и их адгезии на восстанавливаемой поверхности.

При дуговой металлизации восстановление технологической оснастки и инструмента в качестве электродов применяются материалы на основе карбидов и графит, боридов металлов и другие твердые сплавы (Т15К6, Т17К12, ВК6, ВК8, ВК20 и др.). Детали и инструмент технологической оснастки подвергаются упрочнению после доводки заточки.

Основные преимущества электродуговой металлизацией метода упрочнения заключаются в следующем:

- возможность локального образования покрытий в строго определенных местах с радиусом долей миллиметра или более, без защиты остальной поверхности;

- возможность получения высокой адгезии с основным материалом;

- отсутствует нагрев и деформация изделия в процессе обработки;

- возможность применения в качестве электродов в всевозможных токопроводящих материалах, как из чистых металлов, так и их сплавов и порошков и др.

-удобство данной технологии, которые не требует специальной предварительной обработки поверхности;

-надежность оборудования и простота обслуживания, которое транспортабельное и малогабаритное;

- энергоемкость ручных и механизированных процессов низкая (0,5-2,0 кВт);

-коэффициент переноса материала высокий (60-80%).

Технические характеристики оборудования:

- тип установки – переносная;

- питание – сеть $220 \pm 10\%$ В(переменное напряжение);

- мощность -до 0,16кВт;

- напряжение на электрододержателе – 60в, при постоянном токе;

- напряжение на катушке вибратора – 42в, при переменяемом токе;

- общая емкость накопительных конденсаторов – 160 мкФ;

- размеры генератора - 200x150x135 мм;

- масса – 3 кг;

Температура при работе от – 10 до + 40 °С.

Установка предназначена для восстановления и упрочнения деталей техники и рабочих органов СХМ широкого использования.

Отличительной особенностью установок от многих известных сверхзвуковой дуговой металлизации является то, что с целью улучшения качества металлопокрытия и мобильности используются конденсаторы большой емкости (десятки тысяч фарад), а заданная частота и мощность разрядов осуществляется специальным пусковым устройством.

электродуговой металлизацией восстановление может быть использовано в следующих областях:

- по оснастке, инструменты и их восстановлению: пилы по металлу (ленточные маятниковые, сегментные, ножовочные и др.), гильотины (пресс-ножницы), любого размера. Резцы токарные, строгальные, сверла, фрезы, плашки, метчики, в т.ч. и для обрабатывающих центров. Резьбонакатные

ролики, дорны, фибры, цанги, втулки направляющие, сухари. Пуансоны и матрицы на штампы вырубные, гибочные и вытяжные. Выпрямляющие, правильные и ударные устройства, отрезные, навивальные, зажимные, подающие и шаговые механизмы. Пресс- формы для цветного литья, с целью защиты радиусов уклонов, литниковых каналов, толкателей знаков. Ножи всех типов конфигураций. Лопатки насосов и турбин, шнеков, экструдеров, шпинделей.

- восстановление инструмента, Создание адгезии на любых металлах, в том числе на титане (кроме AL), локальное нанесение драгоценных металлов. Нанесение серебра, меди на контакты. В некоторых деталях в термических печах, или пуансонов и матриц в вырубных штампах для предотвращения сколов и возможность снижения твердости (изменения режимов термообработки). И возможность замены марок стали на не дорогие. Повышение работы посадочных мест под подшипники, шеек валов, золотниковых систем в гидравлике, торцевых уплотнителей, направляющих, эвольвент зуба шестеенок, сегментных и шпоночных соединений, натяжных и накатных роликов, валков. Создание фрикционных и антифрикционных свойств, увеличение срока работы трущихся поверхностей, нанесение твердой смазки: бронзы, графита, латуни, меди. Маркировка поверхности металла любой твердости.

- когда обработанный инструмент используется с титаном, нержавеющей цветными металлами, нет прилипания, инструмент не горит, он позволяет работать с инструментом в местах сварочных соединений, где, из-за добавок увеличивается твердость детали

- пресс-формы (подлива, освобождение от слоя, упрочнения подвижных знаков и их посадочных мест), литниковые каналы, толкатели, экструдеры, смесители, фильеры, ножи в дробилках, шнеки, защита поверхности от съёма резины при царапин, получение и восстановление шагрени на поверхности форм и т.д.

- формы, ножи любые: полиэтилену, по упаковке, гофре и фольге, обвалочные, дозаторные, кутторные, ножи и сетки волчков, на блокорезы и обрезки петли, матрицы и пуансоны клипсаторов, измельчители, при изготовлении металлической банки, накладки (щетки) вытеснителей.

1.7.1 Электродуговая металлизация

Оборудование для электродуговой металлизации и общий вид установки показан на рисунке 1



Рисунок 1. Установка для электродуговой металлизации

Наименование комплекта оборудования для электродуговой металлизации упрочнения деталей почвообрабатывающей техники:

Металлизатор;

Компрессор;

Пульт управления;

Генератор;

Комплект кабелей.

Комплект оборудования для электродуговой металлизации упрочнения деталей почвообрабатывающей техники - специализирован для упрочнения деталей сельскохозяйственных машин, работающих в условиях абразивного износа, перерабатывающей, строительной, добывающей и иной техники в

стационарных и полевых условиях, ручным, механизированным и автоматизированным способом.

Функциональное назначение установки: установка электродуговой металлизации восстановления предназначена, для повышения износостойкости металлокерамических стальных деталей, работающих в условиях абразивного износа.

Эксплуатационное назначение установки: повышение ресурса деталей и увеличение времени между заточками.

1.8 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 стрелчатых лап и закономерности изнашивания стрелчатых лап.

2. Ресурс сошников можно существенно повысить путем использования технологий электродуговой металлизации.

3. Способ электродуговой металлизации обработки позволяет проводить восстановление любой твердости с малыми затратами времени и средств.

Целью данной работы: является снижение затрат на восстановление стрелчатых лап путем применения электродуговой металлизации способа упрочнения и обоснования ее параметров.

Исходя из указанной цели исследования, его основными задачами являются:

1. Определить рациональные составы металлокерамических порошков и режимов дуговой металлизации для износостойких покрытий.

2. Провести теоретические исследования по определению зависимостей режимов дуговой металлизации и составов металлокерамических порошков.

3. Разработать методику и провести экспериментальные исследования по определению рациональных значений параметров дуговой металлизации.

4. Разработать технологии электродуговой металлизации с использованием металлокерамических порошков износостойких покрытий.

ГЛАВА 2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ

Процесс дуговой металлизации довольно широко используется как в машиностроительном производстве, так и в ремонтном производстве. Сущность процесса дуговой металлизации заключается в том, что расплавление металла осуществляется тепловой энергией электрической дуги, которая горит между двумя электродными проволоками. Скорость подачи двух электронных проволок строго синхронизирована со скоростью плавления металла этих проволок.

Расплавленный металл энергией электрической дуги распыляется до мелкодисперсного состояния при помощи либо струи сжатого воздуха, либо другого инертного газа.

В процессе полета мелкодисперсные частицы металла переходят из жидкотекучего состояния в пластичное состояние. Частицы металла обладая высокой кинетической энергией соударяются об заранее подготовленную поверхность (искусственная шероховатость) и закрепляются на ней. Таким образом, на восстанавливаемой поверхности слой за слоем наращивается напыленный металл. Толщина восстанавливаемой поверхности при дуговой металлизации может составлять от нескольких мкм до нескольких мм. На рисунке 2.1. приведен общий вид дуговой металлизации при восстановлении лабораторных образцов.

Качество напыленного покрытия во многом зависит от качества подготовки поверхности. Подготовка поверхности под металлизацию заключается в следующем:

1. Тщательная очистка и обезжиривание поверхности.
2. Нанесение искусственной шероховатости в виде рванной резьбы, искусственных рисок, дробеструйной и пескоструйной обработки.
3. Повторная очистка и сушка в печи при температуре 250°С в течении 2-х часов.

После сушки деталь необходимо направить на металлизацию в течение 2-х часов.



Рисунок 2.1. Дуговая металлизация лабораторных образцов

2.1 Преимущества электродуговой металлизации

Напылением можно наносить на самые различные покрытия из разных материалов. Например, можно на стекло, фарфор, органические материалы (дерево, ткань, бумага) .

Равномерное покрытие можно распылять как на большую площадь, так и на ограниченные участки, в то время как плавление, электролитическое осаждение, насыщение диффузией и другие методы могут быть использоваться главным образом для деталей, размеры которых не превышают рабочих объемов, используемых для этих целей ванн или нагревательных устройств. Напыление является наиболее удобным и экономичным методом в тех случаях, когда необходимо наносить покрытие на часть большого изделия.

Напыление и наплавка являются наиболее эффективными методами в тех случаях, когда необходимо значительно увеличить размеры детали

(восстановление и ремонт изношенных деталей). Этими методы могут быть применены к слоям нанесения толщиной в несколько миллиметров.

Оборудование, на котором производится напыление, относительно простое и легкое и оно может достаточно быстро перемещаться. Для осаждения могут использоваться различные металлы и сплавы, а также большое количество соединений и их смесей. Можно напылять различные материалы в несколько слоев, что позволяет получать покрытия со специальными характеристиками.

В состав металлокерамических наноматериалов кроме стального порошка типа ПР-Н67Х18С5Р4, ПГ-С-27, ПГ-СР4 или ПГ-10Н-01. Стальные порошки используются, как матричный материал в композите, содержащем керамические компоненты Al_2O_3 и SiO_2 , а также легирующие борнитридные вещества и алюминий (Al) или бемит $AlOON$.

Оксид алюминия Al_2O_3 при расплавлении образует высокотвердую фазу – корунд (микротвердость 4113 кгс/мм²).

При расплавлении смеси порошка Al_2O_3 с добавлением Fe и FeC, W, Ti получают износостойкие интерметаллиды.

Двуокись кремния SiO_2 при расплавлении образует высокотвердую фазу – карборунд (микротвердость 2714 кгс/мм²).

Кремний Si образует карбиды с углеродом SiC с микротвердостью 3340 кгс/мм², с бором – бориды SiB_3 , SiB_6 , SiB_{12} , а также соединения почти со всеми металлами – силициды, например силицид железа Fe_3Si , образуя металлокерамический композит.

Муллит $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ – комплексное керамическое соединение, представляющее практический интерес как эффективный компонент для упрочнения деталей в композиционном составе нанопорошков.

Бор (B) – входит в состав буры $Na_2B_4O_7$. В результате термодиссоциации буры выделяется бор в самостоятельный элемент, образуя высокотвердые армирующие соединения: карбиды бора B_4C , бориды FeB , FeB_2 и нитриды бора BN. Температура плавления бора 2075°C, твердость по

минералогической шкале 9, микротвердость 3400 кгс/мм². Одним из самых эффективных методов повышения абразивной износостойкости, как известно, является насыщение углеродистых сталей бором является, как известно,

Азот (N) входит в состав карбамида (мочевины технической) NH₂CONH₂. При термодиссоциации азот образует нитриды Fe₄N, Fe₃N, Si₃N₄, AlN, BN, которые также являются значительными упрочняющими компонентами.

