

ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет»

Институт механизации и технического сервиса

Кафедра «Эксплуатация и ремонт машин»

Направление подготовки –35.04.06 Агроинженерия

Направленность (профиль) «Технический сервис в сельском хозяйстве»

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

на соискание квалификации «магистр»

(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

Тема: «РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ДВУХСЛОЙНОЙ ДУГОВОЙ НАПЛАВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ»

Студент магистратуры _____ Идрисов Ильнар Ильдусович

Научный руководитель,

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

Обсуждена на заседании кафедры и допущена к защите

(Протокол № 15 от 16.06. 2022 г.)

Зав. кафедрой, д.т.н., профессор _____ Адигамов Н.Р.

Казань – 2022 г.

АННОТАЦИЯ

Магистерская диссертация на тему «Разработка комплексного технологического процесса двухслойной дуговой наплавки с использованием металлокерамических порошков» содержит 80 страниц машинописного текста, 26 рисунков, 13 таблиц, 43 наименований источников литературы.

В первом разделе диссертации проведен анализ существующих технологий комплексной дуговой наплавки с использованием порошковых композиций при восстановлении внутренних поверхностей изношенных цилиндрических деталей.

Проведен обзор существующих технологий восстановления деталей с двухслойной дуговой наплавкой.

Во второй главе проведен анализ технологических процессов, при восстановлении деталей методом двухслойной дуговой наплавки.

В третьей главе диссертации разработана методика лабораторных и экспериментальных исследований внедрения технологий с двухслойной дуговой наплавкой с использованием металлокерамических порошков при восстановлении изношенных деталей машин.

В четвертой главе диссертации был проведен анализ морфологии и структуры наплавленного слоя с использованием различных составов упрочняющих порошков.

В пятой главе диссертации была проведена теоретическая обработка результатов исследований и разработана математическая модель, описывающая взаимосвязь силы сварочного тока и продолжительность температурного воздействия.

В приложении приведена технико-экономическая оценка эффективности внедрения технологического процесса восстановления корпусов гидроцилиндров методом двухслойной дуговой наплавки.

ANNOTATION

Master's thesis on the topic "Development of a complex technological process of two-layer arc surfacing using cermet powders" contains 80 pages of typewritten text, 26 figures, 13 tables, 43 references.

The first section of the dissertation analyzes the existing technologies for complex arc surfacing using powder compositions in the restoration of the internal surfaces of worn cylindrical parts.

A review of existing technologies for the restoration of parts with two-layer arc welding.

In the second chapter, the analysis of technological processes is carried out, when restoring parts by the method of two-layer arc surfacing.

In the third chapter of the dissertation, a methodology for laboratory and experimental studies of the introduction of technologies with two-layer arc surfacing using cermet powders was developed for the restoration of worn machine parts.

In the fourth chapter of the dissertation, an analysis of the morphology and structure of the deposited layer was carried out using various compositions of hardening powders.

In the fifth chapter of the dissertation, a theoretical processing of the research results was carried out and a mathematical model was developed that describes the relationship between the strength of the welding current and the duration of the temperature effect.

The appendix provides a technical and economic assessment of the effectiveness of the introduction of the technological process for the restoration of hydraulic cylinder bodies by the method of two-layer arc surfacing.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ.....	6
1. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОРОШКОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН.....	8
1.1. Композиционные материалы	8
1.2. Металлокерамические порошковые материалы.....	9
1.3. Способы получения металлокерамических порошковых материалов.....	11
1.4. Способы дуговой наплавки с использованием порошков.....	16
2. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ ДВУХСЛОЙНОЙ ДУГОВОЙ НАПЛАВКИ...	19
2.1 Газовая наплавка	19
2.2 Двухслойная дуговая наплавка под слоем флюса.....	21
2.3 Наплавка открытой дугой.....	23
2.4 Наплавка в среде защитного газа с использованием металлокерамических порошков.....	24
2.5 Наплавка порошковой проволокой.....	25
2.6 Плазменная наплавка.....	28
2.7 Материалы, применяемые для наплавки.....	29
3. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ.....	37
3.1 Технологии подготовительных операций перед двухслойной дуговой наплавки	38
3.2 Оценка характеристик износостойкости покрытий двухслойной дуговой наплавки	38
3.3 Оценка весовых характеристик лабораторных образцов.....	42
3.4 Методика определения микротвердости	44

3.5 Методика приготовления шлифов, методы измерения твёрдости, проведения микроанализы	46
4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	51
4.1 Анализ структуры наплавленного слоя ПР-Н77Х15СЗР2-4.....	51
4.2 Анализ структуры наплавленного слоя ПГ-С27	54
4.3 Анализ структуры двойного наплавленного слоя ПР- Н77Х15СЗР2-4.....	58
5. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ....	62
5.1 Разработка математической модели.....	62
5.2 Допущения.....	62
5.3 Показатели дисперсии.....	64
5.4 Расчет коэффициентов.....	65
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	68
ЛИТЕРАТУРА.....	69

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Одним из основных факторов развитие современного машиностроения, прежде всего, является разработка новых материалов, внедрение инновационных технологий и оборудования. Получение поверхностей с регулируемой макро и микроструктурой способствует формированию требуемых физико-механические свойств с учетом условий использования.

Современное представление об эффективном управлении свойствами материалов основываются на возможности созданий условий, которые могут радикально влиять на процессы самоорганизации структур. Высокоэнергетическое воздействие способствует увеличению скоростей нагрева и охлаждения, что в последствии приводит к созданию максимально неравновесных структур, которые, при конкретных ситуациях, могут обеспечить требуемый комплект физико-механических и эксплуатационных свойств. Управление структур образованием материалов заданного состава, в условиях далеких от термодинамического равновесия, позволяет обеспечить требуемую стойкость рабочей зоны изделия при воздействии высоких контактных и динамических нагрузок в условиях абразивного, ударно-абразивного и ударного износа.

Применение двухслойной дуговой наплавки является эффективным способом повышения служебных свойств деталей машин и инструмента.

Использование порошков при двухслойной дуговой наплавки для нанесения покрытия на сталь позволяет получать в наплавленном слое широкую гамму структурных и фазовых составляющих и, следовательно, регулировать свойства рабочей поверхности. Поэтому, комплексный подход, включающий многофакторное воздействие на фазо- и структуро образованием металлических системах с применением современного оборудования, имеет особую актуальность.

Целью работы является повышение износостойкости деталей и рабочих органов сельскохозяйственных машин при их восстановлении.

Для достижения поставленных цели необходимо реализовать следующие задачи исследования:

1. Анализ технологий использования порошковых композиций при восстановлении деталей машин.

2. Провести анализ существующих технологий комплексных дуговых наплавов с использованием порошковых композиций.

3. Разработать методику исследований физико-механических свойств поверхностей после использования двухслойной дуговой наплавки с использованием металлокерамических порошков.

4. Исследовать структуру наплавленного слоя двухслойной дуговой наплавкой с использованием металлокерамических порошков.

5. Провести обработку результатов исследования методами математического моделирования.

6. Провести технико-экономическое обоснование эффективности использования технологий восстановления деталей машин методом двухслойной дуговой наплавки с использованием металлокерамических порошков.

1. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОРОШКОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

1.1. Использование композиционных материалов при восстановлении деталей машин

После того, как современная физика металлов подробно описала пластичность, прочность и причины ее повышения, началась интенсивная и систематическая разработка новых материалов. Началась плановая разработка новых материалов. В ближайшем будущем могут быть разработаны материалы, прочность которых во много раз превышает прочность современных сплавов. Большое внимание будет уделено уже известным механизмам упрочнения стали и старения алюминиевых сплавов, сочетанию этих известных механизмов с литьем, а также многочисленным возможностям создания композиционных материалов. Существует 2 многообещающих направления для получения композитов, армированных либо волокном, либо дисперсными твердыми частицами. Первый вводит высокопрочные тонкие волокна, такие как стекло, углерод, бор, бериллий, сталь и нитевидные монокристаллы, в матрицу неорганических металлов и органических полимеров. Эта комбинация сочетает в себе максимальную прочность с высоким модулем упругости и низкой плотностью. Это композит будущего.

Композиционный материал – конструкционный (металлический или неметаллический) материал, в котором имеются усиливающие его элементы в виде нитей, волокон или хлопьев более прочного материала. Примеры композиционных материалов: пластик, армированный борными, углеродными, стеклянными волокнами, жгутами или тканями на их основе; алюминий, армированный нитями стали, бериллия. Комбинируя объемное содержание компонентов, можно получать композиционные материалы с

требуемыми значениями прочности, жаропрочности, модуля упругости, абразивной стойкости, а также создавать композиции с необходимыми магнитными, диэлектрическими, радиопоглощающими и другими специальными свойствами.

Композитный материал или композит представляет собой материал на металлической основе (часто Al, Mg, Ni и их сплавы), армированный высокопрочными волокнами (волокнистые материалы) или мелкодисперсными огнестойкими частицами (материалы, армированные дисперсией), которые не растворяются в основном материале. Металлическая матрица связывает волокна (дисперсные частицы) вместе. Специфическая композиция, состоящая из волокон (дисперсных частиц) и связующего (матрицы), называется композитным материалом.

КМ обладает следующими характеристиками:

1. Состав и форма компонентов определяются заранее;
2. Материал должен содержать такое количество ингредиентов, которое придает заданные свойства;
3. КМ является однородным в макромасштабе и неоднородным в микромасштабе;
4. Компоненты имеют разные характеристики;
5. Существует основной интерфейс между компонентами;

По своей структуре КМ делится на несколько больших классов:

- Многослойность;
- Волокнистые;

1.2 Металлокерамические порошковые материалы при упрочнении деталей машин

Металлокерамические материалы – это материалы, получаемые прессованием из металлических порошков с последующим спеканием их при высоких температурах.

Основное сырьё порошки металлов: вольфрам, титан, кобальт, марганец, хром, железо, медь, олово, алюминий и др. Неосновное сырьё порошок неметалла: графит.

К металлокерамическим материалам относятся твердые инструментальные сплавы, антифрикционные и фрикционные сплавы, пористые сплавы для фильтров и деталей охлаждения, сплавы для конструкционных деталей, магнитные сплавы, электротехнические сплавы для работы в условиях высоких температур.

Твердые инструментальные металлокерамические сплавы типа ВК, ТК и ТТК рассмотрены в курсах, посвященных обработке металлов резанием.

Антифрикционные металлокерамические сплавы изготавливают на железной, медной (бронзовой) или алюминиевой основе с добавлением небольшого количества графита дисперсном состоянии. Графит снижает коэффициент трения, уменьшает износ, предохраняет детали от заедания.

Сплавы характеризуются наличием пористости в пределах 10—30%. Поры заполняются смазочными материалами (минеральное масло, сульфид молибдена и др.), что позволяет получать самосмазывающиеся подшипники, у которых самосмазывание при разогреве подшипников, обеспечивается за счет выдавливания масла из пор. Подшипники могут работать при большой частоте вращения вала (до 3000 об/мин) в течение длительного времени без смазки. Сплавы на железной основе содержат 1—4 % графита.

В качестве примера можно привести сплав ЖГ - 1, содержащий 1% графита. Коэффициент трения сплава без смазки 0.06, допустимые температуры и давление: 180-200 °С, 15—20 мПа соответственно.

При спекании порошкового сплава на основе меди легкоплавкое олово диффундирует в медь, образуя твердый раствор. Допустимые температура и давление для подшипников на медной основе примерно в 2 раза

ниже, чем для сплавов на железной основе. Антифрикционные металлокерамические сплавы обладают хорошей теплопроводностью, но пониженными показателями прочности. Поэтому целесообразно применение тонких антифрикционных покрытий, наносимых на поверхность стальной детали. С этой точки зрения большой интерес представляет; металлофторопластовый материал. В этом случае на стальную ленту с тонким медным покрытием наносят слой бронзового порошка, который после спекания образует пористый слой, прочно соединенный с подложкой; затем поры заполняют фторопластом. В дальнейшем из ленты вырубают заготовку, которую свертывают в подшипник. Такие подшипники могут работать в широком диапазоне температур, при больших давлениях, высокой частоте вращения вала и при отсутствии дополнительной смазки.

1.3 Способы получения металлокерамических порошковых материалов

Металлокерамические материалы получают прессованием деталей из соответствующих смесей порошков в стальных прессформах под давлением 1000 -- 6000 кг/см² с последующим спеканием спрессованных полуфабрикатов при температуре ниже точки плавления основного компонента сплава.

Указанным методом получают пористые изделия.

Размеры прессованных заготовок после спекания несколько изменяются.

Металлокерамические антифрикционные материалы

Металлокерамические антифрикционные материалы разделяются на три группы: а) пористые подшипники, б) компактные металлокерамические антифрикционные материалы, в) антифрикционные материалы с неметаллическими составляющими.

Химический состав пористых металлокерамических антифрикционных материалов выбирается в зависимости от условий работы подшипника и технологического процесса.

Область применения пористых подшипников.

Пористые подшипники могут применяться взамен бронзовых подшипников скольжения и шарикоподшипников для работы при p_v до 70 кгм¹слРсс.

Подъёмно-транспортное машиностроение. Эскалаторы метрополитена, ролики угольных транспортёров, катки мостовых кранов и др.

Прочие отрасли промышленности. Вспомогательные устройства двигателя дизеля, киноаппаратура, звуковые протекторы, патефоны, вентиляторы, сепараторы для шарикоподшипников и др.

Компактные (непористые) металлокерамические антифрикционные материалы.

Применяемые непористые антифрикционные металлокерамические материалы можно разбить на три группы:

а) материалы, изготавливаемые из дроблёной и декарбюризованной стальной стружки прессованием, спеканием и последующей горячей штамповкой;

б) металлокерамические материалы из свинцовистой бронзы, применяемые в виде втулок, биметаллических вкладышей и ленты (металлокерамический слой на стальной основе);

в) трёхслойный материал, состоящий из стальной ленты, на которую напрессовываются порошки меди и никеля.

Толщина металлокерамического слоя -- около 0,5 мм.

После спекания поры этого слоя заполняются расплавленным свинцовистым баббитом (под вакуумом), который образует также поверхностный слой (толщиной 0,02 -- 0,075 мм).

Металлокерамические фрикционные материалы

Основными компонентами металлокерамических фрикционных материалов являются медь, олово, свинец и графит.

Ряд сплавов содержит также железо, кремний и цинк.

Вследствие невысокого сопротивления разрыву и срезу металлокерамические фрикционные материалы наносятся на стальную основу (диск или ленту) тонким слоем толщиной от 0,25 до 8--10 мм и иногда до 6 мм.

Металлокерамические фрикционные материалы обладают высокими эксплуатационными свойствами, износоустойчивостью и коррозионной стойкостью.

Они могут работать при высоких температурах (в некоторых случаях нагрев при торможении доходит до 540° С) и высоких давлениях (до 70 кг/см²).

Применяются в качестве фрикционных прокладок для тормозных дисков, лент и колодок на самолётах и танках. Исходные материалы дробят и измельчают в шаровых мельницах до порошкообразного состояния. Измельчённый материал очищают от примесей и просеивают через сито. Взятые в определённом соотношении исходные порошкообразные материалы смешивают в специальных смесителях (вибрационных, барабанных), получая прессовочный порошок.

Для получения монолитного изделия исходные порошкообразные массы состоят из двух или более порошков различных металлов, один из которых обладает более высокой температурой плавления. При высокотемпературной обработке более легкоплавкие порошки плавятся и заполняют поры между частицами тугоплавких металлов.

Для получения пористого изделия применяют твёрдофазное спекание (без образования жидкой фазы) частиц порошков металла, обладающих приблизительно одинаковой температурой плавления. Количество пор

можно изменять в широких пределах: для изделий на большие токи 10-15%; для изделий на небольшие токи 2-5%,

Описанные способы получения материалов относятся к порошковой металлургии.

Производство изделий методами порошковой металлургии применяют:

- когда нельзя получить изделия из сплавов особо тугоплавких и особо чистых металлов;
- когда необходимо получить изделия из сплава металлов с неметаллами;
- позволяет получить изделия точно заданных размеров без последующей механической обработкой.

