

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет»
имени К.И. Сатпаева

Горно-металлургический институт имени О.А. Байконурова

Кафедра «Металлургия и обогащения полезных ископаемых»

Маханбетәлі Әлі Сүгірәліұлы

Исследование процессов получения металлизированных материалов

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

ОП 6В07203 – Metallургия и обогащение полезных ископаемых

Алматы 2024

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет»
имени К.И. Сатпаева

Горно-металлургический институт имени О.А. Байконурова

Кафедра «Металлургия и обогащения полезных ископаемых»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Заведующая кафедрой МиОПИ
к.т.н., асоц. проф.

 М.Б. Барменшинова
« 12 » 06 2024 г.

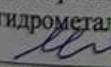
ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

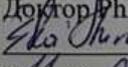
На тему: «Исследование процессов получения металлизированных материалов»

ОП 6В07203 – Metallургия и обогащение полезных ископаемых

Выполнил

Маханбетәлі Ә.С.

Рецензент
Доктор PhD, Инженер-технолог цеха
гидрометаллургии и ВЮХ
 Курмансейітов М.Б.
« 11 » 06 2024 г.

Научный руководитель
Доктор PhD, асоц. профессор
 Қойшина Г.М.
« 11 » 06 2024 г.

Алматы 2024

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет»
имени К.И. Сатпаева

Горно–металлургический институт имени О.А. Байконурова

Кафедра «Металлургия и обогащение полезных ископаемых»

ОП 6В07203 – Metallургия и обогащение полезных ископаемых

УТВЕРЖДАЮ

Заведующая кафедрой МиОПИ
к.т.н., асоц. проф.

М.Б. Барменшинова
« 11 » 12 2023 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Обучающемуся Маханбетәлі Ә.С

Тема: Исследование процессов получения металлизированных материалов

Утверждена приказом Ректора Университета №548-П/Ө от «04» декабря 2023 г.

Срок сдачи законченной работы: « 13 » « июня » 2024 г.

Перечень подлежащих разработке в дипломной работе вопросов:

а) Химические составы использованных исходных материалов

б) Методика расчетов шихты

в) Технологическая схема для проведения экспериментов

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

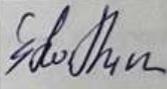
представлены 11 слайдов презентации работы

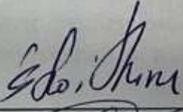
Рекомендуемая основная литературы: из 27 наименований

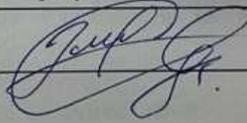
ГРАФИК
подготовки дипломного проекта

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Вводная часть		
Основная часть		
Технологическая часть		

Подписи
консультантов и нормоконтролера на законченный дипломный проект с указанием относящихся к ним разделов проекта

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч.степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Технологическая часть работы	Койшина Г.М, доктор PhD, ассоц. профессор		
Нормоконтролер	Джуманкулова С.К, доктор PhD, старший преподаватель	05.06.2024	К.Джуманкулова

Научный руководитель  Койшина Г.М

Задание принял к исполнению  Маханбетәлі Ә.С

Дата и подпись «11» 12 2023 г.

Андатпа

Бакалаврдың бұл тезисі металдандырылған материалдарды алу процестерін зерттеуге арналған. Металлизацияның әртүрлі технологияларына, олардың артықшылықтарына, шектеулеріне және әртүрлі салаларда қолданылуына назар аударылады. Бірінші тарауда металдарды электро тұндыру, термиялық бүрку және химиялық тұндыру әдістері қарастырылған. Екінші тарауда металдандырылған материалдардың механикалық, электрлік және коррозиялық қасиеттері зерттелген. ҮШІНШІ ТАРАУ коррозиядан, электроникадан және автомобиль өнеркәсібінен қорғауда металдандырылған материалдарды қолдануға арналған.