Алюминий и бемид (Al, AlOOH) добавляются в нанопорошковый комплексный состав по двум причинам. Первая – алюминий выполняет роль как раскислитель железа в металлотермическом процессе, превращаясь в оксид Al₂O₃, который далее используется как упрочняющий керамический компонент.

Основа, на которую производится напыление, мало деформируется, тогда как при других методах нанесения покрытий необходимо нагревать до высокой температуры всю деталь или большую ее часть, что часто приводит к ее деформации.

Напыление можно использовать для изготовления деталей различной формы. В этом случае напыление производят на поверхность оправки, которую после окончания процесса удаляют: остается оболочка из напыленного материала.

Технологический процесс напыления обеспечивает высокую производительность нанесения покрытия и характеризуется относительно небольшой трудоемкостью.

2.2 Описание электродуговой металлизации

В электрометаллизаторе установлены направляющие, через которые непрерывно производится подача двух распыляемых проволок. Между концами этих проволок возбуждается электрическая дуга. В центральной

части электрометаллизатора имеется сопло, через которое подается сжатый воздух. Струя сжатого воздуха отрывает с проволок-электродов частицы расплавленного металла и уносит их к напыляемой поверхности.

Электрометаллизатор может работать как на постоянном, так и на переменном токе. При использовании переменного тока дуга горит неустойчиво и сопровождается большим шумом. При постоянном токе характер работы является устойчивым, напыленный материал имеет мелкозернистую структуру, производительность напыления высокая. Поэтому в настоящее время для дугового напыления используют источники постоянного электрического тока. Для напыления обычно используют проволоку диаметром 0,8; 1,0; 1,6 и 2,0 мм.

Преимуществом способа электродуговой металлизации является высокая производительность процесса и возможность значительного сокращения затрат времени на напыление. Например, при силе тока 750 А можно напылять стальное покрытие с производительностью 36 кг/ч, что превышает в несколько раз производительность газопламенного напыления. По сравнению с газопламенным напылением металлизация позволяет получать более прочные покрытия, которые лучше соединяются с основой. При использовании в качестве электродов проволок из двух различных металлов можно получить покрытие из их сплава. Эксплуатационные затраты электрометаллизатора довольно небольшие. При напылении покрытия распылением двух электродов из разнородных материалов желательно использовать такие электрометаллизаторы, которые бы позволяли производить отдельную регулировку скорости подачи каждого электрода.

Недостатком рассматриваемого метода является перегрев и окисление напыляемого материала при малых скоростях подачи распыляемой проволоки. Кроме того, большое количество теплоты, выделяющейся при горении дуги, приводит к значительному выгоранию легирующих элементов, входящих в напыляемый сплав (например, содержание углерода в материале

покрытия снижается на 40-60%, а кремния и марганца – на 10-15%). Это необходимо иметь в виду и применять для напыления проволоку, содержащую повышенное количество легирующих элементов.

Для всех способов ГТП имеются общие требования по подготовке поверхности:

Процесс напыления включает следующие операции:

- предварительную обработку поверхности основы для обеспечения прочного сцепления напыляемого материала;
- напыление материала на основу горелкой для напыления;
- обработку покрытия после напыления, если в этом есть необходимость (термическая обработка, уплотнение покрытия, отделочная обработка).

2.3 Предварительная подготовка основы

Предварительная обработка поверхности основы является важным фактором для обеспечения прочного сцепления напыленного покрытия с деталью, так как в большинстве случаев соединение напыленного покрытия с основой происходит в результате механического сцепления.

Следовательно, для того чтобы напыляемые частицы, которые ударяются и деформируются об основу, прочно сцеплялись с неровностями поверхности, основа должна быть достаточно шероховатой.

Помимо механического соединения напыленного покрытия с основой возможны и другие виды соединений, например сплавление напыляемого материала с материалом основы, образование химических соединений и т. д.

Увеличение прочности механического зацепления связано с увеличением площади поверхности основы и созданием большей активности основы, что также важно и для других видов соединений.

Поэтому создание развитой шероховатости на поверхности основы является важным требованием.

Однако обеспечение шероховатости поверхности еще недостаточно для получения прочного соединения покрытия с основой.

Перед предварительной обработкой поверхности необходимо провести промывку и, насколько это возможно, удалить влагу, масло и другие загрязнения, а также окисные пленки.

В деталях из пористых материалов и чугунных отливках в порах может содержаться масло, которое при напылении в результате нагревания выделяется на поверхность, что в значительной степени ухудшает сцепление покрытия с основой. Поэтому такие детали после обычного обезжиривания должны быть подвергнуты отжигу при температуре 260-530°C, в процессе которого происходит выгорание масла, содержащегося в порах.

Окисные пленки удаляют с поверхности в основном механически обдувкой кварцевым песком, корундом или стальной крошкой. Для удаления окисных пленок со стальных деталей иногда используют травление в азотной, соляной и других кислотах.

2.4 Способы подготовки поверхности

Существуют следующие способы подготовки поверхности перед напылением: дробеструйный; механический; напыление тонкого подслоя молибдена, прочно сцепляющегося с основой; электроискровой, при котором на поверхности остаются наваренные частицы присадочного материала; химический.

2.4.1 Дробеструйная обработка.

Используют два типа устройств: пневматические и центробежные. В устройствах с пневматической подачей абразивные частицы разгоняются сжатым воздухом и, вытекая из сопла в виде струи, ударяются с большой скоростью об обрабатываемую поверхность. В центробежных устройствах

абразивные частицы непрерывно подаются во вращающееся с большой скоростью лопаточное колесо, где они разгоняются и под действием центробежных сил устремляются на обрабатываемую поверхность.

При электродуговой металлизации, как и при газопламенном напылении, необходима предварительная обработка поверхности основы.

Проволоки-электроды напыляемого материала подаются по направляющим горелки, к которым подведено напряжение. При замыкании между концами проволок образуется дуга. При напряжении 15-25 В образуется дуга, которая носит неустойчивый, прерывистый характер. При больших значениях напряжения дуга становится непрерывной и устойчивой. Хорошие результаты горения дуги получаются в том случае, когда дуговой промежуток является небольшим и составляет примерно 0,8 мм.

В электрометаллизаторе угол между электродами (напыляемой проволокой) обычно составляет 30-60°. При углах, превышающих 60°, процесс напыления становится чувствительным к изменению условий напыления и нестабильным. При работе электрометаллизатора на постоянном токе напыляемая проволока, выполняющая функции анода, расплавляется приблизительно на 50% быстрее, чем катод (теоретически на аноде выделяется 66% тепловой энергии дуги). Значит, анодную проволоку следует подавать быстрее катодной. Однако на практике не возникает необходимости в разных скоростях подачи электродов. Поэтому проволоки подаются с одинаковой скоростью.

Наиболее важным при напылении является правильная регулировка тока, позволяющая уравновесить скорости подачи проволок со скоростью их расплавления и таким образом обеспечить постоянство длины дуги. При напылении расстояние от электрометаллизатора до покрываемой поверхности обычно составляет 100-200 мм.

2.4.2 Обработка напыленных покрытий.

Покрытие, полученное после напыления, по своей структуре является в значительной степени пористым. Пористость его можно в некоторых случаях

эффективно использовать. Однако наиболее широкое применение находят плотные покрытия. Заполнять поры можно путем нанесения на покрытие слоя краски, пропиткой покрытия специальными составами.

2.4.2.1 Механическая обработка покрытий.

В ряде случаев не обязательно слишком точно выдерживать толщину напыляемого покрытия.

Необходимо учитывать, что после напыления поверхность получается грубой. Поэтому, когда необходимо получить чистую поверхность с точными размерами, напыленное с некоторым припуском покрытие подвергают механической обработке. Основными видами механической обработки напыленных покрытий является резание и шлифование.

Покрытия из углеродистых и коррозионностойких сталей. Для обработки покрытий из углеродистых и коррозионностойких сталей можно использовать быстрорежущий и твердосплавный инструмент. Можно проводить как мокрое, так и сухое шлифование напыленных покрытий. Мокрое шлифование предпочтительнее в случаях, когда не возникает проблем, связанных с проникновением охлаждающей жидкости в поры покрытия. Грубое шлифование (как сухое, так и мокрое) может привести к образованию трещин на шлифуемой поверхности. Поэтому, чтобы после шлифования получить хорошую поверхность, необходимо правильно выбрать шлифовальный круг и режимы шлифования. Обычно для шлифования напыленных покрытий используют круги со сравнительно грубой структурой и непрочной связкой. Окончательная обработка производится при очень малых подачах.

После окончательного шлифования поверхность покрытия должна иметь матовый блеск и содержать мелкие поры. Слишком блестящая поверхность, на которой отсутствуют поры, указывает на неправильное шлифование и возможность ее засаливания.

Уплотнение покрытия, заполнение его пор уплотняющими материалами, когда это необходимо, производят перед шлифованием. Уплотняющие материалы препятствуют проникновению в поры покрытия частиц абразивных материалов, используемых при шлифовании. Если поры покрытия не заполнены уплотняющими материалами, то после шлифования необходимо промыть покрытие и удалить частицы, попавшие в него при шлифовании. Это особенно важно для покрытий, наносимых на поверхность подшипников.

Покрытия из мягких материалов (олова, цинка, баббита) можно хонинговать, в результате чего получается гладкая поверхность с незначительной пористостью.

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ И ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Разработка методики лабораторных и экспериментальных испытаний

3.1.1 Подготовка детали к электродуговой металлизации

Внешний вид покрываемых деталей контролируется визуально с использованием в отдельных случаях эталонов сравнения. Шероховатость поверхности деталей согласно ГОСТ 2789-73 должна соответствовать параметру $Rz \geq 40$ мкм.

Механическая обработка (шлифование). В зависимости от состояния поверхности шлифование делится на несколько операций, для которых применяется шлифовальная бумага с различными по величине зернами. Величина зерна постепенно уменьшается от первой операции к последней (от 12 до 4 по ГОСТ 3647-80). После механической обработки на деталях не должно быть видимого слоя смазки, эмульсии, металлической стружки и пыли. На поверхности шлифованных и полированных деталей не должно быть забоин, вмятин, трещин. Острые углы и кромки деталей должны быть скруглены или иметь фаски, за исключением технически обоснованных случаев.

Обезжиривание. На поверхности изделий могут присутствовать жиры животного и растительного происхождения. Загрязнения, не соединенные химически с самим материалом детали (замасливание, пыль и т.д.), удаляют обезжириванием. Такие загрязнения могут быть двух видов: минеральные масла, которые в растворах не взаимодействуют с компонентами и удаляются тяжело (смазочные материалы, соляровое масло, вазелин, парафин и т.д.); жиры животного и растительного происхождения, которые в растворах реагируют с компонентами (омыляются) и легко могут быть удалены.