Свойства (по сравнению с металлическими изделиями):

- большая износостойкость (малое изнашивание от трения точное определение инет);
- высокая жаростойкость (прочность);
- стойкость к эрозии (разрушение поверхности под действием электрической дуги, искр, перенос металла с одной поверхности на другую, и нарушении при этом контактной поверхности).

Применение: разрывные контакты для различного вида коммутационных устройств (допускают большие силы сжатия), щётки для электрических машин низкого напряжения, режущий и штамповочный инструмент и др.

Электроугольные материалы – это материалы, получаемые прессованием из смеси углеродистых материалов с последующим спеканием их при высоких температурах.

Основное сырьё порошки углеродистых материалов: графит, сажа, каменноугольная смола, антрацит (чёрный, блестящий ископаемый уголь, горит слабым пламенем, почти без дыма).

Неосновное сырьё порошки металлов: медь, свинец, олово и др. Связующие вещества: каменноугольные, бакелитовые, кремнийорганические и другие смолы.

Получение электроугольного материала.

Углеродистые материалы, за исключением графита и сажи, предварительно прокаливают при 1200-1300 0С для удаления летучих веществ и уменьшения объёмной усадки получаемых электроугольных изделий. Затем материалы измельчают в дробилках до порошкообразного состояния.

Взятые в определённом соотношении исходные порошкообразные материалы (углеродистые и металлические) тщательно смешивают, вводят в них связующие вещества, перемешивают и при температуре 110-230 0С пропускают через специальные смесители. Полученную исходную электроугольную массу сушат, а затем размалывают и просеивают через сито, получая прессовочный порошок.

Электроугольные изделия.

Изделия или заготовки (блоки) получают прессованием в стальных пресс-формах под давлением 100-300 МПа при комнатной температуре или при 180-210 0С, если применяется связующее вещество, размягчающееся или полимеризующееся при повышенных температурах. Изделия большой длины (электроосветительные угли и др.) изготавливают выдавливанием нагретой исходной массы через стальной мундштук винтового пресса.

Полученные изделия или их заготовки подвергают высокотемпературному обжигу в интервале температур от комнатной до 1200-1300 0С. При обжиге происходит спекание исходных материалов и цементация их коксом, образующимся из связующих органических веществ.

Свойства: механическая прочность, способность к механической обработке, уменьшение удельного электрического сопротивления.

Электроугольные изделия содержащие сажу, кокс, и другие не графитовые компоненты, после обжига подвергают дополнительной термиче-

ской обработке при 2400-2800 0С – графитизацией. При этом не графитные компоненты превращаются в графит, а большинство примесей испаряются.

Свойства: более мягкие, меньший коэффициент трения, резко снижается удельное электрическое сопротивление, значительная пористость (30%).

Свойства: устраняется пористость, уменьшается гигроскопичность, позволяет ввести смазочные вещества, а пропитка металлами резко увеличивает механическую прочность и повышает проводимость.

1.4 Способы дуговой наплавки с использованием порошков

Имеющиеся варианты наплавки с использованием дугового нагрева токами высокой частоты можно классифицировать по состоянию основного металла и виду наплавляемого материала. Выделяют следующие способы наплавки: порошкообразной шихтой, монолитным или брикетированным присадочным материалом, в огнеупорной среде, центробежной и жидким сплавом.

Наплавка порошковой шихтой. Технология дуговой наплавки основана на использовании токов высокой частоты (ТВЧ) для нагрева металла детали и за счет теплопередачи расплавления присадочного материала — специальной порошкообразной шихты. Она состоит из твердого сплава и флюса на основе буры, борного ангидрида и других веществ.

Шихту наносят на поверхность детали, которую можно предварительно обработать для получения геометрической формы и размеров в соответствии с существующими требованиями. Обработку выполняют лезвийным инструментом или путем пластического перераспределения металла. Толщина слоя шихты зависит от необходимой толщины наплавленного слоя. Деталь с нанесенной шихтой вводят в индуктор высокочастотной установки, как при индукционной закалке. Конструкция индуктора и расположение детали зависят от конфигурации наплавляемой поверхности. При прохождении ТВЧ через контур индуктора в

по-верхностных слоях детали возникают токи, и наружный слой основного металла быстро нагревается. Шихта, расположенная между индуктором и нагреваемой поверхностью детали, вследствие высокого электросопротивления слабо реагирует на воздействие переменного электромагнитного поля. Она нагревается главным образом за счет теплопередачи от основного металла. При температуре 950...970 К флюс шихты плавится, затем он вступает во взаимодействие с оксидами и разрушает окисные пленки на поверхности основного металла и порошкообразных частиц твердого сплава. Флюс выполняет также защитные функции, предотвращая образование окислов, и сдерживает теплоотдачу в окружающую среду. Дальнейшее повышение температуры шихты вызывает плавление ее металлической части. При этом жидкий сплав вытесняет отработавший флюс с наплавляемой поверхности. Флюс всплывает, так как его удельный вес меньше, чем сплава. Это способствует активизации сил межмолекулярного взаимодействия на границе жидкий металл — наплавляемая поверхность. Отсутствие окисных пленок снижает вязкость жидкого сплава, что также облегчает процессы вытеснения и всплытия отработавшего флюса.

После всплытия флюса и появления блестящей стекловидной массы индукционный нагрев детали прекращают. В течение 5...8 с наплавленный сплав остывает и переходит в твердое состояние. Наплавленная деталь охлаждается до комнатной температуры на воздухе или в песке. Наплавке порошкообразной шихтой в качестве присадочного материала используют порошкообразную шихту, состоящую из гранулированного сплава и флюсов на основе буры.

При наплавке порошкообразной шихтой используют флюсы, состоящие в основном из трех компонентов: буры, борного ангидрида и силикокальция. Последний компонент используют для усиления активности раскисления, так как в состав силикокальция входит силицид кальция (CaSi_2) и примеси алюминия, магния, железа. Добавка силикокальция во

флюс позволяет резко уменьшить вязкость шлака в интервале температур, начиная от момента завершения процесса наплавки до полной кристаллизации жидкого сплава.

В деятельности двухслойной дуговой наплавки применяют флюсы двух типов:

Плавленные и механические смеси различных компонентов. Плавленные флюсы получают в результате совместного предварительного плавления при температуре 850 °С кристаллической буре, борной кислоты и силиокальция. Такие флюсы обозначают индексом П (плавленные) и цифрой, которая показывает массовое отношение количества борного андигрида к буре.

Однако такие флюсы имеют ряд недостатков:

- компоненты флюса не подлежат длительному хранению;
- Происходит значительное газовыделение в процессе наплавки;
- имеется токсичность борного андигрида;
- имеется гигроскопичность отдельных компонентов.

В отличие от механических смесей плавленные флюсы практически не растворимы в воде. Это позволяет использовать наплавочные пасты с пластификаторами, содержащими воду.

Износостойкость наплавленного сплава зависит от числа твердых составляющих в структуре сплава. В области восстановления и упрочнения деталей используются два различных метода контроля содержания твердых компонентов в наплавке:

- Изменением химического состава сплава;
- Введением в шихту труднорастворимых примесей, образующих в результате взаимодействия с легкоплавкой связкой специфические композитные материалы – псевдосплавы.

2. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН МЕТОДАМИ НАПЛАВКИ

2.1 Газовая наплавка.

Газовая наплавка используется в качестве источника тепла для получения слоя осаждения металла из паровой фазы. Газовое пламя специальной горелки можно использовать для обработки поверхности, напыления и плавления покрытий. Газовое пламя образуется при сжигании газообразных веществ кислородом. Ацетилен чаще всего используется в качестве горючего газа с максимальной температурой пламени 3150 °С. Для этой цели также используется пропан-бутан.

При обработке поверхности, в отличие от сварки, желательно уменьшить глубину проникновения основного материала, поэтому обработку поверхности выполняют сваркой Scorost Inois (метод Линда). Для этой сварки (наплавки) используется горелка с соплом большого диаметра, а основной материал нагревается науглероживающим пламенем. При сварке горючей смесью, богатой ацетиленом, на поверхности металлических частиц восстановленного углерода образуется тонкий науглероживающий слой толщиной - 0,02 мм. Плавление происходит только в тонком слое поверхности, поскольку температура плавления металла в науглероживающем слое снижается. Возникновение этого явления, называемого "потением", означает, что основной материал готов к газовой наплавке. "Путем распыления основного материала и совместного использования присадочных материалов мы можем создать условия, которые особенно подходят для газовой наплавки с меньшим проникновением в основной материал. Кроме того, по запотеванию можно судить о времени нагрева до плавающей температуры, и время плавающего материала может быть выбрано более подходящим образом. С другой стороны, при плакировании таким образом количество углерода в осажденном металле увеличивается за счет науглероживания поверхности, что отрицательно

сказывается на механических свойствах и коррозионной стойкости. Для обработки поверхности коррозионностойкой стали, где науглероживание не является предпочтительным, используются методы обработки поверхности с использованием плавления в среде инертного газа или вольфрамовой дуги. Газовое наплавление - это метод сварки расплавом для частичного расплавления основного материала в высокотемпературном пламени, образующемся при сжигании смеси горючего газа и кислорода.

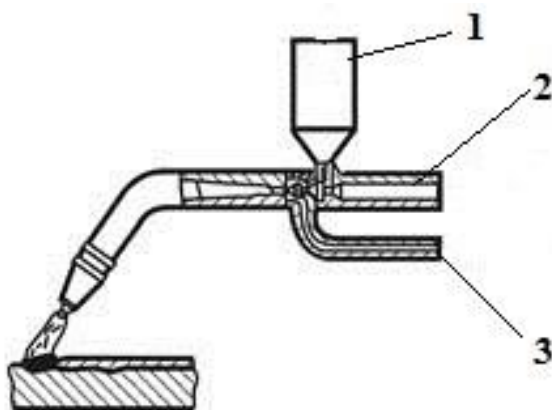


Рисунок 2.1 – Схема горелки для газопорошковой наплавки

1- ёмкость для порошка; 2 – кислородная магистраль; 3 – магистраль ацетилин;

Метод обработки поверхности газовым пламенем, в котором используются материалы для обработки поверхности, такие как стержень, пруток, проволока и т.д., является несколько традиционным методом. Он давно используется в промышленности и технически практически ничем не отличается от электродугового метода. В дополнение к этим методам значительное развитие получил также метод газопорошковой наплавки.

Обработка поверхности газовым порошком позволяет упрочнять сложные детали с минимальной толщиной (0,1-0,3 мм) без разбавления основного материала. Так как в этом случае переход составляет всего 100-120 микрон. Для обработки поверхности присадочной проволокой используется

специальная горелка. Порошкообразный лакирующий материал из сплава самотеком вылетает из бункера и впрыскивается в плавающую точку потоком кислорода через газово-кислородное пламя. В результате нагрева пламенем частицы порошка достигают поверхности детали в состоянии высокой пластичности или в расплавленном состоянии и после затвердевания образуют слой сварного металла, который используется для ремонта и упрочнения деталей машин.

Твердая облицовка представляет собой гранулированную форму саморастворимых порошков хрома, бора и никеля. Расход порошка составляет до 2,7 кг/ч. Рекомендуемый размер частиц порошка составляет 40-100 мкм.

Газопорошковая наплавка в основном используется в ремонтных работах для ремонта и упрочнения деталей автотракторов, пресс-форм и материнских плат, головок рельсов на железнодорожном транспорте и т.д.

Основные преимущества: Низкое проникновение в основной материал, универсальность и гибкость технологии, а также способность формировать небольшие толстые слои.

Основными недостатками этого процесса являются низкая производительность процесса, низкая скорость осаждения облицовочного материала (60-80%) и нестабильное качество облицовочного слоя.

2.2 Двухслойная дуговая наплавка под флюсом.

Этот метод обработки поверхности в основном используется для ремонта плоских поверхностей, но также возможно нанесение поверхностной обработки на цилиндрические детали.

Этот метод сочетает в себе несколько основных движений: движение электродов, направляемых при плавлении заготовки, и движение электродов, движущихся вдоль сварного шва.

Метод флотации дуги под флюсом автоматически подает флюс и электродные линии в горящую часть дуги особым образом. Под воздействием высоких температур образуется газовый пузырь, в котором присутствует ду-

га, и металл расплавляется. Часть флюса начинает плавиться, образуя эластичную, гладкую оболочку из жидкого флюса вокруг дуги, защищая расплавленный металл от окислителей и уменьшая распыление и потери углерода. После кристаллизации расплавленного металла образуется сварочный шов.

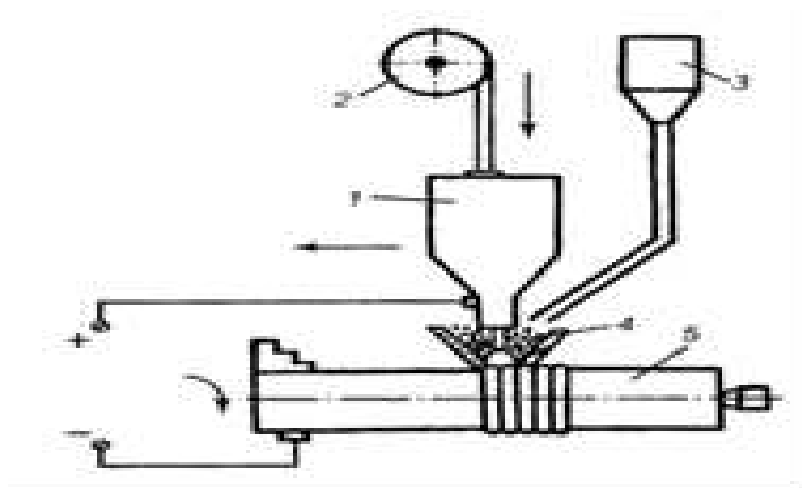


Рисунок 2.2 – Схема установки для дуговой наплавки под слоем флюса.

1 - наплавочный аппарат; 2 – кассета; 3 – бункер; 4 – приёмник; 5 – деталь;

Дуговая наплавка под флюсом имеет следующие преимущества:

- Большая производительность процесса при наплавке изделий обычной формы с великой площадью наплавляемой поверхности;
- Доступность осуществления процесса, не желающего большой квалификации сварщика;
- Возможность получения хорошего внешнего вида валика;
- Лучшие условия труда, связанные с отсутствием разбрызгивания электродного металла, так как дуга запрятына под слоем флюса.

У этой наплавки есть следующие недостатки:

- очень высокая стоимость оборудования, чем для ручной дуговой наплавки покрытой электродами;
- непригодность для наплавки мелких изделий сложной формы; Огромная глубина проплавления основного материала;
- нереальность изготовления тонкостенных деталей.

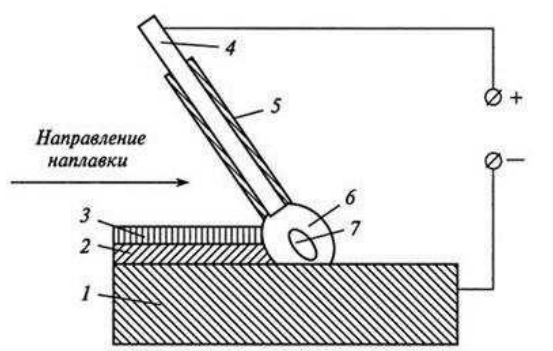
Наплавка под флюсом осуществляется посредством совмещения двух движений сварочных стержней. Они, во-первых, передвигаются вдоль получаемого шва, а во-вторых, подаются ближе к детали по мере оплавления. Заметим, что расплавление флюса производится сварочной дугой, а его толщина варьируется в пределах 2–4 сантиметров.

Описываемый метод защиты дает гарантию на то, что воздух из окружающей среды не сможет влиять на металл. Следовательно, негативного процесса окисления вала или плоской конструкции наблюдаться не будет. Применение флюса также обеспечивает сохранность тепла в зоне проведения наплавки и исключает вероятность разбрызгивания металла.