Жұмыс аясында ЛМО фабрикасынан концентратты қолдану арқылы эксперимент жүргізілді, оның нәтижелері ұсынылған әдістердің жоғары тиімділігін растады. Жұмыс олардың сапасын жақсарту және қолдану аясын кеңейту үшін металдандырылған материалдарды алу процестерін зерттеудің маңыздылығын көрсетеді.

Аннотация

Данная дипломная работа бакалавра посвящена исследованию процессов получения металлизированных материалов. Основное внимание уделено различным технологиям металлизации, их преимуществам, ограничениям и применению в различных отраслях промышленности. В первой главе рассмотрены современные методы получения металлизированных материалов.

В рамках работы был проведен эксперимент с использованием концентрата с фабрики ЛМО, результаты которого подтвердили высокую эффективность предложенных методов. Работа подчеркивает важность исследования процессов получения металлизированных материалов для улучшения их качества и расширения областей применения.

Annotation

This bachelor's thesis is devoted to the study of the processes of obtaining metallized materials. The main attention is paid to various metallization technologies, their advantages, limitations and applications in various industries. The first chapter discusses the methods of electrodeposition, thermal spraying and chemical deposition of metals. In the second chapter, the mechanical, electrical and corrosion properties of metallized materials are investigated. The third chapter is devoted to the use of metallized materials in corrosion protection, electronics and the automotive industry.

As part of the work, an experiment was conducted using concentrate from the LMO factory, the results of which confirmed the high efficiency of the proposed methods. The work highlights the importance of researching the processes of obtaining metallized materials to improve their quality and expand their applications.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1 Технологии получения металлизированных материалов	9
1.1 Электроосаждение металлов	9
1.2 Термическое распыление металлов	11
1.3 Химическое осаждение металлов	12
2 Свойства металлизированных материалов	14
2.1 Механические свойства	14
2.2 Электрические свойства	15
2.3 Коррозионная стойкость	16
3 Применение металлизированных материалов	19
3.1 Металлизация поверхностей для защиты от коррозии	19
3.2 Использование металлизированных материалов в электронике	20
3.3 Применение металлизированных материалов в автопромышленности	22
4 Методика экспериментов исследования	24
4.1 Полный расчет шихты	24
4.2 Проведения экспериментов	27
4.3 Методология эксперимента	30
Заключение	37
Список использованной литературы	38

ВВЕДЕНИЕ

Процесс получения металлизированных материалов является одной из важных технологий в современной промышленности. Металлизированные материалы обладают рядом уникальных свойств, что делает их широко применимыми в различных отраслях, включая автомобильную, электронную, аэрокосмическую и строительную промышленности. Исследование процессов получения металлизированных материалов является актуальной задачей, поскольку позволяет улучшить качество и эффективность производства, а также расширить область применения этих материалов.

Первая глава данной работы посвящена технологиям получения металлизированных материалов. В этой главе будут рассмотрены различные методы и процессы металлизации, включая гальваническое покрытие, напыление, электроосаждение и термическую обработку. Будет рассмотрено оборудование, используемое для металлизации, а также основные этапы процесса получения металлизированных материалов. Также будут рассмотрены основные преимущества и ограничения каждого метода металлизации.

Вторая глава посвящена свойствам металлизированных материалов. В этой главе будут рассмотрены основные физические и химические свойства металлизированных материалов, включая их механические, электрохимические и термические свойства. Будет рассмотрено влияние процесса металлизации на свойства материалов, а также возможности улучшения свойств металлизированных материалов с помощью специальных технологий.

Третья глава посвящена применению металлизированных материалов. В этой главе будут рассмотрены различные области применения металлизированных материалов, включая автомобильную, электронную, аэрокосмическую и строительную промышленности. Будут рассмотрены основные преимущества и ограничения применения металлизированных материалов в каждой из этих отраслей, а также примеры конкретных применений.

Исследование процессов получения металлизированных материалов является важным направлением в современной науке и промышленности. Понимание основных технологий, свойств и применений металлизированных материалов позволяет разрабатывать более эффективные и качественные продукты, а также способствует развитию новых инновационных решений. В данной работе будут рассмотрены основные аспекты процессов получения металлизированных материалов, их свойства, применение и современные тенденции, что позволит получить полное представление об этой важной области промышленности.