Для обезжиривания стальных деталей применяют водный раствор следующего состава:

Сода кальцинированная	45 г/л
Вайт спирт	15 г/л

Обезжиривание проводят при комнатной температуре на протяжении 45...65 мин. Для ускорения процесса обезжиривания раствор нагревают до 70-80°С. Обезжиренную деталь тщательно промывают в проточной воде.

Травление. После удаления жировых загрязнений перед нанесением покрытия с поверхности изделий необходимо также удалить окалину, ржавчину, окислы. Для этого изделия подвергают травлению.

Выбор травильных растворов и режима обработки зависит от вида металла, характера и толщины пленок окисных соединений, а также от предшествующей и последующей обработки изделий.

Для травления стали применяют растворы серной или соляной кислоты, иногда – смесь этих растворов.

При травлении растворяются как окислы, так и сам металл. В последнем случае выделяется водород, который диффундирует в металл, увеличивая его хрупкость.

Травление проводят методом окунания детали в раствор серной кислоты. Обычно деталь травят 1,5-2 минуты при комнатной температуре.

3.1.2 Определение износостойкости покрытий

Определение износостойкости покрытия из никеля проводили на машине трения 77МТ-1 кафедры «Технический сервис» Казанского государственного аграрного университета. Т.к. испытуемая деталь не является плоской, проведение экспериментов непосредственно с этим образцом представляет определенные технические трудности. Поэтому эксперименты по определению износостойкости и твердости покрытий проводились на пластинах из стали 40ХН размерами 50x25 мм и толщиной 3 мм. На поверхности пластин также было напылён слой металла. Одну

партию пластин оставили без покрытия. Толщина напыленного покрытия составила 30 мкм.

При определении износостойкости покрытия в качестве износосового инструмента использовали плитку от наждачного круга. Истирание производили методом сухого трения.

Техническая характеристика машины трения 77МТ-1.

Частота вращения вала эксцентрика	28-280 мин ⁻¹
Длина хода нижнего образца	52 мм
Нагрузка на образцы	50-750 Н
Масса и количество гирь нагружающего устройства:	
	-1 кг-3 шт.
	-2 кг-2шт.
	-5 кг-1 шт.

Максимальная относительная погрешность частоты вращения вала эксцентрика $\pm 3 \%$

Максимальная относительная погрешность интенсивности изнашивания эталонных образцов, нормированная по среднему значению $\pm 30 \%$

Потребляемая мощность, не более 1,3 кВт

Напряжение трехфазной сети 380 В, 50 Гц

Габаритные размеры:

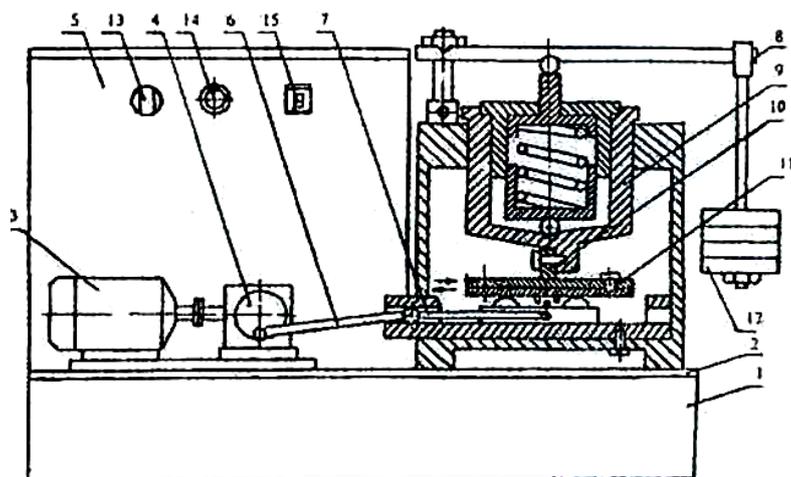
длина 910 мм

ширина 410 мм

высота 860 мм

Максимальная масса машины 190 кг

Истирание испытуемого образца производится за счет возвратно-поступательного движения износосового инструмента по нему с приложением усилия через нагружающее устройство.



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

Рисунок 3.1 – Схема машины трения 77MT-1

Машина трения работает следующим образом. На входной вал редуктора (4) (Рисунок 3.1) насажен эксцентрик кривошипно-шатунного механизма. Шатун (6) приводит в возвратно-поступательное движение ползун (7), на тележке которого закреплена подвижная тарелка с износным инструментом (11). Испытуемый образец (10) винтами закрепляется в нижней части стакана (9). В нашем случае испытуемые образцы плоские. Поэтому их крепление к стакану (9) произвели через специальную оснастку.

Таким образом, образцы приводятся в относительное возвратно-поступательное движение, скорость которого регулируется изменением частоты вращения электродвигателя (3) посредством ручки регулятора (13). Нагрузка на образцы обеспечивается нагружающим устройством, которое состоит из навески с гирями (12). Навеска с гирями через рычаг (8) и пружину давят на стакан (9), прижимая неподвижный испытуемый

образец (10) к подвижному износному инструменту (11) с усилием согласно выражению:

$$, \quad (3.1)$$

где $G_{СТ}$ – вес стакана, Н;

$G_{РЫЧ}$ – вес рычага, Н;

$G_{Г}$ – общий вес навески с гирями, Н.

В качестве критерия износа выбираем износ по массе. Определяем интенсивность и скорость изнашивания по массе. Интенсивность изнашивания по массе определяем по формуле:

$$-, \text{ мг/м}, \quad (3.2)$$

где h – величина износа по массе, мг;

l – износный путь, м.

Величину износа по массе h находили как разность масс образца до и после испытания. Скорость изнашивания по массе определяем по формуле:

$$-, \text{ мг/ч}, \quad (3.3)$$

где t – время испытания, ч.

В экспериментах нагрузку на образцы подобрали таким образом, чтобы линейный износ (толщина изношенного слоя) основы натурального образца составлял примерно 0,5 мкм за 1 мин. Износный путь за счет частоты двойных ходов тележки выбрали 1 м за 1 мин. На рисунке 3.2 приведены фотографии машины трения 77МТ-1.



Рисунок 3.2 - Машина трения 77МТ-1

3.1.3 Определение массы детали

Измерения масс образцов до и после испытаний производили на лабораторных весах модели ВЛК-500 г. Весы лабораторные квадрантные 4-го класса модели ВЛК-500 г. предназначены для точного взвешивания вещества при проведении лабораторных анализов в различных отраслях народного хозяйства.

Основные технические характеристики весов модели ВЛК-500 г.

наибольший предел взвешивания, г	500
цена деления шкалы, мг	1
дискретность отсчета, мг	10
диапазон взвешивания по шкале, мг	0-100
пределы допускаемой погрешности взвешивания по шкале, мг	± 20
время успокоения колебания квадранта, с, не более	8
напряжение питания весов переменным током частотой 50 Гц, в	220
потребляемая мощность, ВА, не более	17
Габаритные размеры, мм, не более	
длина	370
ширина	355
высота	220
Масса весов, кг, не более	10



Рисунок 3.3 – Весы модели ВЛК-500 г.

Замер массы образцов на весах ВЛК-500 г. (рисунок 3.3) производится согласно инструкции по работе на этих весах, а именно: после включения весов в сеть проверяют установки их по уровню путём регулирования установочных ножек. Установить шкалу весов в нулевое положение. Т.к. масса опытного образца более 100 г., устанавливаем гиревый механизм в положение «1» поворотом ручки установки гиревого механизма против часовой стрелки. Положение «1» означает, что масса взвешиваемой детали более 100 г., но менее 200 г. Далее кладем деталь на весы, и после успокоения колебания квадранта снимаем показания с экрана весов.

3.1.4 Определение твердости покрытий

Замеры твердости покрытий производили у нас в университете на кафедре «Эксплуатация и Ремонт машин» прибором измерения твердости металлов и сплавов ТК-2М (по методу Роквелла). Данный прибор предназначен для измерения твердости металлов и сплавов по методу вдавливания алмазного (или победитового) конуса или стального закаленного шарика под действием заданной нагрузки в течение определенного времени. В нашем случае твердость покрытия определяли путём вдавливания победитового конуса.

Техническая характеристика прибора ТК-2М

1. Испытательные нагрузки, кг	
а) предварительная	10
б) общие	60, 100, 150
2. Допустимые погрешности нагрузок, %	
а) предварительной	± 2,0
б) общих	± 0,5
3. Продолжительность цикла проведения испытаний, с	5
4. Потребляемая мощность, кВт	0,075
5. Наибольшая высота рабочего пространства, мм	200

6. Расстояние от центра отпечатка до корпуса, мм	130
7. Габаритные размеры, мм	
длина	500
ширина	240
высота	760
8. Вес прибора, кг	65

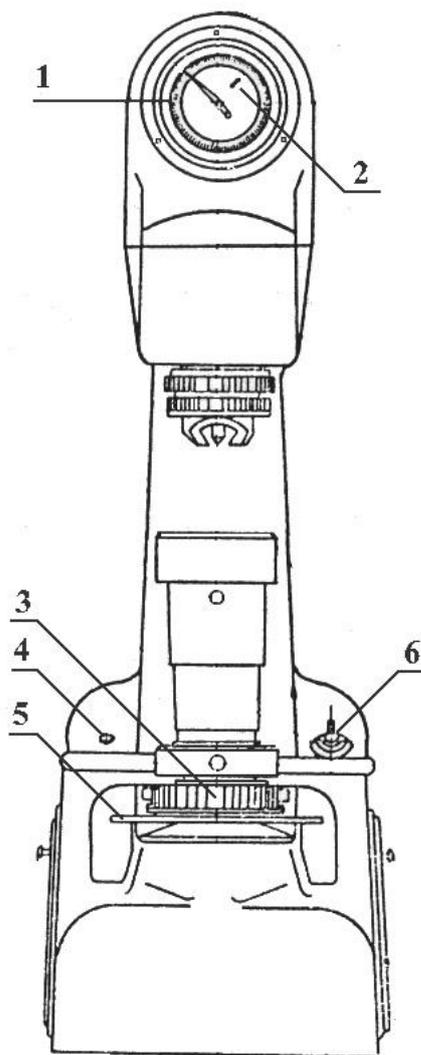


Рисунок 3.4 – Схема прибора ТК-2М

Схема прибора показана на рисунке 3.4. Перед работой прибор подключают к сети переменного тока 220 В и включают тумблер 6. При этом должна загореться красная лампочка 4. Электродвигатель и механизм прибора позволяет плавно прикладывать нагрузку в течение 4 с.