В большинстве случаев обработка деталей по такой технологии ведется проволокой без покрытия, которая выполняет функцию электрода. Выбор сечения используемой сварочной проволоки обуславливается конкретными задачами, ставящимися перед процедурой наплавки. Разрешается применять проволоку диаметром 1–6 миллиметров.

2.3 Наплавка открытой дугой.

Наплавка без защитной среды, в среде воздуха, осуществляется проволокой сплошного сечения или порошковой проволокой при отсутствии подачи флюса или защитного газа в зону дуги. Наплавка проволокой сплошного сечения связана с большими практическими трудностями и уступает способу наплавки порошковой проволокой с флюсовой сердцевинкой.



2.3 – Схема ручной наплавки.

1 – основной металл; 2 – наплавленный валик; 3 – шлаковая корка; 4 - электродный стержень; 5 – покрытие электродного стержня; 6 – газшлаковая защита; 7 – сварочный ванна;

Обработка поверхности открытой дугой проволокой с подачей флюса имеет следующие преимущества:

- Это то, что оборудование и технология просты, поскольку не требуется никакого защитного газа или флюса

- Возможно парение в поле.

- С помощью простого метода введения легирующих элементов в осадки состав сплава можно регулировать в больших пределах.

Есть много недостатков.

- Глубина проникновения в подложку при облицовке разнородными материалами велика.

- Сварка проволокой сложного химического состава очень дорогостоящая;

2.4 Наплавка в среде защитного газа с использованием металло-керамических порошков

Жесткое ограждение защитным газом используется для широкого спектра ремонтных работ, включая сварку трансмиссий и деталей шасси (осей, цапф, валов и т.д.) тракторов и автомобилей, деталей из чугуна, алюминиевых сплавов и легких стальных деталей. Жесткое ограждение защитным газом предназначено для защиты сварка осуществляется путем подачи защитного газа под давлением в зону горения электрической дуги и блокирования столба дуги и сварочной ванны от кислорода и азота в воздухе.

Основными преимуществами сварки и обработки поверхности в среде защитного газа являются высокая производительность за счет эффективного использования тепла сварочной дуги, механизация и автоматизация сварки и обработки поверхности деталей в любом пространственном положении, высокое качество сварных (накладных) швов, возможность контроля сварки

(наложения) любой толщины, и отсутствие очистки от сварочного шлака, что особенно важно для обработки многослойной поверхности. Недостатки: повышенное распыление металла (до 10-12%), ограниченное легирование наплавленных металлов (только по линиям электродов), пониженная износостойкость и пониженная усталостная прочность (10-50%).

Использование инертных газов устраняет необходимость в флюсе и особенно полезно для сварки материалов, чувствительных к окислению и азотированию, таких как цветные металлы и высоколегированные стали. Из-за высокого качества наплаваемого металла также полезно выбирать широкий ассортимент материалов для обработки поверхности.

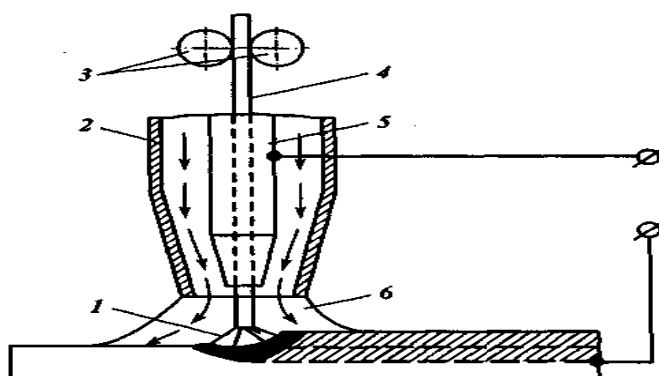


Рисунок 2.4 –Схема наплавки деталей в среде защитного газа

1 – электрическая дуга; 2 – горелка для подачи защитного газа; 3 – подающий механизм; 4 – электрическая проволока; 5 – мунштук; 6 – столб защитного газа;

2.5 Наплавка порошковой проволокой.

Порошковые проволоки - это трубчатые или другие конструкции непрерывных электродов с сердечником, заполненным порошком. Ядро состоит из смеси минералов, руд, черных сплавов, металлических порошков, химикатов и других материалов.

Порошковые проволоки представляют собой трубы, скрученные из стальных полос диаметром 2 . . 3 мм заполнен шихтой в виде механической

смеси легирующих (черные сплавы, углерод, различные металлы), защитных (мрамор, флюорит и др.) компонентов, железного порошка, а также веществ, стабилизирующих дугу горения.

Наплавка возможна открытой дугой, в среде углекислого газа, под слоем флюса, в осциллирующих дуговых наплавочных установках или вручную. При левитации под слоем флюса или в среде углекислого газа шихта состоит в основном из легирующих элементов. Порошковая проволока выпускается различных марок для автоматической и полуавтоматической наплавки и сварки низко- и среднеуглеродистой стали (PP-AN1, PP-ANZ и т.д.). Наплавка порошковой проволокой дает износостойкий осажденный металл с твердостью 40 . .5HRC3. Наплавка обычно выполняется постоянным током противоположной полярности.

Преимущества процесса: простота его проведения, так как не требуется присутствие флюса или защитного газа; износостойкий осажденный металл и относительно высокий коэффициент флотации -12, полученный . .20 кг/(a h). Недостатками являются значительная стоимость проволоки, получение осажденного металла с неоднородной структурой и повышенной пористостью.

Вместо порошковой проволоки при наплавке поверхностей значительной ширины и больших цилиндрических диаметров эффективнее использовать порошковые ленты шириной 20-100 мм.

Назначение различных компонентов сердечника аналогично назначению электродных покрытий, например, защита расплавленного металла от вредного воздействия воздуха, раскисление, легирование металлов и стабилизация дуги.

Порошковая проволока используется для сварки без дополнительных защита зон сварки, а также для сварки в защитных газах, под сортом, электрошлаком. Сердечник проволоки содержит такие вещества, как материала

при нагреве и плавлении в дуге образуется необходимый шлак и газовая защита расплавленного металла.

Сегодня наиболее распространенными являются порошковые проволоки и самозащитные порошковые проволоки для сварки в углекислом газе.

Механизм процесса наплавки самозащитной порошковой проволокой с образованием свободного шва показан на рисунке 11. Между оболочкой 1 порошковой проволоки и основным металлом 10 возбуждается электрическая дуга. Под воздействием тепла, выделяемого дугой, оболочка и сердечник 2 проволоки расплавляются. Расплавленный металл оболочки и сердечника образует на конце проволоки капли 3, которые растут и переносятся в сварочную ванну 5. По мере расплавления минералов, руд и химических веществ, составляющих ядро, образуется шлак 6, покрывающий капли и сварочную ванну тонким слоем. 4 Дуга падает или горит между оболочкой и сварочной ванной. По мере разложения ядра карбонат и органические материалы выделяют газы 9, которые защищают расплавленный металл от воздействия воздуха. По мере расплавления проволоки она автоматически подается в зону сварки. После удаления дуги жидкий металл в сварочной ванне кристаллизуется, образуя сварной шов 7, покрытый слоем затвердевшего шлака 8.

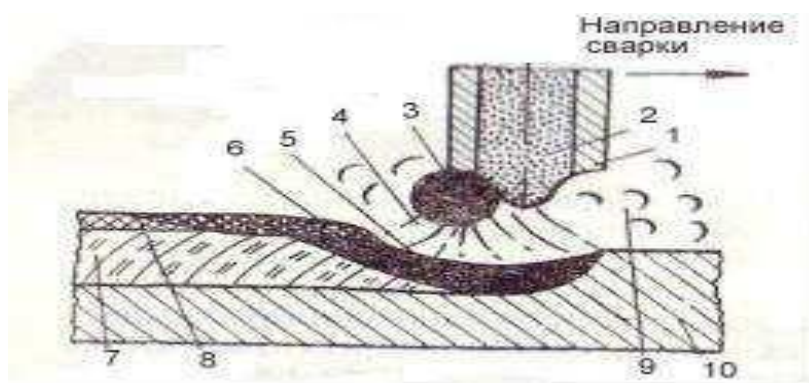


Рисунок 2.5 – Схема процесса наплавки самозащитой порошковой проволокой.

1 – оболочка; 2 – сердечник проволоки; 3 – капля; 4 – дуга; 5 – сварочная ванна; 6 – шлак; 7 – сварной шов; 8 – затвердевший шлак; 9 – газы; 10 – основной металл;

2.6 Плазменная наплавка.

Плазменная наплавка – это современный метод наложения износостойчивого покрытия на рабочую поверхность. Он применяется при производстве и восстановлении изношенных машинных деталей. В современной технологии сварки этот метод занял важное место. С помощью дуговых плазмотронов осуществляют технологию плазменного напыления покрытий (толщиной не более 1 мм). При этом используются порошковые материалы с размером частиц от 20 до 50 мкм. В процессе напыления частицы порошка [6], вдуваемые в плазменную струю, разогреваются до температур близких к температуре их плавления и ускоряются до скоростей порядка 50...150 м/с.(рис. 2.7).

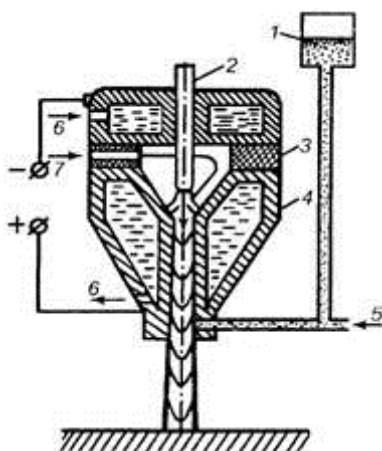


Рисунок 2.6 – Схема процесса плазменного напыления

1 – порошковый дозатор; 2 – катод; 3 – изоляционная прокладка; 4 – анод; 5 – транспортирующий газ; 6 – охлаждающая жидкость; 7 – плазмообразующий газ;

Поток плазмы дает возможность наложить материалы, которые отличаются по своим параметрам. Выполнить это можно в несколько слоев.

Таким образом, металл покрывают разными покрытиями с индивидуальными защитными особенностями.

Широкие границы регулирования энергетических возможностей плазменной дуги, потому, что она является наиболее гибким источником тепла.

Плазменный поток имеет очень высокую температуру, из-за чего он плавит тугоплавкие материалы.

Формы и размеры детали для наплавления не снижают показатели технических характеристик данного метода. Также при этом не снижается показатель результата.

Если сравнить эту технологию с электродуговой сваркой, то плазменная наплавка имеет значительное преимущество:

Металл перемешивается по минимуму.

Минимальные тепловые затраты.

Абсолютный контроль дуги.

Полученное покрытие гладкое при небольшой механической обработке.

Чистота наплавленных слоев.

Цельное покрытие без пор.

Высокий показатель прочности соединения.

2.7 Материалы, применяемые для наплавки

Это материал, используемый для напыления покрытий и обработки поверхностей, обладающий превосходной коррозионной стойкостью, стойкостью к трению и истиранию. Это покрытие выдерживает газовую коррозию при температурах от 700 до 850 °С, а также устойчиво к воздействию пресной и морской воды, соленой воды, нефтесодержащих сред, аммиака и других раздражающих сред. Раствор минеральной кислоты не является стойким или слабым. Сплав плавится в температурном диапазоне, характерном

для материалов с эвтектической структурой. Основной структурной фазой пленки сплава является пересыщенный твердый раствор на основе Ni-Ni, а упрочняющей фазой являются бориды хрома и никеля, карбид хрома Cr₂₃C₆ и борид углерода хрома различного состава. В порошок с высоким содержанием углерода также входят частицы более прочного карбида Cr₇C₃. Чем выше содержание хрома, бора, кремния и углерода в никелевом сплаве, тем выше твердость и износостойкость пленки. Бор и кремний образуют с никелем растворимую эвтектику с температурой плавления 950 ~ 1080 °С, а боросиликатный шлак (самофлюс) может образовываться путем регенерации оксидной пленки на поверхности подложки в присутствии жидкой фазы для улучшения смачиваемости жидкого металла и подложки.

Адгезия, когезия и износостойкость пленок из сплава одного и того же состава при сухом трении и износе обычно улучшаются с увеличением плотности пленки (уменьшением пористости). Пористость неплавящегося плазменного покрытия самоплавящегося сплава составляет 10-12%, а пористость сплава с газовым потоком достигает целых 20%. Путем чередования послойного осаждения и плавления, одновременного с плазменным осаждением (процесс РТА) или послойного осаждения с осаждением каркаса, пористость покрытия может быть уменьшена, а результирующая прочность увеличена в 5-10 раз. Плавление пленки термического напыления также осуществляется рамной горелкой, плазменным пламенем, нагревом в печи, током высокой частоты и т.д. Благодаря высокой плотности детонационного покрытия (пористость обычно составляет менее 1%), его не нужно расплавлять после распыления. Влияние пустот на качество покрытия и срок службы не является уникальным. Для полусухих поверхностей трения оптимальная пористость может быть получена путем плазменного напыления без плавления, что способствует снижению износа узла трения. Сохраняя смазочное масло, он предотвращает захват противника.

Диратометрические исследования покрытий для термического напыления NH13CP, NH15CP2, NH16CP3 и NH17CP4 показали, что при охлаждении в диапазоне температур 960-20°C. Следовательно, в системе железо-углерод фазовое превращение происходит с изменением объема, и существует риск того, что пленка, нанесенная на основной материал из железа или чугуна будет трескаться при охлаждении. По этой причине рекомендуется снизить скорость охлаждения лакокрасочных изделий, изготовленных из саморастворимых сплавов. Рекомендуемые диапазоны скоростей охлаждения составляют, например, сталь 10 при 100°C/с или менее, сталь 45 при 35°C/с или менее и сталь 70 при 5°C/с или менее.

Кроме того, в качестве общего свойства сплава Ni-Cr-B-Si-C существует свойство сохранять твердость и износостойкость даже после отпуска при нагреве до 600 °C. Твердость сплава при высоких температурах (например, 650°C) может составлять 50-70% от твердости, измеренной при комнатной температуре.

Области применения порошка из никелевого сплава: износостойкое покрытие металлургического, шахтного, нефтяного, электроэнергетического, стекольного, химического оборудования, штамповочного и прессового инструмента, деталей автомобильного, железнодорожного, судового транспорта, газокompрессорных агрегатов, сельскохозяйственной техники и других деталей. Сплавы также используются в смешивании с другими материалами покрытия: карбидами, интерметаллическими соединениями и т.д.

Типичными саморастворимыми сплавами на основе железа являются сплав PR-KH4HSR с добавлением ванадия, хрома и марганца с высоким содержанием углерода, железо-никель-хромовый сплав PG-Zh14 и сплав FMI со среднеуглеродистым эвтектическим составом. Пленки из высокоуглеродистых сплавов характеризуются повышенной твердостью и превосходной износостойкостью в водной среде, в то время как эвтектические сплавы (FMI)

характеризуются отличным трением и износостойкостью при высокоскоростном скольжении.

Саморастворимая оловянно-никелевая бронза Cu-Sn-Ni-B-Si - это материал для износостойкого покрытия меди, медных сплавов и стальных материалов.

Таблица 2.1– Химический состав металлических порошков на основе никеля и железа

Марка сплава	C	B	Si	Ni	Cr	Fe	Прочие элементы	Твёрдость HRC
ПР-Н80Х13С2Р	0,2–6,4	1,2–1,8	2–2,8	Основа	12–14	До 5	–	25–35
ПР-Н77Х15С3Р2	0,35–0,6	1,8–2,3	2,8–3,5	»	14–16	До 5	–	35–45
ПР-Н73Х16С3Р3	0,6–0,9	2,3–3	2,7–3,7	»	15–17	До 5	–	45–50
ПР-Н70Х17С4Р4	0,8–1,2	3,1–4	3,8–4,5	»	16–18	До 5	–	55
ПР-Н67Х18С5Р5	0,9–1,5	4–4,7	4–5	»	16–18	До 5	–	60
ПР-Н65Х25С3Р3	0,9–1,5	2–3	2,1–2,3	»	23–26	До 5	–	45
ПН68Х21С5Р	0,35–0,5	1–1,3	4–5	»	20–22	4–7	–	40
ПН70Ю30	0,07	–	–	»	–	0,2	28–33 Al	40
ПН85Ю15	0,07	–	–	»	–	0,2	12–15 Al	30–35
ПН55Т45	0,07	–	–	»	–	0,2	43–47 Ti	55–60
ПТ88Н12	0,07	–	–	10–12,5	–	0,2	Ti-основа	–
ПТ65Ю35	0,07	–	–	–	–	0,2	Ti-основа, 35–40 Al	–

К общим характеристикам Ni-Cr-B-Si-C сплавов относится также свойство сохранять твердость и сопротивление абразивному изнашиванию по-

сле отпуска с нагревом до 600°C. Твердость же сплавов при повышенных температурах («горячая» твердость»), например, при 650°C может составить 50-70% от измеренной при комнатной температуре.

А область использования порошков из никелевых сплавов: износостойкие покрытия на деталях металлургического, горно-нефтедобывающего, энергетического, стекольного и химического оборудования, штампового и прессового инструмента, деталях автомобильного, железнодорожного и судового транспорта, газоперекачивающих установок, сельскохозяйственной техники и др.

Высокоуглеродистая сталь по причине ряда неоспоримых достоинств, которыми она обладает, успешно применяется для производства изделий, использующихся во многих отраслях промышленности. Между тем использование сталей данной категории не всегда целесообразно, поэтому очень важно хорошо разбираться в свойствах и качественных характеристиках подобных сплавов.

Любая сталь, как известно, является сплавом железа и углерода, в который могут добавляться различные легирующие элементы. Разделение сталей на мало-, средне- и высокоуглеродистые типы зависит от того, в каком количестве в их составе присутствует углерод. Данный элемент, который оказывает серьезное влияние на характеристики готового сплава, может содержаться в сталях от 0,02 до 2,14%. В сталях, относящихся к категории высокоуглеродистых, количество данного элемента в составе начинается с отметки 0,6%.

Металлические порошки характеризуются технологическими, физическими и химическими свойствами, основные из которых регламентируются ГОСТами и техническими условиями.

К технологическим свойствам порошков относятся: насыпная плотность, текучесть, прессуемость и формуемость.

Насыпная плотность -- отношение массы свободно насыпанного порошка к занимаемому им объему. Чем крупнее частицы и правильнее их форма, тем больше насыпная плотность порошка.

Текучесть порошка определяется скоростью истечения его через отверстие заданного диаметра. Хорошая текучесть порошка необходима для быстрого и равномерного заполнения им пресс-формы.

Прессуемость порошков -- это способность их уплотняться при формировании изделий в зависимости от давления. Формуемость порошка характеризуется способностью заготовок сохранять заданную форму после уплотнения порошка при минимальном давлении.

От технологических свойств порошков зависит их дозирование, заполняемость полостей пресс-форм, процесс прессования изделий и их усадка после спекания.

Физические свойства порошков характеризуются формой частиц, гранулометрическим составом порошков, их удельной поверхностью и микротвердостью частиц.

Форма частиц в зависимости от метода получения порошка может быть сферической, губчатой, осколочной, тарельчатой, дендритной, каплевидной.

Гранулометрический состав порошка отражает содержание в нем частиц определенных фракций.

Удельная поверхность порошка (точнее -- удельная площадь поверхности) представляет собой отношение суммарной площади поверхности частиц порошка к его массе.

Микротвердость частицы характеризует ее способность к деформированию.

Физические свойства порошков существенно влияют на плотность, прочность и однородность свойств формуемых изделий, давление прессования, а также на процессы уплотнения и спекания порошковых материалов.

Химический состав порошка характеризуется содержанием в нем основного металла или компонентов смеси металлов, примесей, различных механических загрязнений и газов. Химический состав порошка зависит от метода производства и химического состава исходного сырья.

Сплавы на железной основе нашли широкое применение в различных сферах машиностроения. Среди них можно

Отметить следующие: плазменная наплавка, электродуговая и индукционная наплавка износостойких покрытий на детали машин металлургического, горнодобывающего и энергетического оборудования, сельскохозяйственной и дорожной техники, автомобильного и железнодорожного транспорта, шнеков экструдеров (ПН-АН2) и другого оборудования.

Ниже приведена таблица (табл.2) с марками порошков, их номинальным химическим составом и свойствами.

Таблица 2.2 – Химический состав и свойства высокоуглеродных порошков

Марка	Номинальный состав	Твердость HRC	Свойства
ПГ-С27	FeC3,9Cr26Si1,5Ni1, 7W0,3 Mo 0,1 Mn1,1	≥ 54,2	Стойкость к абразивному изнашиванию при умеренных ударных нагрузках и температуре до 500°C.
ПГ-С1	FeC2,9 Cr29Si3,5 Mn1 Ni4	≥ 54	Стойкость к абразивному и газо абразивному изнашиванию.
ПГ-УС25	FeC4,9 Cr38Si2,1 Ni1,4Mn≤2,5	≥ 55,9	Стойкость к усиленный абразивному изнашиванию без ударов.
ПГ-ФБХ6-2	Fe C4,5 Cr34 Si1,7 Mn2,7B1,6	≥ 53,2	Стойкость к абразивному изнашиванию (наплавка на оборудование угледобывающей отрасли).

Продолжительность таблицы 2.2

ПГ-АН1	FeC _{2,4} Cr ₂₉ Si ₂ Mn ₁ B _{1,5}	≥ 54	Стойкость кабразивно-му изнашиванию при умеренных ударах (защитные покрытия металлургического оборудования, строительных машины т. п.)
ПР- Х30СРНД Ю	Fe C _{4,9} Cr ₃₀ Si _{3,2} Ni _{1,4} Mn ₁ B ₂ Cu _{0,6} Al _{0,4}	≥ 60	Наплавка износостойких покрытий рабочих органов с/х техники и др.
ПР- Х18ФНМ(П Н-АН2)	FeC CrVNiМои др.	42–43, 51– 53 после Отпуска при 650 °С	Стойкость противабразивного износа, задира-ния и коррозии.

3. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Технологии подготовительных операций перед двухслойной дуговой наплавки

Во всех операциях технологических процессов, связанных наплавкой на восстанавливаемую поверхность важнейшим показателем является качество сцепления основного металла и металла, наплавляемые металлокерамические, а также физико-механические свойства наплавленных поверхностей.

Поэтому важнейшей технологической операцией при осаждении двухслойной дуговой наплавки на восстанавливаемую поверхность является подготовка этой поверхности для нанесения порошков.

Сам процесс подготовки включает в себя несколько технологических операций от качества реализации которых, во многом зависит качество восстановленной поверхности.

Технологический процесс подготовки поверхности для двухслойной наплавки включает в себя следующие этапы:

- механическая обработка изношенных поверхностей для удаления следов износа, а также для предания правильной заданной геометрической формы;
- обезжиривание для удаления всех видов маслянистых загрязнений, подготовленной поверхности;
- нанесения порошковых композиций;

Лучшим способом подготовки поверхностей к сварке и наплавке является пескоструйная очистка. Деталь с трещиной перед заваркой должна быть подготовлена следующим образом. Если трещина будет обнаружена на сварном шве, то его необходимо вырубить по всей длине трещины. Если трещина обнаружена на металле, то необходимо во избежание распространения трещин засверлить по ее концам отверстия диаметром 4—6 мм, а трещину разделить на V-образную канавку с одной или двух сторон в зависимости

от толщины стенки. Разделку трещины с двух сторон необходимо производить обязательно при толщине детали более 12 мм.

Подготовка под заварку отверстий. С двух сторон отверстия зенкуются при толщине материала больше диаметра отверстия. Для отверстия диаметром от 6 до 20 мм при толщине материала или глубине отверстия менее 0,6 его диаметра под готовку отверстия под заварку можно не производить.

Если отверстие имеет резьбу, то перед заваркой она должна быть удалена. Следует иметь в виду, что разделка отверстий должна быть выполнена так, чтобы обеспечить при заварке свободное движение электрода в отверстие.

При сварке деталей встык, при постановке вставок или накладок кромки свариваемых деталей должны быть разделаны по общепринятым правилам на сварочные соединения.

3.2 Оценка характеристик износостойкости покрытий двухслойной дуговой наплавки

Износостойкость поверхностей лабораторных образцов восстановленных различными методами определяется на специальном технологическом оборудовании. Как правило, это серийные машины трения различных конструкций.

На кафедре «Эксплуатация и ремонт машин» имеется действующая машина трения марки 77МТ-1, общий вид этой машины трения приведен на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1. Общий вид машины трения марки 77МТ-1

Технические характеристики машины трения 77МТ-1, которая была использована в лабораторных исследованиях на износостойкость образцов покрытий, приведена в таблице 3.2

Таблица 3.1. Технические характеристика машины трения 77МТ-1.

№ п/п	Наименование	Показатели
1	2	3
1	Частота вращения вала эксцентрика	28-280 мин ⁻¹
2	Длина хода нижнего образца	52 мм
3	Нагрузка на образцы	50-750 Н
4	Масса и количество гирь нагружающего устройства:	-1 кг-3 шт. -2 кг-2шт. -5 кг-1 шт.
5	Максимальная относительная погрешность частоты вращения вала эксцентрика	± 3 %
6	Максимальная относительная погрешность интенсивности изнашивания эталонных образцов, нормированная по среднему значению	± 30 %
7	Потребляемая мощность	не более 1,3 кВт
1	2	3
8	Габаритные размеры:	длина 910 мм ширина 410 мм высота 860 мм
9	Максимальная масса машины	190 кг

Установка для проверки износостойкости установлена в 110 аудитории кафедры «Эксплуатация и ремонта машин».

Испытания на износостойкость на этой машине можно производить только на специально подготовленных лабораторных образцах.

При испытании на износостойкость скорость изнашивания можно определить либо по изменению толщины испытуемого образца, либо по весу.

В нашем случае оценка износостойкости осуществляется по изменению веса лабораторного образца.

Для этого испытуемый образец взвешивается на электронных весах после нанесения упрочняющей поверхности и после того, как этот образец был установлен на машину трения.

Разница в этих весовых показателях позволяет судить после проведенных расчетов об износостойкости того или иного образца.

Принцип работы машины трения заключается в том, что проводятся работы на истирание контролируемого образца.

Для осуществления истирания используются специальные керамические зернистые бруски.

Исследуемый образец устанавливается на контрольную платформу машины трения и закрепляется на ней.

Давление на исследуемый образец зернистого бруса регламентируется за счет груза, устанавливаемого на рычаг подвески машины трения.

На этом рычаге имеется специальная площадка для установки гирь различной массы.

Платформа с установленным на ней образцом совершает возвратно-поступательные движения, при этом зернистый брусок находится в неподвижном состоянии и прижимается с определенным усилием к двигающемуся образцу, что приводит к истиранию контролируемой поверхности.

Для проведения опытом на машине трения и определения других физико-механических свойств упрочненных поверхностей были изготовлены лабораторные контрольные образцы, на которые наносились поверхностно-упрочненные слои двухслойной дуговой наплавки при различных режимах обработки восстановления.

Для получения достоверных результатов принято число опытов равным 5. Для исследования были изготовлены металлические пластины, которые имеют размеры 7x7 см. Эти пластины были обработаны двухслойной ду-

говой наплавкой. До восстановления эти пластины имели вид, которые показаны на рисунке 3.2, после восстановления показаны на рисунке 3.3.

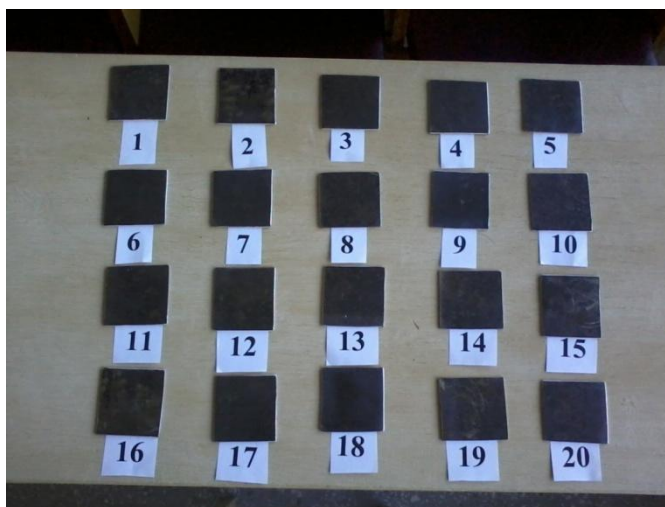


Рисунок 3.2- Пластины до наплавки

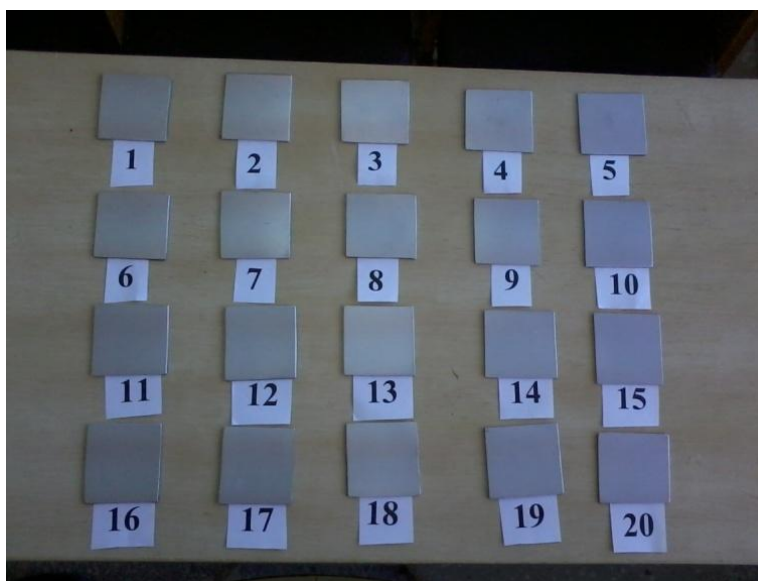


Рисунок 3.3- Пластины после двухслойной дуговой наплавки

Расчет характеристик износостойкости контролируемых пластин осуществлялся по специальной методике, оговоренной в технических характеристиках машины трения марки 77MT-1.

Все необходимые расчеты по износостойкости контрольных образцов исходя из изменения веса, были определены по расчетными формулам, приведенным ниже.

$$F = G_{СТ} + 2,5G_{РЫЧ} + 5G_{Г}, \quad (3.1)$$

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:

$$J_m = \frac{h}{l}, \text{ мг/м}, \quad (3.2)$$

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:

$$i_m = \frac{h}{t}, \text{ мг/ч}, \quad (3.3)$$

где t – время испытания, ч.

3.3 Оценка весовых характеристик лабораторных образцов

Оценка весовых характеристик, контролируемых образцов, проводилась на специальных электронных аналитических весах в условиях принятых стандартом.

Для обеспечения заданной точности показаний электрических весов необходимо добиться заданного стандартом температурного режима в помещении.

Поэтому после включения весы должны простоять в зависимости от их марки определенной время в включенном состоянии.



Рисунок 3.4 - Аналитические весы AND HR – 200

Для определения толщины покрытия используется следующая формула:

$$h = \frac{m_2 - m_1}{S \cdot \gamma}, \quad (3.4)$$

где h – толщина покрытия, мм;

m_1 - масса пластины до восстановления, г;

m_2 - масса пластины после восстановления, г;

S - площадь пластины, см²;

γ - плотность металла, г/см³.

Площадь пластины определяется по формуле:

$$S = a \cdot b, \text{ см}^2, \quad (3.5)$$

где a, b размеры пластины, см.

Ширина и длина пластины 7 см.

3.4 Методика определения микротвердости покрытия

Перед испытанием на микротвердость нужно обращать внимание на то, что поверхности алмазной пирамиды и испытуемого образца должны быть сухими.