Процесс измерения твёрдости по Роквеллу состоит в следующем. Выбранный образец для измерений кладут на измерительный стол и вращением барабана 3 совмещают нуль шкалы С (черная) с большой стрелкой индикатора 1. Сначала дают предварительную нагрузку. Для этого образец вместе со столиком, на котором он находится, путем ручного вращения винта по часовой стрелке поджимают к индентору с силой 10 кг.

Признаком указанной нагрузки является установление маленькой стрелки шкалы индикатора (поз. 2) на красной точке. При этом большая стрелка индикатора не должна отклоняться от нуля более чем на 5 делений. Если это отклонение больше, значит образец пружинит или индентор попал на неровность поверхности. При этом нужно опустить стол и начать испытание на новом месте. При отклонении большой стрелки при нагрузке 10 кг менее чем на 5 делений индикатор ставят на нуль путем вращения барабана 3. После этого дают основную нагрузку в 150 кг путем нажатия клавиши 5. Под действием этой нагрузки индентор вдавливаются в материал и стрелка индикатора передвигается на определённое число делений. Когда стрелка индикатора останавливается, основная нагрузка автоматически снимается и на индентор действует только предварительная нагрузка. Стрелка индикатора показывает теперь разность между глубиной вдавливания под действием основной нагрузки (после снятия этой нагрузки) и предварительной нагрузкой (при действии этой нагрузки). При измерении твердости по методу HRC шкала делится на 100 единиц твёрдости. Полная шкала соответствует разностному ходу индентора, равному 0,2 мм. Твёрдость испытуемого материала считывается непосредственно с индикатора прибора.

При решении вопроса о возможности проведения испытаний изделия следует учитывать состояние опорной поверхности этого изделия. Так как испытание основано на измерении глубины отпечатка, то точных результатов нельзя получить в тех случаях, когда опорная поверхность изделия

вследствие неровностей, грубой обработки, окалины, заусенцев или других пороков не может плотно прилегать к опорному столу.

На приборе не разрешается испытывать:

- а) неоднородные по структуре сплавы (например, чугун);
- б) хрупкие изделия и изделия, имеющие на поверхности раковины, следы грубой обработки и другие дефекты;
- в) изделия, которые могут пружинить или деформироваться под действием нагрузки);
- г) изделия с толщиной менее чем восьмикратная глубина отпечатка;
- д) криволинейные поверхности.

На рисунке 3.5 приведена фотография прибора ТК-2М с нашим образцом.



(а)



(б)

Рисунок 3.5. – Прибор ТК-2М (а) с испытываемым образцом (б)

3.2 Разработка лабораторной и экспериментальной установки

Для проведения исследований по восстановлению изношенных поверхностей деталей использовали образец из стали 40ХН ГОСТ 4543-71

(40ХН: содержание углерода - 0,40%, хрома – 0,70%, никеля – 1,4%, высокого качества).

Исходя из задач исследования нами была спроектирована и изготовлена лабораторная установка (рисунок 3.6), включающая в себя мотор-редуктор, патрон для крепления детали, ванну с регулированием скорости подачи раствора к детали, систему нагрева раствора, а также дополнительную ванну для сбора отработанного раствора.



Рисунок 3.6 – Установка для дуговой металлизации

Питание экспериментальной установки осуществляется от сварочного трансформатора.

3.3 Проведение и результаты лабораторных и экспериментальных исследований

3.3.1 Процесс металлизации

Экспериментальные исследования по металлизации поверхности проводили на кафедре «Технический сервис» Казанского государственного аграрного университета. Эксперимент проводился на изготовленной установке в лаборатории, оборудованной вытяжной вентиляцией.

Во время проведения опыта необходимо помнить, что вещества, используемые в эксперименте, являются вредными. Условия проведения опыта отличаются повышенной загазованностью. Поэтому во время проведения эксперимента необходимо строго соблюдать правила техники безопасности. Вследствие чего перед опытом необходимо надеть халат и защитные очки.

Перед началом процесса металлизации необходимо подготовить поверхность детали. Вначале деталь была тщательно промыта с использованием технического моющего средства.

После промывки и просушки приступили к нанесению искусственной шероховатости. Для нанесения шероховатости использовали нождачную бумагу и грубые напильники.

Перед процессом металлизации необходимо определить массу детали. Масса определялась на лабораторных весах модели ВЛК-500г.

Далее необходимо обезжирить деталь. Обезжиривание проводилось в водном растворе едкого натра, соды кальцинированной и жидкого стекла. После обезжиривания промывали детали в теплой воде, для того чтобы снять загрязнения, осевшие на деталях после выхода подвески из ванны обезжиривания.

Для проведения лабораторных исследований были подготовлены специальные металлические пластины размером 50x50 мм из стали 65Г. Поверхность этих пластин была обработана по специальной методике, чтобы создать необходимые зоны искусственной шероховатости для обеспечения качественного сцепления основного и присадочных материалов. Для каждого из четырех образцов были подготовлены смеси из металлокерамической композиций, порядок приготовления этих смесей приведен на рис. 3.7.



Образец №1 с нанесением карбид бора (B_4C), криолита (Na_2AlF_6).

Образец №2 с нанесением карбид бора (B_4C), алюминиевого порошка (Al).

Образец №3 с нанесением алюминиевого порошка (Al), криолита (Na_2AlF_6).

Образец №4 с нанесением матричного порошка ПГ10Н-01.

Рисунок 3.7. Порядок подготовки смесей металлокерамических композиций

Использование этих порошков в определенной мере должно задавать определенные характеристики по износостойкости. В процессе напыления лабораторных пластин металлокерамический порошок механическим путем подавался непосредственно в зону горения дуги, предварительно проделав отверстие в сопле металлизатора и установив воронку для подачи порошков. После чего в процессе распыления равномерно перемешивался струей сжатого воздуха с частицами расплавленного металла, тем самым образуя потоки полета частиц в однородную массу, которая закреплялась на заранее подготовленных поверхностях лабораторных пластин.

Общий вид всех образцов(№1,№2,№3,№4) после электродуговой металлизации приведен на рисунке 4.2. Разность состава вносимых металлокерамических порошков определяло различные физико-механические свойства полученных поверхностей.

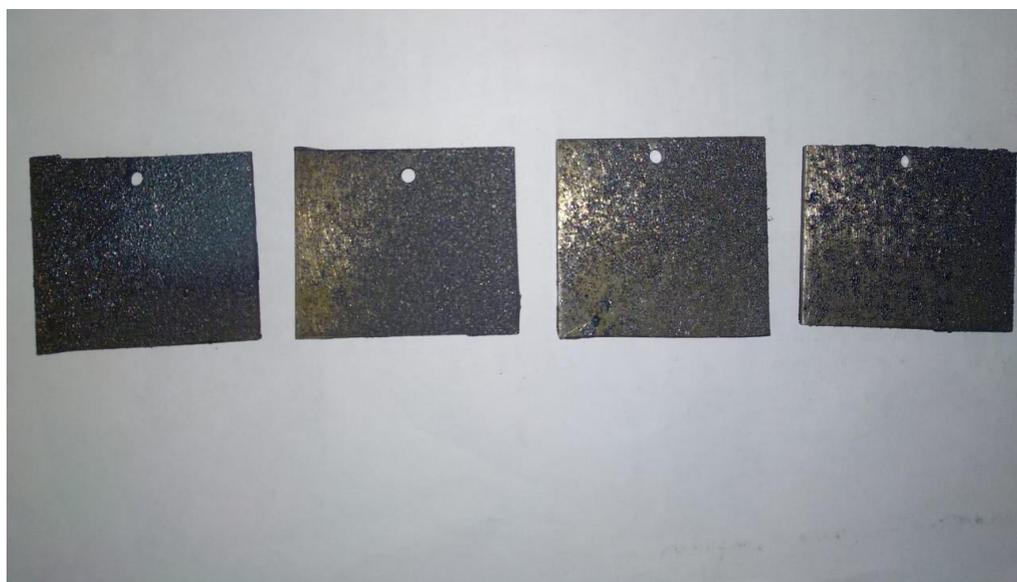


Рисунок 3.8. Общий вид всех образцов после металлизации с различными составами металлокерамических порошков.

Полученные пластины прошли специальную обработку для последующих исследований на предмет контроля твердости и износостойкости.

Эксперимент по металлизации длился 10 мин. По истечению заданного времени отключалось питание от трансформатора. Далее снимают деталь из патрона и осматривают ее.

Заключительной операцией по металлизации было взвешивание. После того, как деталь остынет на открытом воздухе, её взвешивали (как и до начала эксперимента) на весах ВЛК-500 г.

3.3.2 Результаты лабораторных и экспериментальных исследований

3.3.2.1 Толщина металлизации

Главной целью наших исследований, как сказано выше, было изучение влияния режимов металлизации, продолжительности опыта на толщину покрытия поверхности детали после металлизации.

Т.к. у нас цилиндрическая деталь, то определение толщины покрытия производилось следующим образом.

1) Массу детали определяли на лабораторных весах модели ВЛК-500 г.

2) Толщина стенки h детали определялась по формуле:

$$\text{---}, \quad (3.4)$$

где V – объем детали, м^3 ;

R – радиус детали, мм;

l – длина детали, мм.

$$\text{---}, \quad (3.5)$$

где ρ – плотность материала, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Параметры экспериментального образца:

$$R = 17 \text{ мм} = 0,017 \text{ м};$$

$$l = 40 \text{ мм} = 0,040 \text{ м};$$

$$\rho = 7820 \text{ кг}/\text{м}^3 \text{ – для стали марки 40ХН при температуре } 20^\circ\text{С}.$$

Приведём пример определения толщины покрытия через изменение массы детали.

$$\text{---}$$
$$\text{---}$$

Масса детали перед экспериментом $m_1 = 135,73 \text{ г} = 0,13573 \text{ кг}$.

$$\text{---}$$

Масса детали после эксперимента $m_2 = 136,24 \text{ г} = 0,13624 \text{ кг}$.

Толщина покрытия в данном опыте:

$$y = h_2 - h_1 = 4,0779 - 4,0621 = 0,0158 \text{ мм} = 15,8 \text{ мкм} \approx 16 \text{ мкм.}$$

Проведённые исследования позволили выявить характер влияния режимов металлизации и продолжительности опыта на толщину покрытия детали металлом. В результате графоаналитических исследований выявлены оптимальные параметры режимов металлизации при покрытии на деталь.

Результаты исследований показали, что на толщину покрытия влияют как сила тока, так и продолжительность напыления.

3.3.2.2 Твердость покрытия

Твердость при металлизации является одним из главных показателей в определении качества покрытия.

После металлизации были проведены исследования по определению твердости покрытия по методу Роквелла ГОСТ 9013-59.

Измерение твердости проводили на трех образцах:

- 1) Контрольный образец (без покрытия);
- 2) Образец напыленный электродной проволокой;
- 3) Образец напыленный порошком.