Поверхности испытуемого образца были плоскими, гладкими, и очищены от загрязнений.

Нагружение алмазного шарика во время испытания вели плавно и медленно, чтобы не исказились размеры отпечатка. Продолжительность нагрузки составляет 5 с.

Микротвердость металла определяли прибором ТК-2М. (рисунок 3.5).



Рисунок 3.5- Твердомер ТК-2М

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

Для отсчета числа твердости служит индикаторный прибор. На его циферблате имеется две шкалы: черная С и красная В, каждая имеет по 100 делений.

Шкала В смещена относительно шкалы С на 30 делений в направлении, противоположном движению стрелки индикатора при внедрении наконечника.

Формула для вычисления твердости по Роквеллу HR:

$$HR = \frac{k - (h - h_0)}{c}, \quad (3.6)$$

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

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

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

c – цена деления шкалы индикаторного прибора равная 0,002 мм.

Твердость по Роквеллу обозначается цифрами и буквами. Число характеризуют число твердости, а буквы HR указание шкалы твердости, например 60 HRC.

Таблица 3.2 - Выбор шкалы твердости, вида наконечника и нагрузки

Твердость металла HB, кгс/мм ²	Тип наконечника	Обозначение шкалы	Допустимые границы измерения твердости	Нагрузка, кгс
60 – 240	Стальной шарик	В	25 – 100	100

Продолжительность таблицы 3.2

60 – 240	Стальной шарик	V	25 – 100	100
60 – 240	Стальной шарик	V	25 – 100	100
60 – 240	Стальной шарик	V	25 – 100	100

Число твердости по Роквеллу можно перевести в число твердости по Бринеллю, пользуясь таблицей, составленной на основании экспериментальных данных. Число твердости по Роквеллу – это отвлеченное число, которое выражается в условных единицах.

3.5 Методика приготовления шлифов, методы измерения твердости, проведения микроанализы

Методика приготовления шлифов

Для удобства приготовления шлифов на образцах, размеры которых значительно меньше общепринятых, применяют различные приспособления. Например, образцы из тонкого листового материала закрепляют в специальных зажимах (рис. 2.1, а). Несколько образцов собирают в пакет, помещают его между пластинами и стягивают их болтами.

Подготовку поверхности, шлифование и полирование образцов ведут с помощью абразивных материалов и инструментов. Абразивные материалы представляют собой измельченные породы и бывают природные (алмаз, корунд, наждак, гранит, кварц, кремний, крокус - оксид железа и др.) и искусственные (синтетический алмаз, эльбор — нитрид бора, электрокорунд, карбид кремния, карбид бора, оксид алюминия). Шлиф изготавливают по поперечному сечению образца. Механическая зачистка проводится наждачной бумагой различной зернистости. При смене наждачной бумаги изменяют направление шлифовки на 90° для удаления рисок, созданных предыдущим шлифованием.

Заключительный этап обработки – механическое полирование образца до зеркального блеска. Полирование образцов проводится на ватмане с применением алмазной пасты зернистостью 20/14; 3/1.

Каждая операция проводится до полного исчезновения следов предыдущей. После полирования образцы тщательно протирают спиртом.

Качество полирования контролируется просмотром шлифа под микроскопом при увеличении в 50 раз. В случае необходимости шлиф просматривают при увеличении от 1250 до 1500 раз. Поверхность должна быть зеркальной, не иметь рисок и царапин.

Выявление микроструктуры образца

Микроструктура металлов и сплавов характеризуется величиной зерна, расположением, формой, размером и количеством различных фаз. Эти факторы влияют на физические и механические свойства сплавов.

Микроструктуру сплавов изучают под микроскопом (при различных увеличениях) на хорошо приготовленных шлифах. Для выявления микроструктуры сплавов применяют следующие методы: химическое травление, электролитическое травление, магнитный метод, тепловое травление, травление в расплавленных солях, катодное травление, усиление рельефа микроструктуры после объемных превращений.

Различные фазы сплава отличаются химическим составом, кристаллическим строением, механическими свойствами, поэтому в основе всех методов выявления микроструктуры лежит подбор условий, которые помогают выявить как различные фазы, так и отличить их друг от друга.

Для выявления микроструктуры применяют специально подобранные кислоты и щелочи различной концентрации, растворы различных солей и их смеси, различные составы электролитов, нагрев до различной температуры на воздухе или в специальной среде газов и паров, нагревание до определенных температур при пропускании электрического тока. При воздействии этих факторов на поверхность шлифа происходит растворение одних фаз, окисление и

окрашивание других. В результате на шлифе под микроскопом можно увидеть очертания зерен и различных фаз, определить их взаимное расположение; по цвету, форме и размерам определить присутствующие в сплаве фазы – выявить микроструктуру сплава.

Заключительный этап в приготовлении шлифа – травление. Травление основано на том, что полированная металлическая поверхность шлифа, опущенного в реактив, представляет собой участки (фазы) с различными по величине электрохимическим потенциалами. Поэтому зерна каждой фазы имеют различную травимость.

Условия травления: температура 18-20° С, время 20-30 секунд.

Травление считается законченным, если поверхность шлифа становится слегка матовой. После остатки реактива смываются водой, и шлиф высушивается спиртом, прикладывая к нему лист фильтровальной бумаги.

Традиционный метод измерения твердости образца

Измерение твердости образца (микрошлифа) проводилось на твердомере ТК -2М – прибор настольного типа, предназначенный для измерения твердости металлов и сплавов по методу вдавливания алмазного конуса или стального шарика под действием заданной нагрузки в течении определенного времени.

Испытания проводились в соответствии с ГОСТом 9013-59

В нашем случае проводился замер твердости как наплавленного слоя, так и подложки.

Методика проведения макроанализа

Макроанализ проводился на приборе МБС 3 – микроскопе с увеличением от 4х до 100 крат (рис.25), работающем как при искусственном так и естественном освещении. С помощью данного прибора визуально удалось определить величину упрочнённого слоя, а так же тщательнее рассмотреть такие поверхностные дефекты как сколы, трещины, выкрашивание.

Наблюдаемая структура называется микроструктурой. Анализ проводился при увеличении в 100 и 500раз. Изображение, передаваемое цифро-

вой фотоаппаратурой, выводится на монитор компьютера. Далее полученное изображение можно сохранить в необходимом нам формате, например, с расширением с jpg или gif.

Все измерения по твердости контрольных образцов осуществлялись согласно методике лабораторных исследований с использованием всего технологического оборудования.

Результаты контроля твердости образцов по методике лабораторных исследований приведены в таблице 3.3

Таблица 3.3 – Твердость покрытия образцов

Покрытие	Твердость по Роквеллу, HRC	Твердость по Бринеллю, HB	МПа
Контроль (без покрытия)	-	207	2031
Двухслойная дуговая наплавка	62	576	5694

Исследования износостойкости покрытий проводили на машине трения 77MT-1. Группа исследуемых образцов состояла из трех пластин, изготовленных из стали 65 Г. Первая пластина была контрольной, т.е. без; вторая – с нанесенным на нее двухслойной дуговой наплавкой, но без термической обработки. Толщина двухслойной дуговой наплавки 2.5 мм. Твердость пластин двухслойной дуговой наплавкой без термообработки составляла HRC 62.

Данные по износостойкости образцов сведены в таблицу 3.4.

Таблица 3.4 – 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
Двухслойная дуговая наплавка	2,2	4,5	6,9	9,1	11,5

Технико-экономическая оценка внедрения разработанной технологии двухслойной дуговой наплавки при восстановлении корпусов гильз цилиндров приведена в приложении.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Анализ структуры наплавленного слоя ПР-Н77Х15СЗР2-4

Для проведения экспериментальных исследования была разработана установка для двухслойной дуговой наплавки с использованием металлокерамических порошков.

Это установка приведена на рисунке 4.1.



Рисунок 4.1 – Установка для двухслойной дуговой наплавки с использованием металлокерамических порошков.

После отработки режимов наплавки на ложку 4 мм порошка ПР-Н77Х15СЗР2-4 толщиной 2мм, была проведена экспериментальная наплавка слоя шириной 50мм протяженностью 100мм, толщиной 2мм. (рис.38 а)

Полученный образец был разрезан, и из фрагментов были изготовлены темплеты для дальнейших исследований.

Микрострукта образца и зоны его сплавления представлены на рисунках 4.1



Рисунок 4.2 – Структура зоны сплавления подложки из Стали 65 Гн и наплавочного порошка ПР-Н77Х15С3Р2-4 с двухслойной дуговой наплавкой.

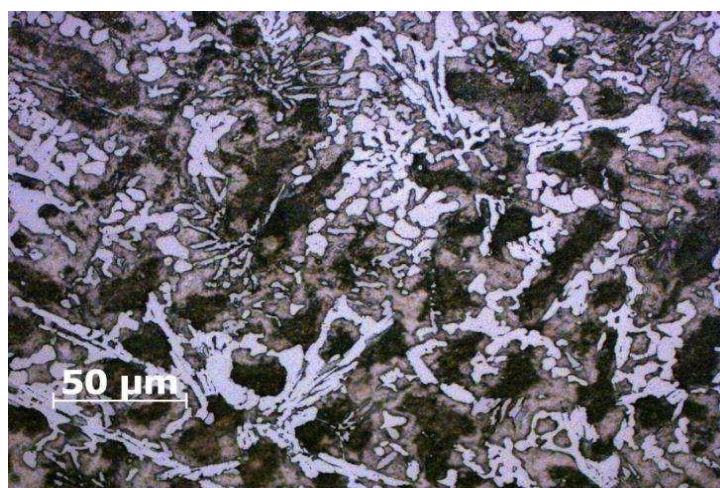


Рисунок 4.3 – Структура наплавленного слоя с использованием порошка ПР-Н77Х15С3Р2-4 с двухслойной дуговой наплавкой.

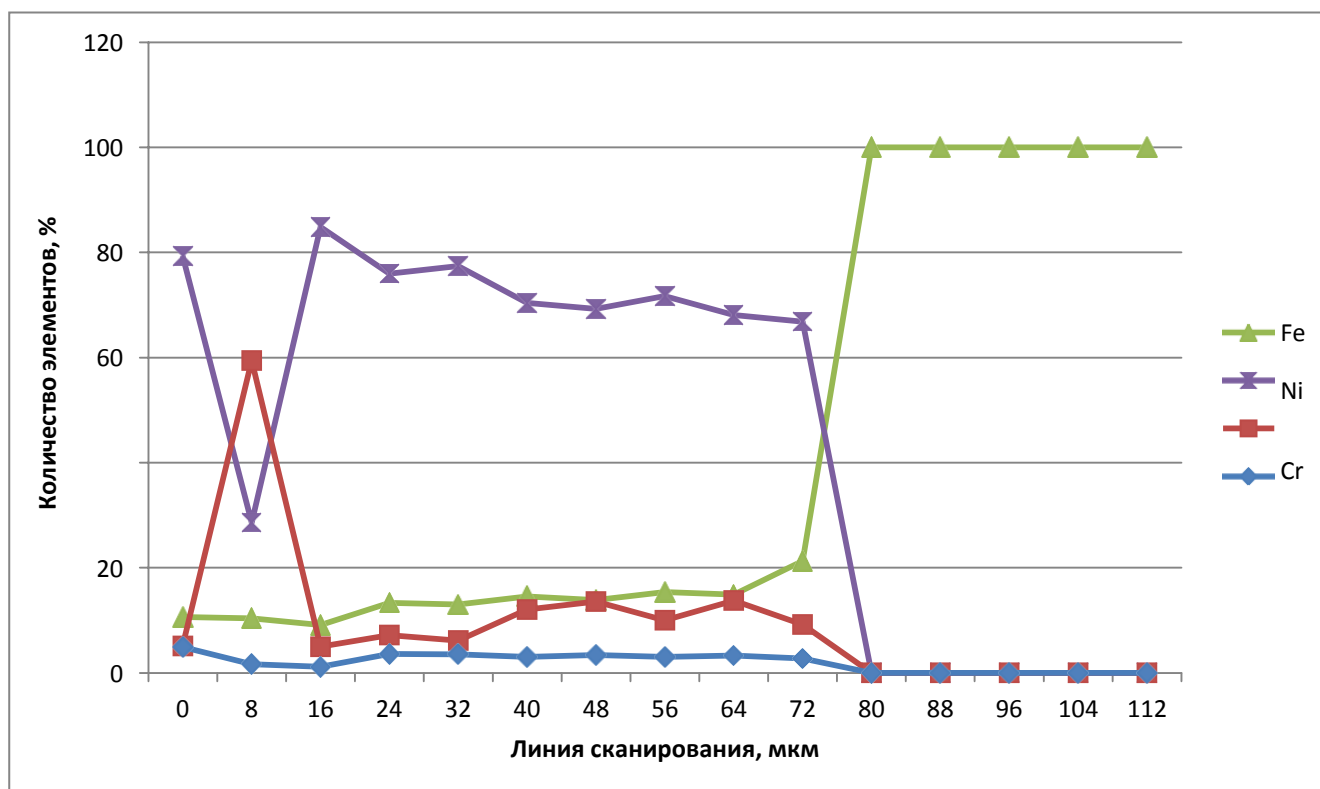


Рисунок 4.4 – График зависимости элементного состава образца в зоне сплавления.

Таблица 4.1 – Элементный состав линейного спектра при двухслойной дуговой наплавки с использованием металлокерамических порошков, шаг 8 мкм, в атомы, %.

Spectrum	Si	Cr	Fe	Ni
LineSpectrum(1)	4.91	5.10	10.66	79.33
LineSpectrum(2)	1.64	59.41	10.38	28.57
LineSpectrum(3)	1.13	4.94	9.09	84.84
LineSpectrum(4)	3.56	7.17	13.34	75.93
LineSpectrum(5)	3.51	6.13	12.98	77.38
LineSpectrum(6)	3.04	12.03	14.56	70.37
LineSpectrum(7)	3.41	13.55	13.83	69.20
LineSpectrum(8)	3.01	9.98	15.36	71.65
LineSpectrum(9)	3.26	13.75	14.90	68.08
LineSpectrum(10)	2.71	9.19	21.30	66.80

Был произведен замер микротвёрдости образца в зоне сплавления материала. Данный график наглядно представляет, как снижается твёрдость при переходе от наплавляемого материала к основе.



Рисунок 4.5 – График замера микротвёрдости образца в зоне сплавления

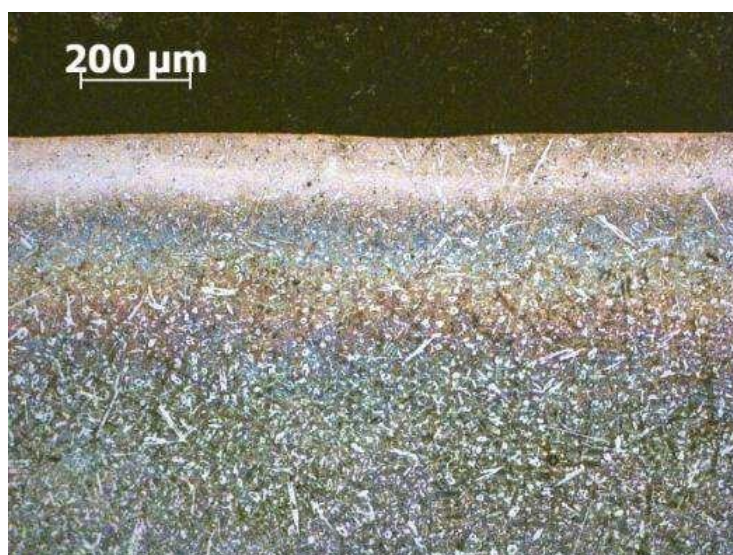
4.2 Анализ структуры наплавленного слоя ПГ-С27

Наплавку двухслойную дуговую с порошком ПР-С27 на стальную подложку толщиной 4мм осуществляли по режимам дуговой наплавки.

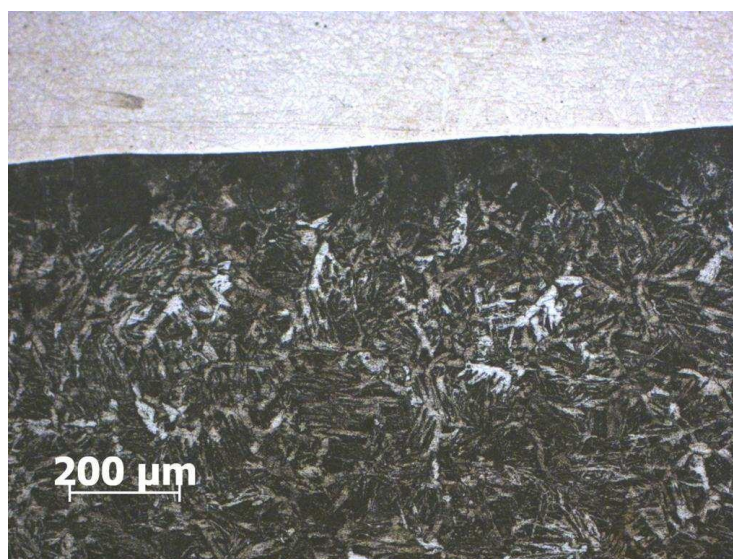
После наплавки проводились комплексные исследования структуры, фазового состава, элементного распределения, и рентгено-дифракционного.

Можно наблюдать что микроструктура наплавленного слоя имеет некоторые различия между зоной сплавления и глубжележащими слоями.

Наплавленный слой на границе раздела между сталью и сормайтотом обладает меньшей травимостью по сравнению с другими участками. Это может свидетельствовать о различии степени легирования в этих участках.



а



б

Рисунок 4.5 – Структура зоны сплавления подложки из Сталь 65 и наплавочного порошка ПГ-С27 с двухслойной дуговой наплавкой:

а – переход от подложки к наплавляемому материал; б – переход от наплавляемого материала к подложке.

Структура подложки в зоне сплавления отличается от площадей расположенных на удалении более 200 мкм вглубь. Это указывает на существенное температурное воздействие в зоне прилегающей к наплавленному слою. Эти температуры превышали температуры фазового превращения в

процессе наплавки, и при охлаждении в неравновесных условиях сформировалась квазиперлитная структура.

Микроструктура наплавленного слоя имеет характерное строение для данного сплава о чём можно судить по микроструктуре исходного порошка. Наблюдается существенное увеличение размеров карбидной фазы, что объясняется условиями теплоотвода.

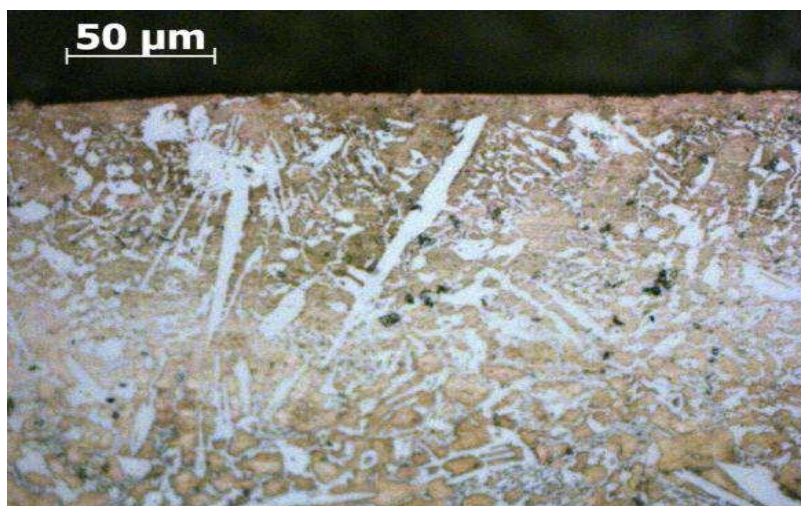


Рисунок 4.6 – Микроструктуры: - границы перехода от подложки Сталь 65 Гк наплавленному слою ПГ-С27 при двухслойной дуговой наплавки

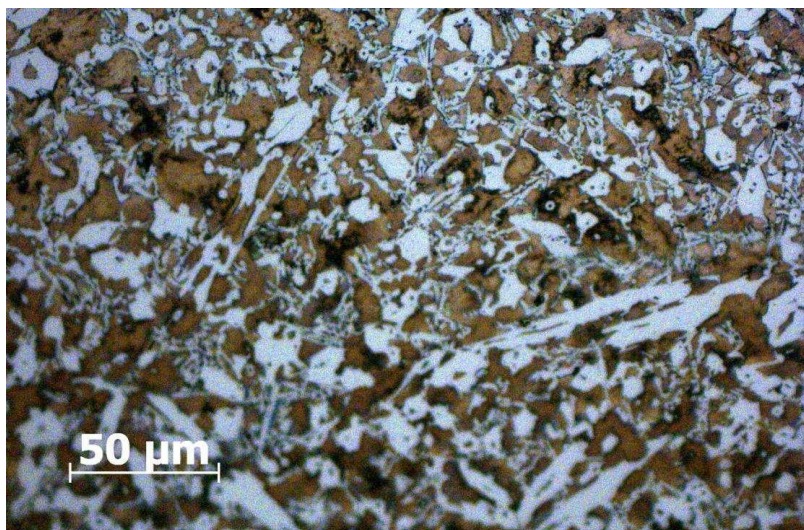


Рисунок 4.7 – Структура середины наплавленного слоя при двухслойной дуговой наплавки и ПГ-С27

По мере удаления от зоны сплавления наблюдается более равноостная структура (рис.4.7), а по мере приближения к поверхности структура так же несколько меняет свою морфологию.

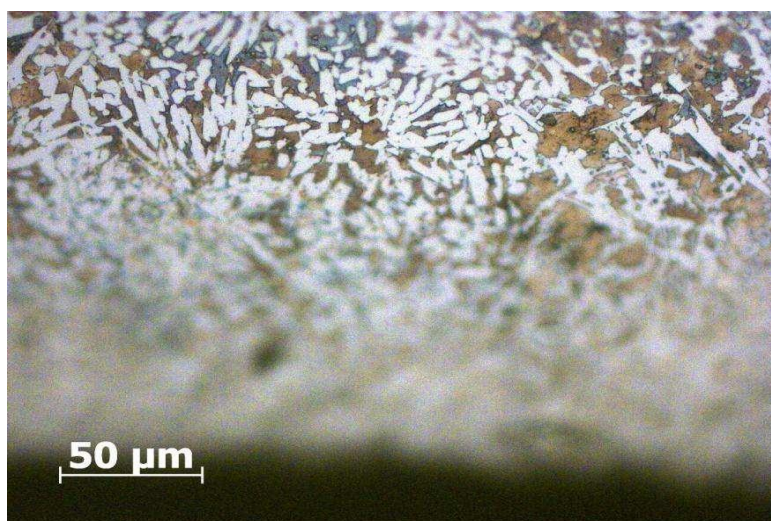


Рисунок 4.8 – Структура края наплавленного слоя при двухслойной дуговой наплавки и ПГ-С27

На основе исследования был построен график зависимости элементного состава исследуемой зоны, который показывает нам наличие наплавленном слое карбида хрома.

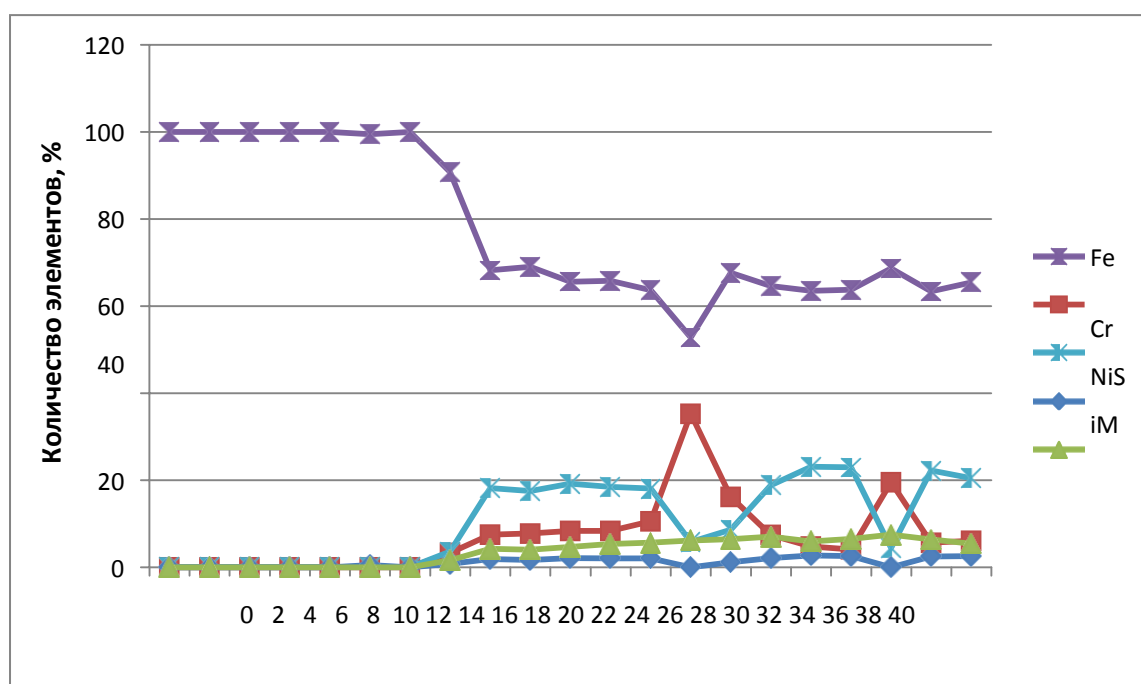


Рисунок 4.9 – График зависимости элементного состава образца в зоне сплавления.

Был произведен замер микротвёрдости образца в зоне сплавления материала, по которому был построено график.

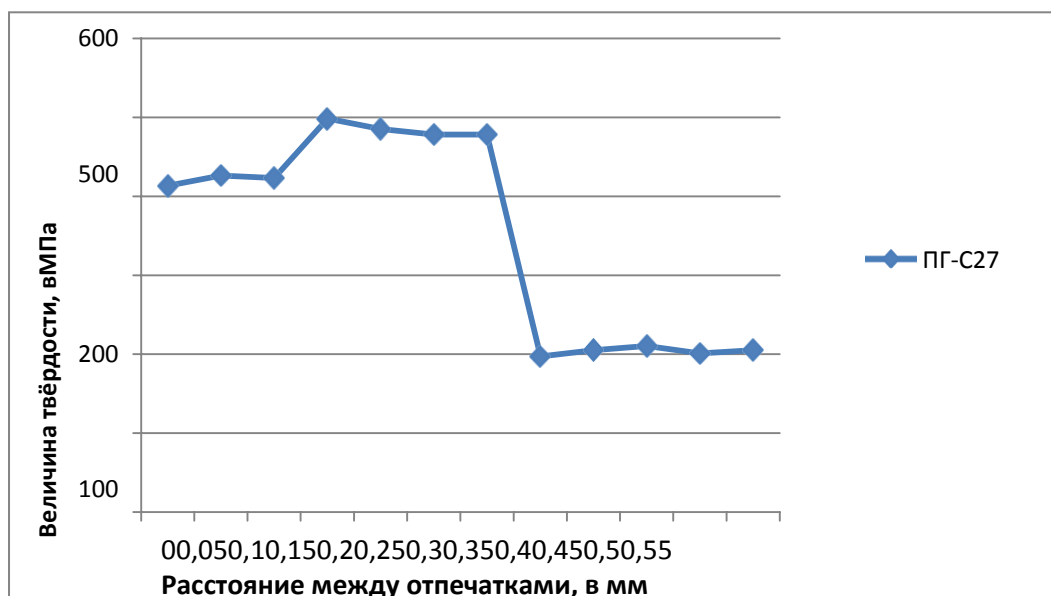


Рисунок 4.10 – График замера микротвёрдости образца в зоне сплавления

4.3 Анализ структуры двойного наплавленного слоя ПР- Н77Х15С3Р2-4

Одним из способов увеличения толщины наплавленного слоя является применение многократной наплавки. Это позволяет получать за один проход небольшую толщину наплавленного слоя, что отражается на его микроструктуре.

Применение многократной наплавки получит слой большей толщины, имеющей более дисперсное строение по сравнению со слоем аналогичной толщины полученным за один проход.

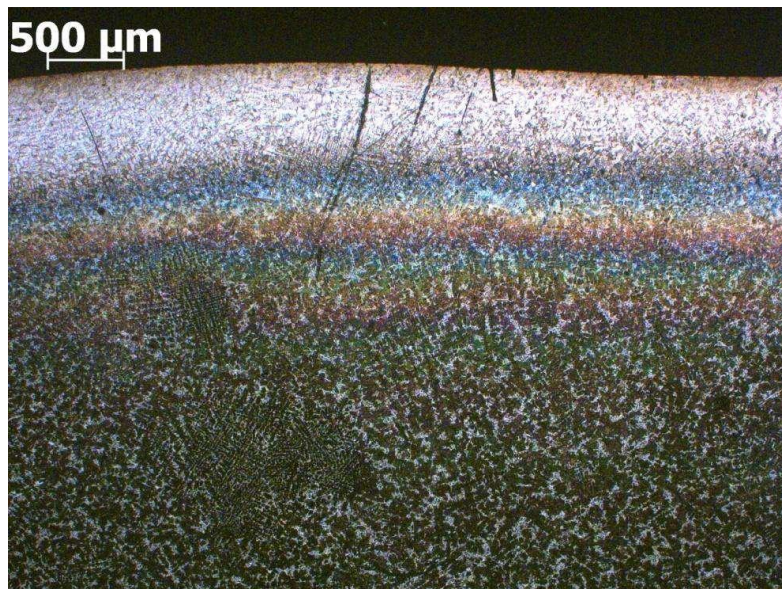


Рисунок 4.11 – Структура зоны сплавления подложки из Сталь и наплавочно-го порошка ПР-Н77Х15С3Р2-4 с двойной наплавкой.



Рисунок 4.12 – Структура подложки Сталь 65Г

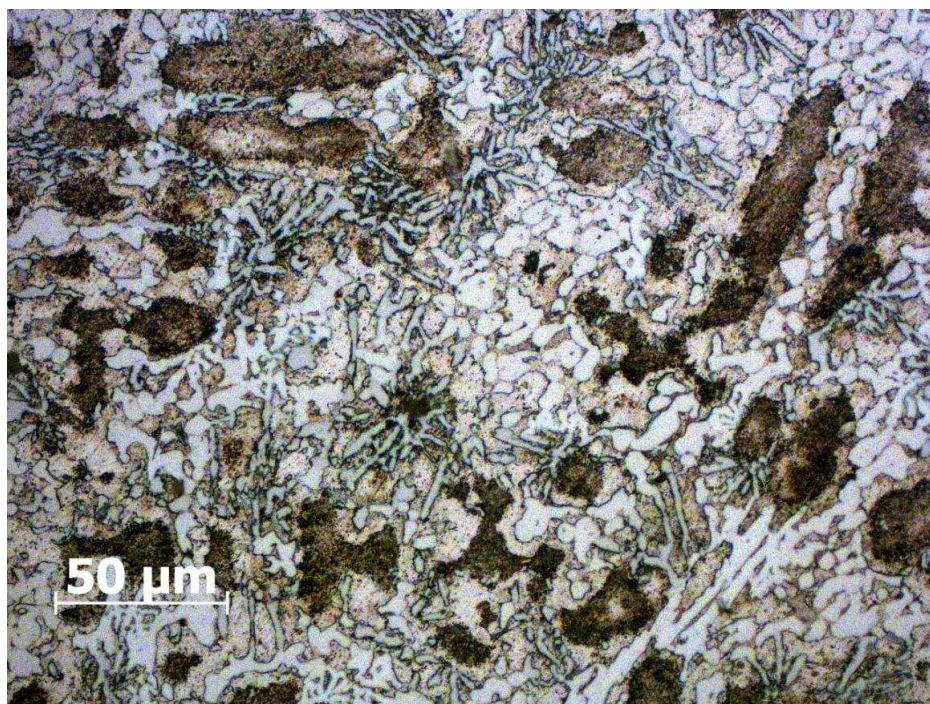


Рисунок 4.13 – Структура двойного наплавленного слоя при двухслойной дуговой наплавки с ПР-Н77Х15С3Р2-4

Далее был проведен спектральный анализ зоны сплавления образца, результаты которого представлены на рисунке 4.9 и таблице 4.2.