Замеры твердости проводили на приборе ТК-2М по шкале HRC. После твердость по Роквеллу по таблице переводили в твердость по Бринеллю, и далее в систему СИ. Для перевода твердости по Бринеллю в единицы СИ необходимо умножить число твердости в кгс/мм² на 9,81, т.е. $HV=9,81 \cdot HB$ (МПа).

Результаты исследований по определению твердости образцов приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Твердость покрытия образцов

Покрытие	Твердость по	Твердость по	МПа
----------	--------------	--------------	-----

	Роквеллу, HRC	Бринеллю, НВ	
Контроль (без покрытия)	-	207	2031
Напыленный электродной проволокой	42	376	3694
Напыленный порошком	78	828	8125

Как видно из таблицы 3.1 твердость напыленная порошком превышает контроль в 1,8 раза, что не достаточно для деталей, работающих в условиях значительных нагрузок. Однако после металлизации электродной проволокой покрытия по сравнению с контролем увеличивается в 4 раза, что дает право использовать данную технологию для восстановления деталей с последующим их упрочнением для работы в условиях повышенных нагрузок.

3.3.2.3 Износостойкость покрытия

Исследования износостойкости покрытий проводили на машине трения 77MT-1. Группа исследуемых образцов состояла из трех пластин, изготовленных из стали 40 ХН. Первая пластина была контрольной, т.е. без нанесенного на нее покрытия; вторая – напыленная электродной проволокой; третья – напыленная порошком. Толщина металлизации составляла 1,5 мм.

Полученные данные лабораторных исследований натуральных образцов с покрытием на их износостойкость приведены в таблице 3.2. Величину износа по массе находили как разность масс образца до и после испытаний.

Таблица 3.2 – Потеря массы (мг) натуральных образцов от длительности износа

Покрытие	Длительность износа, мин				
	5	10	15	20	25
Контроль (без покрытия)	3,1	5,9	8,7	11,9	15,2
Напыление электродной проволокой	2,9	5,5	7,9	10,5	13,4
Напыление порошком	2,2	4,5	6,9	9,1	11,5

На основании данных таблицы 3.2 были построены графики зависимостей потери массы натуральных образцов с покрытиями и без покрытия от длительности износа (рисунок 3.7).

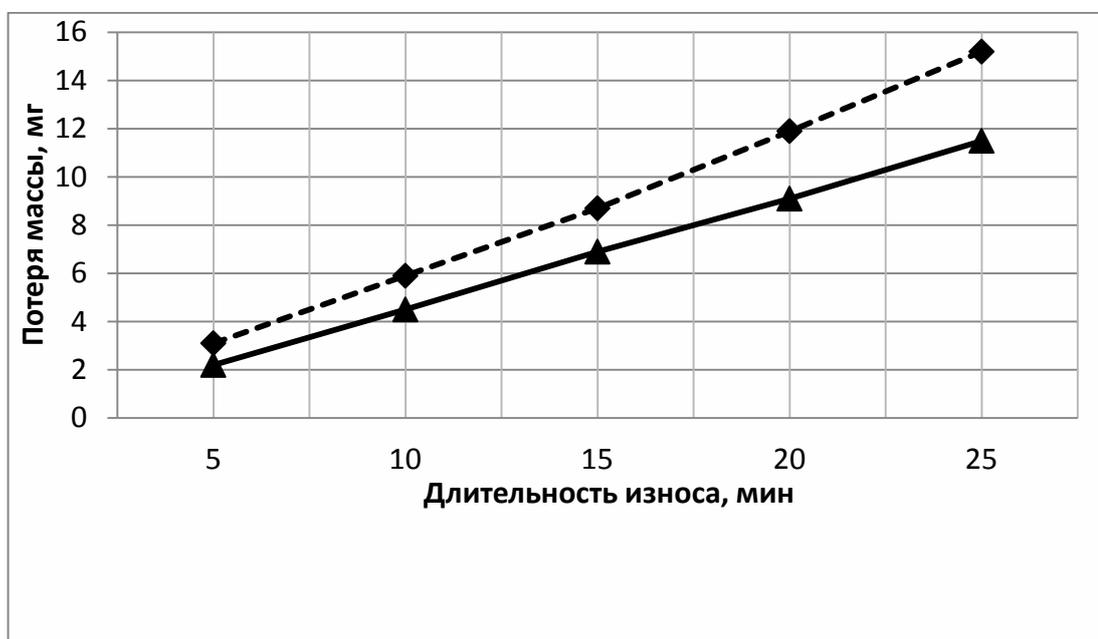


Рисунок 3.7 – Графики зависимостей потери массы натуральных образцов с покрытием и без него от длительности износа.

Анализ графиков рисунка 3.7 показывает, что потеря массы находится в прямо пропорциональной зависимости от длительности износа. Этот параметр зависит от твердости и находится в обратной пропорциональности от нее.

Износостойкость покрытия напыленного электродной проволокой в 1,1 раза выше износостойкости контрольного образца из стали 40ХН, а напыленного порошком – в 1,3 раза.

В реальности картина зависимости интенсивности изнашивания будет немного иная. Это происходит в результате того, что во время эксплуатации деталей между ними происходит механическое трение, вследствие чего между сопрягаемыми поверхностями образуются абразивные частицы. Их влияние и увеличивает крутизну характеристик интенсивности изнашивания.

3.4 Выводы по главе 3

1. Высокая твердость покрытия получалась после напыления порошками.

2. Износостойкость покрытия напыленного электродной проволокой в 1,1 раза выше износостойкости контрольного образца из стали 40ХН, а напыленного порошками – в 1,3 раза.

ГЛАВА 4 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОБЩЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЛАБОРАТОРНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Методика построения математической модели

Для управления металлизации используют математические модели, представляющие собой математическое описание процесса, отражающее количественные и качественные его характеристики, учитывающее все существенные факторы, влияющие на процесс.

Математическое моделирование включает три этапа: математическое описание процесса; разработку алгоритма, моделирующего процесс; проверку адекватности модели данному процессу.

Математическое моделирование в металлизации используют для контроля и управления процессом с целью вывода системы на оптимальный режим.

Существуют два основных подхода к созданию математических моделей. Первый, основанный на знании механизма процесса, позволяет создавать так называемую детерминированную модель. При построении модели используют простые алгебраические или трансцендентные функции, дифференциальные уравнения, уравнения в частных производных и др. Преимущество таких моделей — их универсальность, возможность варьирования параметров моделируемой системы без изменения самой модели.

При необходимости учета большого количества факторов (концентрации компонентов, температуры, рН) детерминированные модели, как правило, получить не удастся. В таком случае применяют метод создания статических моделей.

Расчет оптимального значения критерия технологического процесса заключается в нахождении экстремума (максимума или минимума) целевой

функции — зависимости, связывающей критерий оптимизации с параметрами, влияющими на процесс (входными параметрами).

Наиболее важным критерием оптимизации является экономичность процесса. Однако в этом случае построение математической модели наталкивается, как правило, на непреодолимые трудности. Поэтому выбирают технологические критерии оптимизации, наиболее значимые для реализации процесса.

В обоих случаях математической моделью процесса является уравнение регрессии, связывающее параметр (критерий) оптимизации y с входными параметрами (факторами) x_1, x_2, \dots, x_k

где b_i — коэффициенты уравнения;

x_1, x_2, \dots, x_i — величины входных параметров (концентрации компонентов, температуры, pH и т.д.).

4.2 Принятые допущения при построении модели

Расшифруем матрицу планирования с равномерным дублированием экспериментов, приведенную в таблице 4.1. Целью исследований являлось изучение влияния режимов металлизации и продолжительности процесса напыления (y). Всего было произведено четыре серии опытов. Каждый опыт дублировался 3 раза, следовательно, дублирование равномерное.

Независимыми переменными являлись режимы металлизации (x_1) и продолжительность опыта (x_2). Пределы варьирования режима металлизации (см. таблицу 4.1), интервал варьирования 3 А; пределы варьирования продолжительности опыта τ — 1,5...2,5 мин с интервалом 0,5 мин.

Условно величину силы тока и продолжительности опыта по верхнему и нижнему пределам (уровням) обозначены через кодированные значения факторов “ $X_i = +1$ ” и “ $X_i = -1$ ”. Верхний уровень “ $X_i = +1$ ” соответствует

максимальному значению силы тока и продолжительности опыта, нижний уровень “ $X_i = -1$ ” – минимальному значению.

Для построения регрессионной модели сначала будут использоваться кодированные значения факторов X_i , а затем будет производиться переход от кодированных значений факторов к их фактическим значениям x_i .

Таблица 4.1 – Исходные данные для построения матрицы плана ПФЭ

Варьируемый фактор	Натуральные (фактические) значения факторов		Значения y_{iu} (Толщина покрытия, мкм)
	x_1 Сила тока, А	X_2 Продолжительность опыта, мин	
Основной уровень, X_{i0}	83	2	
Интервал варьирования, Δx_i	3	0,5	
Верхний уровень, $X_{i(max)}$ ($X_i = +1$)	86	2,5	
Нижний уровень, $X_{i(min)}$ ($X_i = -1$)	80	1,5	

Таблица 4.2 – Матрица плана ПФЭ 2^3 с равномерным дублированием экспериментов

№ опыта, u	Кодированные значения факторов и соответствующие им (в скобках) натуральные значения		Номер дубля		
	X_1 Сила тока, А	X_2 Продолжительность опыта, мин	1	2	3
$u = 1$	+1(86)	+1(2,5)	30	35	33
$u = 2$	+1(86)	-1(1,5)	23	19	22
$u = 3$	-1(80)	+1(2,5)	24	29	25
$u = 4$	-1(80)	-1(1,5)	16	19	21

В соответствии с данными таблицы 4.2 для построения регрессионной зависимости толщины покрытия от силы тока и продолжительности опыта необходимо произвести 12 экспериментов. Для того чтобы исключить влияние систематических ошибок, вызванных различными внешними

условиями, данные эксперименты проводятся рандомизированно во времени, т. е. в случайной последовательности.

4.3 Расчет показателей дисперсии опытных данных

Построчная дисперсия для каждого эксперимента определяется по формуле:

$$S_{y_u}^2 = \frac{\sum_{g=1}^{n_u} (y_{ug} - \bar{y}_u)^2}{f_u}, \quad (4.1)$$

$$f_u = n_u - 1, \quad (4.2)$$

где g и n_u – номер и количество дублей эксперимента соответственно;
 y_{ug} – результат g -го повторения u -го эксперимента;
 \bar{y}_u – среднее арифметическое значение всех дублей u -го эксперимента;
 f_u – число степеней свободы в u -м опыте при определении u -й построчной дисперсии $S_{y_u}^2$.