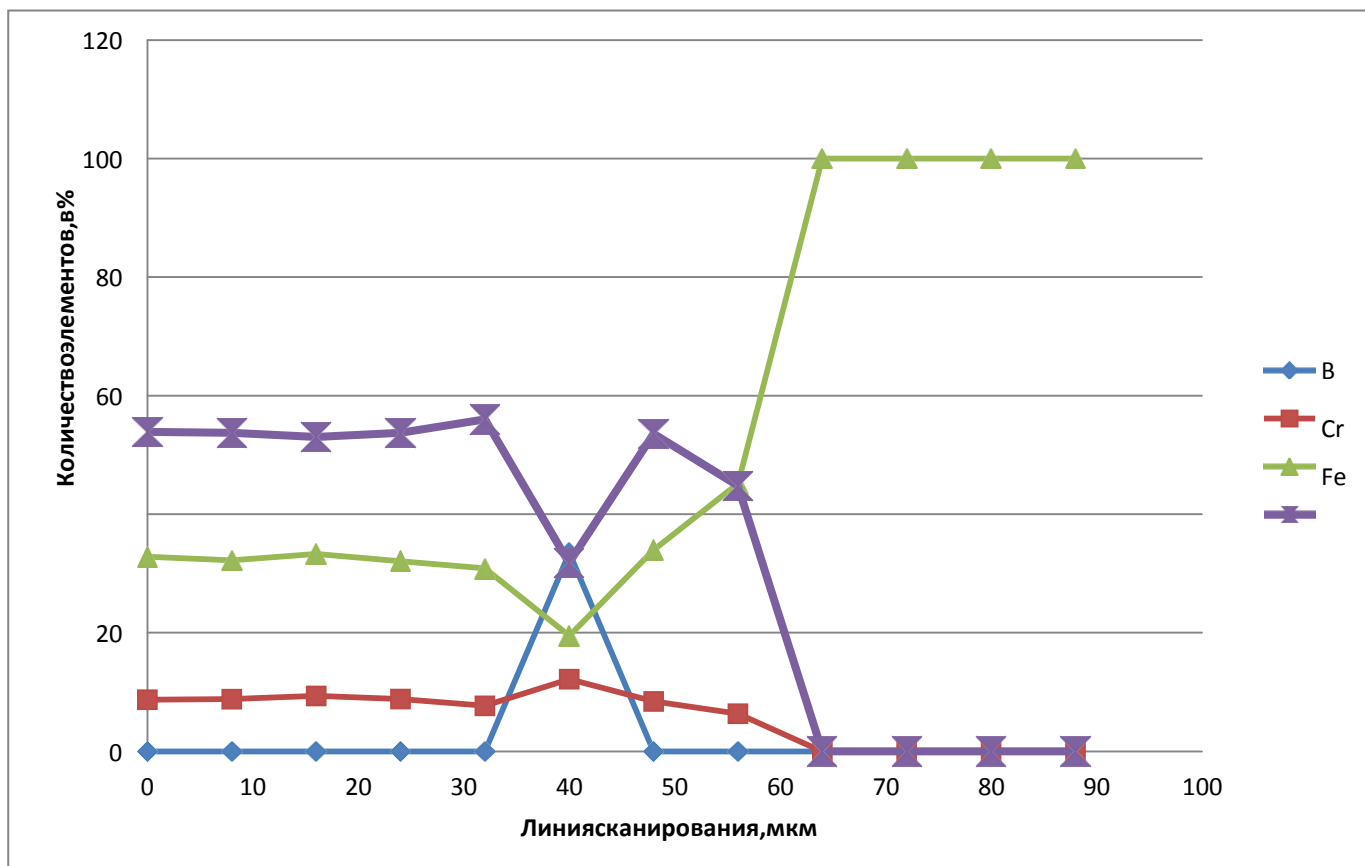


Рисунок 4.14 – График зависимости элементного состава образца в зоне сплавления.

Таблица 4.3 – Элементный состав линейного спектра, шаг 8 мкм, в атомы %.

Spectrum	B	Si	Cr	Fe	Ni
LineSpectrum(1)		4.58	8.74	32.81	53.88
LineSpectrum(2)		5.21	8.82	32.24	53.73
LineSpectrum(3)		4.33	9.37	33.29	53.01
LineSpectrum(4)		5.32	8.85	32.07	53.76
LineSpectrum(5)		5.48	7.69	30.84	55.99
LineSpectrum(6)	33.50	3.02	12.20	19.45	31.83
LineSpectrum(7)		4.04	8.45	33.95	53.55
LineSpectrum(8)		3.62	6.37	45.18	44.83

5. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

5.1 Разработка математической модели

Построение математических моделей влияние входных факторов. В нашем случае входными факторами будут температура нагрева и время протекания процессов.

По своей сути математическая модель будет представлена уравнениями регрессии, которая учитывает взаимное влияние входных и выходных факторов.

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i \dots j} b_{ij} x_i x_j + \sum_{j=1}^k b_{ij} x_k^2 + \dots \quad (5.1)$$

где b_i – коэффициенты уравнения;

$x_1, x_2 \dots x_i$ – величины входных параметров (концентрации компонентов, температуры, т.д.).

5.2 Допущения

Варьируемыми факторами (независимыми переменными) являлись сила тока двухслойной дуговой наплавки (x_1) и продолжительность (x_2). Пределы варьирования температуры раствора (см. таблицу 5.1) $t - 120 \dots 180^\circ\text{A}$, интервал варьирования 20°C ; пределы варьирования продолжительности опыта $\tau - 15-20$ мин с интервалом 5 мин.

Условно величину сила тока и продолжительности нагрева 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 сила тока и продолжительности нагрева, нижний уровень “ $X_i = -1$ ” – минимальному значению.

Таблица 5.1 – Входные факторы

Варьируемый фактор	Натуральные (фактические) значения факторов		Твёрдость
	x_1 Сила тока, А	X_2 Продолжительность температурного воздействия, мин	
Основной уровень, x_{i0}	160	20	
Интервал варьирования, Δx_i	20	5	
Верхний уровень, $x_{i(max)}$ ($X_i = +1$)	180	25	
Нижний уровень, $x_{i(min)}$ ($X_i = -1$)	140	15	

Таблица 5.2 – Повторность измерений

№ опыта, u	Кодированные значения факторов и соответствующие им (в скобках) натуральные значения		Номер дубля		
	X_1 Сила тока, А	X_2 Продолжительность температурного воздействия, мин	1	2	3
$u = 1$	+1(180)	+1(25)	64	68	63
$u = 2$	+1(180)	-1(15)	61	60	62
$u = 3$	-1(140)	+1(25)	54	58	55
$u = 4$	-1(140)	-1(15)	55	57	56

Необходимо проводить эксперименты с пятикратной повторностью, что позволит снизить вероятность возникновения системных ошибок.

5.3 Показатели дисперсии

Дисперсия для каждой строки

$$S_{y_u}^2 = \frac{\sum_{g=1}^{n_u} (y_{ug} - \bar{y}_u)^2}{f_u}, \quad (5.2)$$

$$f_u = n_u - 1, \quad (5.3)$$

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 $S_{y_u}^2$.

В нашем случае $n_u = 3$, $f_u = 3 - 1 = 2$. Тогда выражение (4.2) можно переписать следующим образом:

$$S_{y_u}^2 = \frac{\sum_{g=1}^3 (y_{ug} - \bar{y}_u)^2}{2}, \quad (5.4)$$

Таблица 5.3– Дисперсия в каждой строке

Номер опыта, u	Номер дубля, g	Твёрдость, HRC, \bar{y}_u , мкм	Твёрдость, HRC, \bar{y}_u , мкм	Построчная дисперсия, $S_{y_u}^2$
1	1	64	65	6,34
	2	68		
	3	63		
2	1	61	61	4,335
	2	60		
	3	62		
3	1	54	55,6	7,0
	2	58		
	3	55		
4	1	55	55,3	6,335
	2	57		
	3	54		

Расчетное значение критерия Кохрена рассчитывается по формуле:

$$G^{\text{расч}} = \frac{S_{y_u}^2 \text{max}}{\sum_{u=1}^N S_{y_u}^2} \quad (5.5)$$

где $S_{y_u}^2 \text{max}$ – наибольшая в ряду дисперсия, которую сравнивают со значением G , 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 $S_{y_u}^2 \text{max} = 7,0$ и $\sum_{u=1}^N S_{y_u}^2 = 6,34 + 4,335 + 7,0 + 6,335 = 24,01$.

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:

$$G_{0,05;2;4}^{\text{табл}} = 0,768$$

Если $G^{\text{расч}} < G_{0,05;2;4}^{\text{табл}}$, ряд дисперсий однороден.

Если $G^{\text{расч}} > G_{0,05;2;4}^{\text{табл}}$, ряд дисперсий неоднороден.

В нашем случае $G^{\text{расч}} = 0,291 < G_{0,05;2;4}^{\text{табл}} = 0,768$, т.е. ряд дисперсий однороден.

5.4 Расчет коэффициентов регрессии

Модель изучаемого процесса представим в виде обобщенного уравнения:

$$y = b_0 + \sum(b_i X_i) + \sum(b_{ij} X_i X_j) \quad (5.6)$$

Применительно к двухфакторному эксперименту уравнение (5.6)

можно записать в виде:

$$y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 \quad (5.7)$$

Коэффициенты уравнения регрессии рассчитываются по зависимости:

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^N X_{iu} \cdot \bar{y}_u}{N} \quad (5.8)$$

где u – номер опыта;

X_{i_u} – кодированные значения уровней варьируемых факторов /независимых переменных X_1 - сила тока наплавки, А;

X_2 - время нагрева, мин;

\bar{y}_u – средние арифметические значения функции отклика(твёрдость полученного покрытия HRC);

Распишем уравнение (5.8) для всех коэффициентов, входящих в регрессионную модель:

$$\left. \begin{aligned} b_0 &= \frac{\sum_{u=1}^N X_{0u} \cdot \bar{y}_u}{N} \\ b_1 &= \frac{\sum_{u=1}^N X_{1u} \cdot \bar{y}_u}{N} \\ b_2 &= \frac{\sum_{u=1}^N X_{2u} \cdot \bar{y}_u}{N} \end{aligned} \right\} \quad (5.8)$$

Расчет коэффициентов регрессии

$$\begin{aligned} b_0 &= \frac{\bar{y}_1 + \bar{y}_2 + \bar{y}_3 + \bar{y}_4}{4} = \frac{65 + 61 + 55,6 + 55,3}{4} = 59,225; \\ b_1 &= \frac{\bar{y}_1 + \bar{y}_2 - \bar{y}_3 - \bar{y}_4}{4} = \frac{65 + 61 - 55,6 - 55,3}{4} = 3,775; \\ b_2 &= \frac{\bar{y}_1 - \bar{y}_2 + \bar{y}_3 - \bar{y}_4}{4} = \frac{65 - 61 + 55,6 - 55,3}{4} = 1,075; \end{aligned}$$

В результате расчетов, получаем:

$$b_0 = 24,65;$$

$$b_1 = 2,3;$$

$$b_2 = 4,65;$$

В окончательном виде уравнение регрессии будет в следующем:

$$y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 \quad (5.9)$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведен анализ использования порошковых композиций при восстановлении и упрочнении деталей сельскохозяйственных машин. Проанализированы способы получения металлокерамических порошков при получении поверхностей заданными физико-механическими способами.

2. Осуществлен анализ технологических процессов восстановления деталей сельскохозяйственных машин с использованием различных видов наплавки в результате которого была обоснована необходимость использования технологий двухслойной дуговой наплавки с использованием металлокерамических порошков.

3. Разработана оригинальная методика исследований физико-механических свойств поверхностей при изучении физико-механических свойств поверхностей полученных в результате технологии двухслойной дуговой наплавки с использованием металлокерамических порошков.

4. Произведена оценка морфологии лабораторных образцов наплавленных по технологиям двухслойной дуговой наплавки с использованием металлокерамических порошков.

5. Осуществлена теоритическая обработка результатов исследований с использованием регрессионных моделей, которая показала хорошую сходимость полученных результатов.

6. Проведено экономическое обоснование внедрений технологий двухслойной дуговой наплавки с использованием металлокерамических порошков. Этот анализ показал, что использование предложенных технологий позволяет получить годовой экономический эффект в размере 170 тысяч рублей при сроках окупаемости 2 года.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Velichko, S.A. Evaluation of the wear resistance and resource hardened by electrospark machining of the cutting surfaces of the fingers of the headers of combine harvesters / S.A. Velichko, S.N. Sharifullin, I.S. Kuznetsov, A.V. Kolomeichenko, R.Y. Solovyev, I.N. Kravchenko, N.R. Adigamov // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. С. 012045.

2. Sharifullin, S.N. Some characteristics of surface hardening of steel 65g in the electric-spark method / S.N. Sharifullin, I.A. Fayzrakhmanov, R.M. Lyadov, V.A. Shustov, N.R. Adigamov, R.R. Akhmetzyanov, R.R. Shaykhutdinov, A.T. Bainiyazova // В сборнике: Journal of Physics: Conference Series. electronic edition. 2019. С. 012100.

3. Sharifullin, S.N., Metallographic studies of samples made of 65g steel subjected to complex treatment by electrospark and vibration arc discharges using cermet powders / S.N. Sharifullin, N.R. Adigamov, E. Yu. Kudryashova, I.V. Romanov, A.T. Bainiyazova, M.M. Abzhaev // Journal of Agriculture and Environment. 2019. № 4 (12). С. 105-115.

4. Адигамов, Н.Р. Комбинированный способ упрочнения металлических поверхностей деталей машин, работающих в условиях абразивного изнашивания / Н.Р. Адигамов, С.Н. Шарифуллин, Р.Р. Шайхутдинов, Р.Р. Ахметзянов, А.А. Шарафиев, Н.Н. Адигамов // Патент на изобретение RU 2718017 С1, 30.03.2020. Заявка № 2019127085 от 27.08.2019.

5. Садыков, М.Р. Устройство для электролитического нанесения покрытий методом натирания на внутренние цилиндрические поверхности / М.Р. Садыков, А.Р. Валиев, Н.Р. Адигамов, И.Х. Гималтдинов // Патент на изобретение RU 2715584 С1, 02.03.2020. Заявка № 2019127086 от 27.08.2019.

6. Адигамов, Н.Р. Повышение производительности и качества восстановления деталей электролитическим натиранием / Н.Р. Адигамов, А.Р. Ва-

лиев, И.Х. Гималтдинов, Р.Р. Шайхутдинов, М.Р. Садыков // Техника и оборудование для села. 2020. № 4 (274). С. 34-38.

7. Шарифуллин, С.Н. Классификация технологий упрочнения, нанесения покрытий и восстановления деталей топливной аппаратуры дизельных двигателей / С.Н.Шарифуллин, Н.Р.Адигамов, П.А.Тополянский, А.Т. Байниязова // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2019. Т. 14. № 3 (54). С. 128-132.

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

9. Шарифуллин, С.Н. Трибологические исследования поверхностей деталей из стали 65г, упрочненных плазменными методами / С.Н. Шарифуллин, Н.Р.Адигамов, Е.Ю.Кудряшова, И.В. Романов, Е.О. Решиков, В.Н. Колокольников // Технический сервис машин. 2019. № 3 (136). С. 120-127.