Число степеней свободы – понятие, учитывающее в статистических ситуациях связи, ограничивающие свободу изменения случайных величин. Это число определяется как разность между числом выполненных опытов и числом констант (средних, коэффициентов и пр.), подсчитанных по результатам тех же опытов.

В нашем случае $n_u = 3$, $f_u = 3 - 1 = 2$. Тогда выражение (4.1) можно переписать следующим образом:

$$S_{y_u}^2 = \frac{\sum_{g=1}^3 (y_{ug} - \bar{y}_u)^2}{2}, \quad (4.3)$$

Построчная дисперсия по выражению (4.3) рассчитывается для каждого u -го опыта отдельно.

Результаты расчетов построчной дисперсии приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Результаты расчета построчной дисперсии

Номер опыта, u	Номер дубля, g	Толщина покрытия, y_{1g} , мкм	Среднее арифметическое значение толщины покрытия, \bar{y}_1 , мкм	Построчная дисперсия, $S_{y_1}^2$
1	1	30	32,6	6,34
	2	35		
	3	33		
2	1	23	21,3	4,335
	2	19		
	3	22		
3	1	24	26,0	7,0
	2	29		
	3	25		
4	1	16	18,7	6,335
	2	19		
	3	21		

регрессия дисперсия дублирование

Приведем пример расчета построчной дисперсии в первом опыте ($u=1$):

$$S_{y_1}^2 = \frac{\sum_{g=1}^3 (y_{1g} - \bar{y}_1)^2}{2} = \frac{(30 - 32,6)^2 + (35 - 32,6)^2 + (33 - 32,6)^2}{2} = 6,34$$

После определения построчных дисперсий производят проверку воспроизводимости экспериментальных данных. Проверка выполняется в том случае, если имеет место дублирование опытов, что является обязательным правилом при проведении планированного эксперимента. На этой стадии проверяется гипотеза о постоянстве дисперсии шума с использованием критерия Кохрена. Проверка данной гипотезы позволяет судить об однородности или неоднородности ряда дисперсий. Если ряд дисперсий однороден, различные значения функции отклика (y) определяются с одинаковой точностью. Если ряд дисперсий неоднороден, различные значения функции отклика (y) определяются с разной точностью.

Процедура проверки статистических гипотез в общем случае формально предусматривает сравнение некоторого критерия, рассчитанного

по экспериментальным данным, с его табличным значением при выбранном заранее уровне значимости α . Уровень значимости α определяет наибольшую вероятность отвергнуть правильную гипотезу, т. е. наибольшую вероятность предположения о том, что экспериментальный результат ошибочен. Например, если уровень значимости выбирают равным 0,05 (что, очень часто делается в технических задачах), то это означает, что допускается 5%-ная вероятность неверного решения и доверительная 95%-ная вероятность верного.

Если найденное по экспериментальным данным значение критерия попадает в область, соответствующую уровню значимости, то проверяемая гипотеза неверна и ее следует отвергнуть, совершив ошибку с вероятностью α . Если же экспериментальное значение критерия попадает в область, соответствующую вероятности $(1-\alpha)$, то проверяемую гипотезу принимают, совершив ошибку, связанную уже с альтернативной гипотезой.

Расчетное значение критерия Кохрена рассчитывается по формуле:

$$\text{---} \quad (4.4)$$

где G – наибольшая в ряду дисперсия, которую сравнивают со значением G - критерия, в зависимости от уровня значимости α , числа степеней свободы f_u и числа опытов N : $G(\alpha; f_u; N)$. В рассматриваемом случае $f_u = 2; N = 4$.

Находим максимальную построчную дисперсию $=7,0$ и

Тогда $G^{\text{расч}} = 7,0/24,01 = 0,291$.

Приняв значение уровня значимости $\alpha = 0,05$, для числа степеней свободы $f_u = 2$ и числа опытов $N = 4$ получим следующее табличное значение G -критерия:

Если $G^{\text{расч}} < G_{\text{табл}}$, ряд дисперсий однороден.

Если $G^{\text{расч}} >$, ряд дисперсий неоднороден.

В нашем случае $G^{\text{расч}} = 0,291 <$ $= 0,768$, т.е. ряд дисперсий однороден.

4.3 Расчет коэффициентов регрессии

Модель изучаемого процесса представим в виде обобщенного уравнения:

(4.5)

Применительно к двухфакторному эксперименту уравнение (4.5) можно записать в виде:

(4.6)

где X_1, X_2 , – кодированные значения уровней факторов (табл. 4.2). Кодированные значения уровней факторов в уравнении (4.6) могут принимать значения +1 и -1.

Коэффициенты уравнения регрессии (4.6) рассчитываются по зависимости:

(4.7)

где i – номер опыта;
 – кодированные значения уровней варьируемых факторов /независимых переменных $X_1(^{\circ}\text{C}), X_2(\text{ч})$ / (табл. 4.2);
 – средние арифметические значения функции отклика (толщины покрытия) (табл. 4.3).

Распишем уравнение (4.7) для всех коэффициентов, входящих в регрессионную модель (4.6):

(4.8)

Для расчета коэффициентов регрессии составим расширенную матрицу планирования (табл. 4.4).

Таблица 4.4 – Расширенная матрица плана 2^3

Номер опыта	X_0	X_1	X_2	$X_3 = X_1 X_2$	$\bar{y}_{u, \text{МКМ}}$
1	+1	+1	+1	+1	32,6
2	+1	+1	-1	-1	21,3
3	+1	-1	+1	-1	26,0
4	+1	-1	-1	+1	18,7

Рассчитаем коэффициенты в уравнении регрессии (4.6) по зависимостям (4.8) с учетом знаков X_i в столбцах табл. 4.4:

Таким образом, получены следующие значения коэффициентов уравнения регрессии:

$$b_0 = 24,65;$$

$$b_1 = 2,3;$$

$$b_2 = 4,65;$$

$$b_{12} = 1.$$

Если ввести обозначения $b_{12} = b_3$ и учесть обозначения, принятые в таблице 4.4, регрессионное уравнение (4.6) запишется в виде:

(4.9)

4.4 Проверка статистической значимости коэффициентов регрессии

Коэффициенты регрессии, рассчитанные по уравнению (4.7), строго говоря, определены не точно, а с некоторой погрешностью. Мерой этой погрешности является дисперсия оценок коэффициентов. Неизбежное наличие погрешности в определении коэффициентов регрессии обусловлено колебаниями значений функции отклика при дублировании экспериментов в каждом опыте. С учетом этого уравнение (4.7) можно записать в следующем виде:

Очевидно, что при достаточно малых значениях коэффициентов b_i абсолютная погрешность их определения $2 \cdot \Delta b_i$, обусловленная погрешностью определения значений функции отклика, может оказаться недопустимо большой. В этом случае значение коэффициента следует признать статистически незначимым, а сам коэффициент исключить из регрессионной модели. Статистическая незначимость коэффициента означает отсутствие его влияния на исследуемый процесс.

Поскольку дублирование экспериментов равномерное, дисперсию оценок коэффициентов уравнения регрессии можно рассчитать по зависимости:

(4.10)

где n_u – количество дублей в каждом опыте ($n_u = 3$);

N – количество опытов ($N = 4$);

– средняя дисперсия эксперимента.

Если ряд дисперсий однороден, средняя дисперсия эксперимента рассчитывается по уравнению:

$$\text{---} \quad (4.11)$$

где — значения построчных дисперсий (таблице 4.3).

Если ряд дисперсий неоднороден (значения функции отклика в разных опытах определены с различной точностью), но в результатах измерений значений функции отклика отсутствуют грубые ошибки и промахи, в качестве средней дисперсии эксперимента принимается максимальная построчная дисперсия.

В нашем случае ряд дисперсии однороден, т.к.:

$$G^{\text{расч}} = 0,291 < \quad = 0,768$$

Поэтому средняя дисперсия эксперимента рассчитывается по формуле (4.11):

$$\text{---}$$

Среднеквадратичная ошибка оценки коэффициентов регрессии определяется как:

$$\text{---} \quad (4.12)$$

Для нашего случая — .

Рассчитаем доверительный интервал коэффициентов регрессии :
(4.13)

где — критерий Стьюдента, зависящий от уровня значимости α и числа степеней свободы f_2 при определении дисперсии эксперимента:

Для полного факторного эксперимента $2^2 f_2 = (3-1) \cdot 4 = 8$.

Выбрав уровень значимости $\alpha = 0,05$, при числе степеней свободы $f_2 = 8$ найдем табличное значение критерия Стьюдента (t-критерия) $t_{0,05;8} = 2,31$. По выражению (4.13) рассчитаем доверительный интервал коэффициентов регрессии:

Коэффициенты уравнения регрессии, абсолютная величина которых равна доверительному интервалу или больше его, следует признать статистически значимыми. Т.е. для статистически значимых коэффициентов должно выполняться условие:

$$\begin{aligned} & \text{или} & (4.14) \\ b_0 = 24,65 & > & ; \\ b_1 = 2,3 & > & ; \\ b_2 = 4,65 & > & ; \\ b_3 = b_{12} = 1 & < & . \end{aligned}$$

Условие (4.14) означает, что абсолютные значения статистически значимых коэффициентов регрессии b_i должны не менее чем в раз превышать абсолютную ошибку их определения .

Статистически значимыми коэффициентами, точность оценки которых можно считать удовлетворительной, являются коэффициенты b_0, b_1, b_2 .

Статистически незначимый коэффициент (b_3) из модели следует исключить, поскольку его значения не может считаться достоверными.

Подставляя значения статистически значимых коэффициентов в выражение (4.9), получим следующее уравнение регрессии:

$$(4.15)$$

4.5 Проверка адекватности модели

Процедура проверки адекватности модели сводится к выполнению ряда последовательных вычислений:

1. Расчет теоретических значений функции отклика в каждом опыте по уравнению (4.15).

2. Сопоставление расчетных и экспериментальных значений функции отклика и нахождение дисперсии неадекватности.

3. Расчет критерия Фишера и окончательный вывод на основе сопоставления его расчетного и табличного значений об адекватности или неадекватности модели.

С помощью полученного уравнения (4.15) определим расчетные значения функции отклика (толщины покрытия y). Все значения X_i в данное уравнение входят в кодовом масштабе. Например, в 4-м опыте $X_1 = -1$, $X_2 = -1$, (табл. 4.2). Тогда расчетное значение толщины покрытия в этом опыте будет равно:

МКМ

Подсчитанные таким образом значения толщины покрытия приведены в табл. 4.5. Данные табл. 4.3 будем использовать для определения дисперсии неадекватности. При равномерном дублировании экспериментов дисперсия неадекватности определяется по зависимости:

$$\left. \begin{aligned} & \frac{1}{f_1} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2, \\ & \dots \end{aligned} \right\} \quad (4.16)$$

где y_i и \hat{y}_i – значения функции отклика в i -м эксперименте, соответственно рассчитанные по уравнению регрессии и определенные экспериментально;

f_1 – число степеней свободы;

k – число оставленных коэффициентов уравнения регрессии, включая b_0 ($k = 3$);

N – число опытов плана ($N = 4$).