10. Topolyansky, P.A. Finished plasma strengthening and restoration of fuel equipment details / P.A. Topolyansky, S.N. Sharifullin, N.R. Adigamov // Journal of Physics: Conference Series (см. в книгах). 2018. № 1058. С. 012075.

11. Упрочнение поверхностей режущих элементов сельскохозяйственных агрегатов вибродуговой плазмой / С.Н. Шарифуллин, Р.Ю.Соловьев, К.С. Аракчеева, Н.Р. Адигамов, Н.Н. Адигамов // Труды ГОСНИТИ. 2016. Т. 122. С. 145-151.

12. Адигамов Н.Р. Плазменные технологии в повышении эффективности работы топливных насосов высокого давления дизельных двигателей / Адигамов Н.Р., Лялякин В.П., Соловьев Р.Ю., Шарифуллин С.Н. // Сварочное производство. 2016. № 2. С. 49-51.

13. Sharifullin S.N., Surface hardening of cutting elements agricultural machinery vibro arc plasma / S.N. Sharifullin, N.R. Adigamov, N.N. Adigamov,

R.Y.Solovev, K.S. Arakcheeva // Journal of Physics: Conference Series (см. в книгах). 2016. Т. 669. № 1. С. 012049.

14. Solovev R.Y., Plasma technology for increase of operating high pressure fuel pump diesel engines / R.Y. Solovev, S.N. Sharifullin, N.R. Adigamov // Journal of Physics: Conference Series (см. в книгах). 2016. Т. 669. № 1. С. 012050.

15. Шарифуллин С.Н., Упрочнение поверхностей режущих элементов сельскохозяйственных агрегатов вибродуговой плазмой / С.Н. Шарифуллин, Р.Ю.Соловьев, К.С.Аракчеева, Н.Р.Адигамов, Н.Н. Адигамов // Труды ГОСНИТИ. 2016. Т. 122. С. 145-151.

16. Соловьев, Р.Ю. Плазменные технологии по увеличению ресурса работы топливных насосов высокого давления дизельных двигателей / Р.Ю.Соловьев, С.Н. Шарифуллин, Н.Р. Адигамов // Низкотемпературная плазма в процессах нанесения функциональных покрытий. 2016. Т. 1. № 7. С. 229-232.

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

18. Шарифуллин, С.Н. Повышение эксплуатационной надежности топливных насосов высокого давления автотракторных дизельных двигателей: диссертация доктора технических наук: 05.20.03 / С.Н. Шарифуллин; [Место защиты: Всерос. НИИ ремонта и экс. маш.-трактор. парка].- М.: ГОСНИТИ., 2009.- 368 с.: ил.

19. Лялякин, В.П. Состояние и перспектива упрочнения и восстановления деталей почвообрабатывающих машин сварочно-наплавочными методами / В.П. Лялякин, С.А. Соловьев, В.Ф. Аулов // Труды ГОСНИТИ. - 2014. - Т. 115. - С. 96-104.

20. Булавин, С.А. Повышение долговечности культиваторных лап при наплавке / С.А. Булавин, С.В. Стребков, А.Н. Макаренко // В сборнике: Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. Сборник научных работ. - Брянск, 2002 - С.181-185.

21. Кобец, А.С. Исследование износа рабочих органов культиватора / А.С. Кобец, Б.А. Волик, А.Н. Филин // Геотехническая механика: Межвед. сб. наук трудов / Ин-т геотехнической механики им. М.С. Полякова НАН Украины. — Днепропетровск, 2007. — Вып. 70. — С. 141-145 (соискатель обосновал профиль стрелчатой лапы, с точки зрения повышения подрезая способности).

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

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

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

25. Виноградов, В.В. Повышение износостойкости стрелчатых лап почвообрабатывающих орудий карбовибродуговым упрочнением их режущей поверхности: дис. канд. тех. наук / В.В. Виноградов. - Орел., 2017. - 156 с.

26. Solovev, R. Y. Plasma technology for increase of operating high pressure fuel pump diesel engines /R. Y. Solovev, S. N. Sharifullin, N. R. Adigamov

//Journal of Physics: Conference Series. 669 (2016) 012050 doi:10.1088/1742-6596/669/1/012050. (JCR Science Edition impact factor 0,25).

URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/669/1/012050>.

27. Адигамов, Н.Р. Плазменные технологии в повышении эффективности работы топливных насосов высокого давления дизельных двигателей /Н.Р Адигамов., В.П. Лялякин, Р.Ю. Соловьев, С.Н. Шарифуллин //Сварочное производство. 2016. № 2. С. 49-51.

28. Шарифуллин, С.Н. Упрочнение поверхностей режущих элементов сельскохозяйственных агрегатов вибродуговой плазмой /Р.Ю.Соловьев, К.С. Аракчеева, Н.Р. Адигамов, Н.Н. Адигамов // Труды ГОСНИТИ. 2016. Т. 122. С. 145-151.

29. Адигамов, Н.Р. Плазменные технологии в повышении эффективности работы топливных насосов высокого давления дизельных двигателей /В.П. Лялякин, Р.Ю. Соловьев, С.Н. Шарифуллин //Технология машиностроения. 2015. № 7. С. 32-34.

30. Байниязова, А. Т. Восстановление и упрочнение рабочих органов и деталей сельскохозяйственных машин и механизмов методами дуговой металлизации и электроискровой обработки: Научно-квалификационная работа / А. Т. Байниязова. - Казань, 2018. - 102 с.

31. Ахметшин, Т.Ф. Повышение износостойкости и долговечности стрелчатых лап культиваторов: дисс. ... канд. тех. наук /Т.Ф. Ахметшин. М., 1988. 245 с.

32. Ткачев, В.Н. Износ и повышение долговечности деталей сельскохозяйственных машин / В.Н. Ткачев. - М.: Машиностроение, 1971. 264 с.

33. Рахматуллин, Н.Р. Восстановление деталей сельскохозяйственной техники электрометаллизационными покрытиями с использованием порошковых смесей / Н.Р. Рахматуллин, Н.М. Гайнутдинов, М.М. Абжаев, Н.Р. Адигамов // В сборнике: Современное состояние, проблемы и перспективы развития механизации и технического сервиса агропромышленного комплек-

са Материалы международной научно-практической конференции Института механизации и технического сервиса. 2018. С. 178-182.

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

35. Шарафиев, А.А. Методика экспериментальных исследований упрочнения поверхностей микроплазменным дуговым разрядом / А.А. Шарафиев, А.Т. Байниязова, Н.Р. Адигамов // В сборнике: Современное состояние, проблемы и перспективы развития механизации и технического сервиса агропромышленного комплекса Материалы международной научно-практической конференции Института механизации и технического сервиса. 2018. С. 242-245.

36. Гайнутдинов, Н.М. Обоснование режимов дуговой металлизации с использованием металлокерамических порошков / Н.М. Гайнутдинов, Н.Р. Рахматуллин, М.Н. Адигамова, Н.Р. Адигамов // В сборнике: Современное состояние, проблемы и перспективы развития механизации и технического сервиса агропромышленного комплекса Материалы международной научно-практической конференции Института механизации и технического сервиса. 2018. С. 71-75.

37. Гайнутдинов, Н.М. Повышение эффективности металлизации при восстановлении деталей СХМ / Н.М. Гайнутдинов, Н.Р. Рахматуллин, А.Т. Байниязова, Н.Р. Адигамов // В сборнике: Современное состояние, проблемы и перспективы развития механизации и технического сервиса агропромышленного комплекса Материалы международной научно-практической конференции Института механизации и технического сервиса. 2018. С. 75-78.

38. Шарафиев, А.А. Анализ способов восстановления и упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин / А.А. Шарафиев, А.Т. Байниязова, Н.Р. Адигамов // В сборнике: Агроинженерная наука XXI века Научные труды региональной научно-практической конференции . 2018. С. 331-334.

39. Адигамов, Н.Р. Теория и методы расчета повышения технологической надежности сельскохозяйственных уборочных машин с учетом состояния их элементов дисс. ... доктора тех. наук / Н.Р. Адигамов. Казань, 2006. 445 с.

40. ГОСТ 33736—2016 Техника сельскохозяйственная. Машины для глубокой обработки почвы. Методы испытаний.

41. Проект Приказа Министерства сельского хозяйства РФ "Об утверждении способов проведения испытаний, нормативов трудоемкости проведения испытаний и нормативов затрат на проведение испытаний по определению функциональных характеристик (потребительских свойств) и эффективности сельскохозяйственной техники и оборудования" (подготовлен Минсельхозом России 02.12.2017).

42. Адигамов Н.Р, Шайдуллин А.Н., Идрисов И.И. Статья «Использование комплексных технологий при восстановлении клапанных пружин».

43. Адигамов Н.Р, Ахунзянов Р.Р., Идрисов И.И. Статья «Использование микроплазменной технологий при восстановлении высокоточных машин».

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

ОБОСНОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН МЕТОДОМ ДВУХСЛОЙНОЙ ДУГОВОЙ НАПЛАВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ

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

При расчете экономического эффекта от внедрения разработанного устройства использованы методики.

Экономическая эффективность от внедрения разработанной технологии определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_B = \left(\frac{C_{б.т.} - C_{ост.}^{б.т.}}{P_{б.т.}} - \frac{C_{н.т.} - C_{ост.}^{н.т.}}{P_{н.т.}} \right) \cdot P_{н.т.}, \quad (1)$$

где \mathcal{E}_B – экономическая эффективность от внедрения разработанной технологии, руб.

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

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

$C_{ост.}^{б.т.}$ и $C_{ост.}^{н.т.}$ – остаточная стоимость после эксплуатации детали, восстановленной по базовой и новой технологиям соответственно, руб.

Себестоимость операций восстановления определяется по формуле:

$$C = Z_3^0 + Z_3^D + H_{фот} + C_a + C_{тро} + C_э + C_m + C_{пр} + C_{оу}, \quad (2)$$

где Z_3^0 – основная заработанная плата рабочего, занятого на операции восстановления, руб.;

Z_3^D – дополнительная заработанная плата рабочего, руб.;

$N_{\text{ФОТ}}$ – сумма налогов, выплачиваемых из фонда оплаты труда, руб.;

C_a – амортизационные отчисления за установку, руб.;

$C_{\text{тро}}$ – затраты на ремонт и техническое обслуживание установки, руб.;

$C_э$ – затраты на силовую электроэнергию, руб.;

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

$C_{\text{пр}}$ – прочие цеховые расходы, руб.;

$C_{\text{оу}}$ – затраты на организацию и управление производством, руб.

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

$$Z_3^o = \frac{t_y \cdot C_{\text{ч}}}{60}, \text{ руб} \quad (3)$$

где t_y – штучно-калькуляционное время выполнения операции, мин.;

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

Штучно-калькуляционное время выполнения операции определяется по формуле:

$$t_y = \frac{(t_o + t_{\text{вп}}) \cdot K_{\text{по}}}{\eta_u \cdot \Pi_d}, \text{ мин} \quad (4)$$

где t_o – основное время операции, мин.;

$t_{\text{вп}}$ – вспомогательное непрерывное время, мин.;

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

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

Дополнительная заработная плата рабочего составляет 30% от основной.

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

$$\Phi OT = 3_3^o + 3_3^d, \text{ руб} \quad (5)$$

Сумма налоговых отчислений определяется по формуле:

$$H_{\text{фот}} = K_c \cdot \Phi OT, \text{ руб} \quad (6)$$

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

Показатели, рассчитанные по формулам, приведенным выше, сводим в таблицу 1

Таблица 1 - Рассчитанные показатели заработной платы производственных рабочих по операциям

Наименование операции	Норма времени на выполнение, мин	Часовая тарифная ставка, руб.	Основная заработная плата за операцию, руб.	Дополнительная заработная плата за операцию, руб.	Налоговые отчисления, руб.
Механические агрегаты	23	264	151,8	45,5	75,9
Никелирование базовая технология	90	238	53,5	16,1	26,7
новая технология	70	238	416,5	124,9	208,4

Амортизационные отчисления (C_a) определяются по формуле:

$$C_a = \frac{B \cdot a}{100 \cdot A}, \quad (7)$$

где B – балансовая стоимость установки, руб.;

a – годовые нормы амортизационных отчислений в % от балансовой стоимости оборудования.

A – годовой объем ремонта. шт. ($A=260$ шт.)

Затраты на ремонт и техническое обслуживание установки составляют 3,0% от ее стоимости:

$$C_{\text{тро}} = \frac{B \cdot 0,03}{A}. \quad (8)$$

Затраты на силовую энергию для выполнения операций определяются по формуле:

$$C_{\text{э}} = \frac{C_{\text{э}}}{A} \cdot \frac{P \cdot \Phi_{\text{д}} \cdot K_{\text{в}} \cdot K_{\text{р}}}{\eta}, \quad (9)$$

где P – максимальная мощность установки, кВт;

$\Phi_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд времени работы установки, ч;

$K_{\text{в}}$ – коэффициент использования установки по времени ($K_{\text{в}}=0,5...0,75$);

$K_{\text{р}}$ – коэффициент использования установки по мощности ($K_{\text{р}} = 0,5...0,8$);

η – средний коэффициент полезного действия. Принимается по паспорту ($\eta=0,75...0,85$);

$C_{\text{э}}$ – стоимость 1 кВт/ч электроэнергии, руб. ($C_{\text{э}}=3,8$ руб.)

Стоимостные показатели затрат приходящиеся на эксплуатацию установки по операциям сводим в таблицу 1.2

Таблица 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.
Механические агрегаты	75000	12,69	8,65	19,30
Никелирование двухслойной дуговой наплавкой	18500	3,13	2,13	251,77
	7600	1,28	0,87	46,99

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

$$C_{\text{м}} = \sum_{i=1}^{\lambda} g_i \cdot C_i, \quad (10)$$

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:

$$g_i = 0,01 \cdot S \cdot h \cdot \gamma \cdot K, \text{ кг} \quad (11)$$

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 ($K=1,4$).

Прочие цеховые расходы составляют:

$$C_{\text{пр}} = 0,05 \cdot (\text{ФОТ} + N_{\text{фот}} + C_a + C_{\text{тр}} + C_3 + C_m). \quad (12)$$

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

$$C_{\text{оу}} = \frac{200 \cdot \text{ФОТ}}{100}, \text{ руб.} \quad (13)$$

Себестоимость восстановления по базовой технологии будет равна:

$$C_{\text{б.т.}} = C_{\text{шлиф}} + C_{\text{ник.б.т.}} + C_{\text{терм}}, \text{ руб.} \quad (14)$$

Себестоимость восстановления по разработанной технологии будет равна:

$$C_{\text{н.т.}} = C_{\text{шлиф}} + C_{\text{ник.н.т.}} + C_{\text{терм}} + K, \text{ руб.} \quad (15)$$

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

$$K = \frac{C_k}{A}, \text{ руб} \quad (16)$$

где C_k – сумма капитальных вложений.

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

$$C_k = \sum_1^i (C_0 + \mu_n + T_d), \text{ руб} \quad (17)$$

где C_0 – стоимость приобретения оборудования;

$\mu_n = (0,2 \dots 0,25) \cdot C_0$ – затраты на монтаж и наладку оборудования;

$T_d = (0,1 \dots 0,25) \cdot C_0$ – затраты по доставке.

$$K = \frac{9880}{260} = 38 \text{ руб};$$

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

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

Остаточную стоимость детали определяют по цене металлолома:

$$C_{\text{ост.}}^{\text{б.т.}} = C_{\text{ост.}}^{\text{н.т.}} = C_{\text{д}} \cdot M, \text{ руб} \quad (18)$$

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

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

$$C_{\text{ост.}}^{\text{б.т.}} = C_{\text{ост.}}^{\text{н.т.}} = 28 \cdot 0,135 = 3,78 \text{ руб.}$$

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

$$\mathcal{E}_B = \left(\frac{451,43 - 3,78}{100} - \frac{434,13 - 3,78}{100} \right) \cdot 100 = 170 \text{ тыс. руб.}$$

Проведенный расчет показал эффективность использования разработанной технологии в условиях ремонтно-обслуживающих предприятий.