Тогда $f_1 = 4 - 3 = 1$.

Таким образом, если из регрессионной модели исключен хотя бы один статистически незначимый коэффициент (а это неизбежно, если варьируемые

факторы действительно являются независимыми переменными), массив разностей и будет содержать информацию об ошибках в предсказании значений функции отклика.

Таблица 4.5 – Сопоставление экспериментальных и расчетных данных

Номер эксперимента, u				
1	32,6	30,94	1,66	2,75
2	21,3	21,64	0,34	0,11
3	26,0	27,66	1,66	2,75
4	18,7	18,36	0,34	0,11

В рассматриваемом случае построенная модель (4.15) включает три коэффициента: $=3$. Тогда в соответствии с выражением (4.16) дисперсия неадекватности будет равна:

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

Гипотеза об адекватности модели (4.15) проверяется по критерию Фишера. Его расчетное значение находим по уравнению:

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = 3 \cdot \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (4.17)$$

Из выражения (4.17) следует, что расчетное значение критерия Фишера представляет собой отношение дисперсии неадекватности к дисперсии опыта. По сути дела он позволяет ответить на вопрос: во сколько раз модель предсказывает значения функции отклика хуже по сравнению с опытом? Тогда табличное значение критерия Фишера должно регламентировать допустимое отклонение расчетных значений функции отклика относительно опытных данных.

Табличное значение критерия Фишера определяется в зависимости от уровня значимости α и числа степеней свободы f_1 и f_2 , определенных ранее:

$F(\alpha; f_1; f_2)$. При уровне значимости $\alpha = 0,05$ табличное значение F - критерия (табл. В1, приложение В) равно .

Если вычисленное значение критерия меньше критического, то данная модель является адекватной т.е.

В нашем случае:

Модель эксперимента по нанесению никеля химическим способом является **адекватной**.

4.6 Выводы по главе 4

1. Разработана математическая модель, показывающая влияние режимов металлизации и продолжительности опыта на толщину напыленного покрытия;
2. Произведена проверка адекватности модели.

ГЛАВА 5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ДУГОВОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ

Принятие решения о целесообразности применения в ремонтном производстве разработанной установки осуществляется после определения его экономической эффективности в сравнении с базовым вариантом.

При расчете экономического эффекта от внедрения разработанного устройства использованы методики [32, 33].

Экономическая эффективность от внедрения разработанной технологии определяется по формуле:

$$\text{Эв} = \frac{C_{\text{б.т.}} - C_{\text{н.т.}}}{P_{\text{б.т.}} - P_{\text{н.т.}}} - \text{ост} \quad (5.1)$$

где Эв – экономическая эффективность от внедрения разработанной технологии, руб.

$C_{\text{б.т.}}$ и $C_{\text{н.т.}}$ – себестоимость восстановления детали по базовой и новой технологиям соответственно, руб.

$P_{\text{б.т.}}$ и $P_{\text{н.т.}}$ – наработка детали, восстановленной по базовой и новой технологиям соответственно, тыс.км.

ост – остаточная стоимость после эксплуатации детали, восстановленной по базовой и новой технологиям соответственно, руб.

Себестоимость операций восстановления определяется по формуле:

$$\text{С}_{\text{оп}} = \text{З} + \text{Д} + \text{Н} + \text{А} + \text{Р} + \text{Э} + \text{М} \quad (5.2)$$

где З – основная заработанная плата рабочего, занятого на операции восстановления, руб.;

– дополнительная заработанная плата рабочего, руб.;

– сумма налогов, выплачиваемых из фонда оплаты труда, руб.;

– амортизационные отчисления за установку, руб.;

– затраты на ремонт и техническое обслуживание установки, руб.;

– затраты на силовую электроэнергию, руб.;

– затраты на материалы, используемые при восстановлении, руб.;

– прочие цеховые расходы, руб.;

– затраты на организацию и управление производством, руб.

Основная заработанная плата рабочего, занятого на операции восстановления, определяется по формуле:

$$\text{—, руб} \quad (5.3)$$

где $t_{\text{шт}}$ – штучно-калькуляционное время выполнения операции, мин.;

$C_{\text{ч}}$ – часовая тарифная ставка рабочего, занятого на операции.

Штучно-калькуляционное время выполнения операции определяется по формуле:

$$\text{—, мин} \quad (5.4)$$

где t_0 – основное время операции, мин.;

– вспомогательное непрерывное время, мин.;

$K_{\text{по}}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное и подготовительно-заключительное время ($K_{\text{по}} = 1,20$);

η_u – коэффициент использования установки ($\eta_u = 0,75 \dots 0,85$);

P_d – количество деталей, одновременно подвергающихся обработке шт.

Дополнительная заработная плата рабочего составляет 30% от основной.

Сумма основной и дополнительной заработной платы составляет фонд оплаты труда (ФОТ):

$$\text{, руб} \quad (5.5)$$

Сумма налоговых отчислений определяется по формуле:

$$H_{\text{фот}} = K_c \cdot \text{ФОТ}, \text{ руб} \quad (5.6)$$

где K_c – коэффициент, учитывающий отчисления в фонды социального назначения ($K_c=0,385$).

Показатели, рассчитанные по формулам, приведенным выше, сводим в таблицу 5.1

Таблица 5.1 - Рассчитанные показатели заработной платы производственных рабочих по операциям

C_9 – стоимость 1 кВт/ч электроэнергии, руб. ($C_9=3,8$ руб.)

Стоимостные показатели затрат приходящиеся на эксплуатацию установки по операциям сводим в таблицу 5.2

Таблица 5.2 - Стоимостные показатели затрат приходящиеся на эксплуатацию установки

Наименование операции	Балансовая стоимость установки, руб.	Амортизационные отчисления, руб.	Затраты на ремонт и ТО установки, руб.	Затраты на силовую энергию для выполнения операции, руб.
Токарная	75000	12,69	8,65	19,30
Металлизация базовая технология новая технология	18500	3,13	2,13	251,77
	7600	1,28	0,87	46,99
Шлифовальная	21400	3,62	2,46	17,23

Затраты на материалы, используемые при восстановлении, определяются по формуле:

$$\lambda \cdot \sum_{i=1}^{\lambda} g_i \cdot C_i \quad (5.10)$$

где λ – количество наименований материалов, используемых при операции восстановления;

g_i – норма расхода i -го материала, кг;

C_i – цена 1 кг i -го материала, руб.

Норму расхода материала на деталь определяют по формуле:

$$g_i = 0,01 \cdot S \cdot h \cdot \gamma \cdot K, \text{ кг} \quad (5.11)$$

где S – площадь наращиваемой поверхности детали, дм^2 ;

h – толщина покрытия с учётом припуска на обработку, мм;

γ – плотность материала, г/см^3 ($\gamma = 8,9 \text{ г/см}^3$);

K – коэффициент, учитывающий неизбежные потери материала ($K=1,4$).

Полученные результаты сводим в таблицу 5.3.

Таблица 5.3 – Стоимость ремонтных материалов

Наименование операции	S, см ²	h, мкм	g, г	Ц, руб.	Общая стоимость, руб.
Металлизация	42,7	25	0,51	980	0,49

Прочие цеховые расходы составляют:

$$C_{\text{пр}} = 0,05 \cdot (\text{ФОТ} + N_{\text{фот}} + C_a + C_{\text{тр}} + C_э + C_M). \quad (5.12)$$

Затраты на организацию и управление производством составляют 200% фонда оплаты труда рабочих:

$$\text{—, руб.} \quad (5.13)$$

Себестоимость восстановления по базовой технологии будет равна:

$$C_{\text{б.т.}} = C_{\text{шлиф}} + C_{\text{ник.б.т.}} + C_{\text{терм}}, \text{ руб.} \quad (5.14)$$

Себестоимость восстановления по разработанной технологии будет равна:

$$C_{\text{н.т.}} = C_{\text{шлиф}} + C_{\text{ник.н.т.}} + C_{\text{терм}} + K, \text{ руб.} \quad (5.15)$$

где K – удельные капитальные вложения, связанные с приобретением нового оборудования.

$$\text{—, руб} \quad (5.16)$$

где C_k – сумма капитальных вложений.

Сумма капитальных вложений, связанных с приобретением нового оборудования определяются по формуле:

$$\text{, руб} \quad (5.17)$$

где C_0 - стоимость приобретения оборудования;

$$= (0,2...0,25) \cdot C_0 \text{ – затраты на монтаж и наладку оборудования;}$$

$$= (0,1...0,25) \cdot C_0 \text{ – затраты по доставке.}$$

Таблица 5.4 – Сумма капитальных вложений, связанных с приобретением нового оборудования

Наименование оборудования	Кол, шт.	Стоимость приобретения, руб.	Затраты на монтаж, руб.	Затраты по доставке, руб.	Дополнительные капитальные вложения, руб.
Установка металлизации	1	7600	1520	760	9880

$$C_{б.т.} = 110,81 + 294,42 + 46,2 = 451,43 \text{ руб.};$$

$$C_{н.т.} = 110,81 + 239,12 + 46,2 + 38 = 434,13 \text{ руб.}$$

Остаточную стоимость детали определяют по цене металлолома:

$$, \text{ руб} \quad (5.18)$$

где $C_{л}$ – цена 1 кг металлолома, руб. ($C_{л} = 28$ руб.);

M – масса изношенной детали, кг ($M = 0,135$ кг).

Экономическая эффективность от внедрения разработанной технологии при программе ремонта 260 шт. составит:

Показатели технико-экономической эффективности при восстановлении изношенных деталей методом металлизации представлены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Показатели технико-экономической эффективности при восстановлении изношенных деталей методом химического никелирования

Показатели	Единица измерения	Значение	
		базовый вариант	новый вариант
Годовой объем восстанавливаемых деталей	шт.	260	260
Дополнительные капитальные вложения, связанные с приобретением нового оборудования	руб.	-	9880
Удельные капитальные вложения для восстановления деталей типа «вал»	руб.	-	38
Себестоимость восстановления детали	руб.	451,43	434,13
Наработка	тыс. км	100	100
Сравнительный экономический эффект внедрения новой технологии восстановления деталей типа «вал»	руб.	-	17000

Выводы по главе 5

1. При внедрении новой технологии восстановления поверхностей изношенных цилиндрических деталей себестоимость восстановления оказалась ниже себестоимости восстановления деталей по базовой технологии.

2. Сравнительный экономический эффект внедрения новой технологии составил 17 тыс. руб.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. На основании анализа литературных данных установлено, что наиболее перспективным способом восстановления поверхностей деталей является дуговая металлизация.
2. Проведенными экспериментальными исследованиями установлено, что напыленное покрытие с последующей мехобработкой в по сравнению с другими покрытиями обладает более высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами.
3. Для получения необходимой толщины покрытия были установлены оптимальные режимы работы металлизатора.
4. Разработанная во время исследования установка позволяет восстанавливать поверхности деталей методом металлизации.
5. Проведенные исследования на износостойкость показали, что износостойкость покрытия металлизации сварочной проволокой в 1,1 раза выше износостойкости контрольного образца, а металлизацией порошком – в 1,3 раза.
6. Высокие показатели твердости и износостойкости данного покрытия позволяют рекомендовать разработанный технологический процесс восстановления изношенных поверхностей различных деталей.
7. При программе ремонта 260 детали типа «лапа» ожидаемый экономический эффект составит 17 тыс. руб.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов С.В. Обеспечение работоспособности топливной аппаратуры тракторных и комбайновых дизелей путем улучшения очистки топлива. –Дисс. канд. техн. наук. –Саратов, 2006.
2. Адигамов Н.Р. Комплексное решение проблем восстановления топливной аппаратуры дизелей /Н.Р.Адигамов, С.Н.Шарифуллин //Вестник КГТУ им. А.Н.Туполева, 2008. –№ 2. –С. 16 – 18.
3. Адигамов Н.Р. Новые технологии комплексного решения проблем восстановления топливной аппаратуры дизелей /Н.Р.Адигамов, С.Н.Шарифуллин // Технологии ремонта, восстановления и упрочнения машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки. Ч. 1: материалы 10-й Международной научно-практической конференции 15-18 апреля 2008 г. –СПб.: изд-во Политехн. ун-та, 2008. –С. 19 – 27.
4. Адигамов Н.Р. Новый подход в восстановлении топливной аппаратуры дизелей /Н.Р.Адигамов, С.Н.Шарифуллин //Труды ГОСНИТИ. – М., 2008. –Т. 102. –С. 30 – 32.
5. Адигамов Н.Р. Перспективные технологии восстановления изношенных деталей в современных условиях сельскохозяйственного производства / Н.Р. Адигамов, А.Н. Адигамова, С.Н. Шарифуллин // Инновационное развитие агропромышленного комплекса: материалы Всероссийской научно-практической конференции.— Казань: Казанский ГАУ, 2007.—С. 94—98
6. Адигамов Н.Р. Повышение эксплуатационной надежности автотракторных дизелей /Н.Р.Адигамов, С.Н.Шарифуллин //Международный научный журнал.–М., 2008. –№ 3. –С. 30 – 32.
7. Адигамов Н.Р. Роль ремонтного производства в обеспечении эксплуатационных свойств автотракторной техники //Н.Р. Адигамов, С.Н. Шарифуллин //Современные технологии в машиностроении: сб.статей XI

международной научно-практической конференции. –Пенза: Приволжский Дом Знаний, 2007. –С. 143-145

8. Адигамов Н.Ш. Теория и методы расчета повышения надежности сельскохозяйственных уборочных машин с учетом состояния их элементов. – Дисс. докт. техн. наук. – Казань, 2006.

9. Акопов В.А. Повышение надежности автомобильных двигателей /В.А.Акопов, В.Л.Строков. –Ташкент, Фан, 1990. –136 с.

10. Антипов В.В. Износ прецизионных деталей и нарушение характеристики топливной аппаратуры дизелей. –М.: Машиностроение, 1972. –177 с.

11. Бабусенко С.М. Ремонт тракторов и автомобилей. 3-е изд., перераб. и доп. –М.: Агропромиздат, 1987. –351 с.

12. Барзилович Е.Ю. Вопросы математической теории надежности /Барзилович Е.Ю., Беляев Ю.К. Под ред. Б.В.Гнеденко. –М.: Радио и связь, 1983. –250 с.

13. Баширов Р.М. Надежность топливной аппаратуры тракторных и комбайновых дизелей / Р.М.Баширов, В.Г.Кислов, В.А.Павлов, М.Я.Попов. – М.: Машино-строение, 1978. –184 с.

14. Берлоу Р. Математическая теория надежности /Р.Берлоу, Ф. М.Прошан. –М.:Наука,1969. –510 с.

15. Берлоу Р. Статистическая теория надежности и испытания на безопасность /Р.Берлоу, Ф. М.Прошан. –М.: Наука, 1984. –326 с.

16. Боровков А.А. Теория вероятностей. –М.: Наука, 1976. –280 с.

17. Бородюк В.П. Статистические методы математического описания сложных объектов. –М.: Наука, 1981. –89 с.

18. Вопросы технологии производства топливной аппаратуры автотракторных двигателей. /Труды ЦНИТА. –Ленинград, 1980.

19. Вохмин Д.М. Влияние режимов работы автомобилей на надежность топливной аппаратуры дизельных двигателей. –Дисс. канд. техн. наук. –Тюмень, 2005.

20. Габитов И.И. Улучшение эксплуатационных характеристик топливной аппаратуры сельскохозяйственных дизелей путем научного обоснования и реализации в ремонтном производстве технологических процессов, методов и средств диагностирования. –Дисс. докт. техн. наук. – СПб., 2001.
21. Гайнутдинов Н.М. Влияние режимов электродуговой металлизации и составов применяемых порошковых проволок на структуру и абразивную износостойкость покрытий / Н.М. Гайнутдинов, А.Т. Байниязова, Н.Р. Адигамов // АГРОИНЖЕНЕРНАЯ НАУКА XXI ВЕКА: научные труды региональной научно-практической конференции.— Казань: Казанский ГАУ, 2018.—С. 308—312.
22. Горбаневский В.Е. Повышение безотказности и долго-вечности высокоточных пар трения топливной аппаратуры дизелей. –Дисс. докт. техн. наук. – Москва, 1991.
23. ГОСТ 25708-83. Прецизионные пары топливной аппаратуры дизелей.
24. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике: основные понятия, термины и определения.
25. Даутов Г.Ю. Плазмотроны со стабилизированными электрическими дугами / Г.Ю.Даутов, В.Л.Дзюба, И.Н.Карп. –Киев, Наукова думка, 1984. –168 с.
26. Еремеев А.Н. Повышение надежности дизельных двигателей путем оптимизации регулировочных параметров топливной аппаратуры. – Дисс. канд. техн. наук. –Казань, 2007.
27. Загородских Б.П. Повышение надежности топливной аппаратуры тракторных и комбайновых дизелей путем совершенствования методов контроля и стабилизации размеров прецизионных деталей. –Дисс. докт. техн. наук. –СПб., 1991.
28. Икрамов У. Расчет и прогнозирование абразивного износа /У.Икрамов, К.Х.Махкамов. –Ташкент: Фан, 1982. –148 с.

29. Кузьмин В.Н. Критерии оценки эффективности использования зарубежной техники /В.Н.Кузьмин, С.В. Селиванов // Научные проблемы и перспективы развития, ремонта, обслуживания машин, восстановления и упрочнения деталей: материалы Междуна-родной научно-практической конференции. –М.: ГОСНИТИ, 2004. –С. 189 – 194.
30. Курчаткин В.В. Надежность и ремонт машин. –М.: Колос, 2000. – 376 с.
31. Лебедев Б.И. К вопросу повышения качества, надежности, и долговечности ответственных пружин дизельной топливной аппаратуры /Б.И.Лебедев //Труды ЦНИТА. –Ленинград, 1966. –С. 51 – 58.
32. Ломоносов Д.А. Повышение долговечности плунжерных пар дизельной топливной аппаратуры за счет контроля влагосодержания в топливной системе. –Дисс. канд. техн. наук. –Уссурийск, 2006.
33. Лудченко А.А. Основы технического обслуживания автомобилей. –Киев: Вища школа, 1987.
34. Маслов Н.Н. Эффективность и качество ремонта автомобилей. 2-е изд., перераб. и доп. –М.: Транспорт, 1981. –304 с.
35. Нечипоренко В.И. Структурный анализ систем. –М.: Советское радио, 1977. –214 с.
36. Пожаров М.А. Кинематика кулачковых механизмов рядных топливных насосов автотракторных дизелей /М.А.Пожаров, Г.Л.Файбусович. Обзор. Сер. «Автомобилестроение». –М.: НИИНавтопром, 1967. –40 с.
37. Ремонт машин /Под ред. Н.Ф.Тельнова. –М.: Агропром-издат, 1992. –560 с.
38. Руднев К.В. Повышение ресурса гидроагрегатов строительных и дорожных машин электрообработкой рабочих жидкостей. –Дисс. канд. техн. наук. –Орел, 2001.
39. Технологические карты на ремонт и регулировку топливных насосов типа 4ТН-8,5х10 и форсунок. Ч. 2. –М.: ГОСНИТИ, 1972.

40. Топливная аппаратура автотракторных и комбайновых дизелей: технические требования на капитальный ремонт. –М.: ГОСНИТИ, 1989.
41. Торосян Л.Е. Разработка методики исследования эксплуатационных характеристик топливной аппаратуры автомобильного дизеля. –Дисс. канд. техн. наук. –СПб., 1998.
42. Трикозюк В.А. Повышение надежности автомобиля. –М.: Транспорт, 1980. –88 с.
43. Файзрахманов Д.И. Биотопливо из рапса – реальность XXI века /Д.И.Файзрахманов, Ф.Н.Сафиуллин, Э.Г.Нуруллин, Г.С.Миннуллин, Р.К.Вафин // Инно-вационное развитие агропромышленного комплекса: материалы Всероссийской научно-практической конференции. –Казань: изд-во Казанского ГАУ, 2007. –С. 80 – 83.
44. Филимонова О.Н. Совершенствование оценочных параметров топливных насосов дизельных двигателей при сертификации услуг по техническому сервису. –Дисс. канд. техн. наук. –Казань, 2005.
45. Халфин М.А.Состояние и перспективы повышения качества и надежности сельскохозяйственной техники /Халфин М.А. //Научные проблемы и перспективы развития, ремонта, обслуживания машин, восстановления и упрочнения деталей: материалы Междуна-родной научно-практической конференции. –М.: ГОСНИТИ, 2004. –С. 281 – 289.
46. Черноиванов В.И. Продление ресурса сельхозтехники применением нанотехнологий и модернизацией в процессе ремонта / В.И. Черноиванов, А.К.Ольховацкий //Труды ГОСНИТИ. – М., 2008. –Т. 102. –С. 14 – 22.
47. Черноиванов В.И. Стратегия развития технического сервиса в сельском хозяйстве России /Черноиванов В.И., Лялякин В.П. //Научные проблемы и перспективы развития, ремонта, обслуживания машин, восстановления и упрочнения деталей: материалы Междуна-родной научно-практической конференции. –М.: ГОСНИТИ, 2004. –С. 3 – 8.

Приложения