Исследование процессов получения металлизированных материалов является актуальным в современном мире, так как металлизация играет важную роль в различных отраслях промышленности. Металлизированные материалы обладают высокой прочностью, теплопроводностью, электропроводностью и другими полезными свойствами, что делает их незаменимыми для производства различных изделий, включая электронику, автомобили, строительные

конструкции и другие. Исследование процессов получения металлизированных материалов позволяет разработать новые технологии и методы, улучшить качество и эффективность производства, а также снизить затраты на материалы и энергию. Таким образом, данное исследование имеет большое практическое значение и способствует развитию промышленности в целом.

Объектом исследования в работе "Исследование процессов получения металлизированных материалов" являются процессы, связанные с получением металлизированных материалов. Под металлизированными материалами понимаются поверхности или изделия, покрытые слоем металла с целью придания им дополнительных свойств, таких как защита от коррозии, повышение электропроводности или улучшение внешнего вида. Предметом исследования являются различные методы и технологии получения металлизированных материалов, а также их свойства и качество. В работе проводится анализ и сравнение различных методов металлизации, исследуются влияние различных параметров процесса на качество получаемых покрытий, а также разрабатываются рекомендации по оптимизации процесса получения металлизированных материалов.

1 Современные технологии получения металлизированных материалов

1.1 Электроосаждение металлов

Технологии получения металлизированных материалов являются важной областью в современной промышленности. Металлизация позволяет нанести тонкий слой металла на поверхность различных материалов, таких как пластик, стекло, керамика и другие. Это открывает широкие возможности для улучшения свойств и функциональности этих материалов, а также для создания новых продуктов с уникальными характеристиками.

Одним из наиболее распространенных методов получения металлизированных материалов является электроосаждение металлов. Этот процесс основан на использовании электролитических растворов, содержащих ионы металла, которые осаждаются на поверхность материала под действием электрического тока [1].

Процесс электроосаждения начинается с подготовки поверхности материала. Она должна быть очищена от загрязнений и окислов, чтобы обеспечить хорошую адгезию слоя металла [2]. Для этого применяются различные методы, такие как механическая обработка, химическое травление или использование специальных промывочных растворов.

После очистки поверхность подвергается активации, которая улучшает адгезию между материалом и металлическим слоем. Активация может осуществляться путем нанесения тонкого слоя металла, такого как медь или никель, или путем обработки поверхности специальными химическими реагентами.

Затем следует этап осаждения металла. Для этого используются электролитические растворы, состоящие из солей металла, которые растворяются в воде или других растворителях. Электролитический раствор помещается в емкость, в которой находится материал, который требуется металлизировать [3]. Материал и электролитический раствор соединяются с помощью электрической цепи, в которой присутствуют анод и катод. Анод представляет собой металлический стержень или пластину, состоящую из того же металла, что и в растворе. Катодом является поверхность материала, которую необходимо металлизировать.

Под действием электрического тока ионы металла из раствора перемещаются к катоду и осаждаются на его поверхности. Процесс осаждения металла может быть контролируемым путем изменения параметров, таких как температура, концентрация раствора и плотность тока.

После завершения процесса электроосаждения материал с металлическим слоем подвергается послеобработке. Это может включать в себя удаление остаточных электролитических растворов, обработку поверхности для придания ей дополнительных свойств, таких как устойчивость к коррозии или повышенная твердость, а также нанесение защитного покрытия на металлический слой.

Электроосаждение металлов широко применяется в различных отраслях промышленности. Оно используется для создания декоративных покрытий на изделиях из пластика, стекла или керамики, для защиты поверхности от коррозии, для улучшения проводимости электрического тока и многих других целей.

Одним из преимуществ электроосаждения металлов является возможность получения тонких и равномерных слоев металла с высокой степенью детализации. Это позволяет создавать продукты с высокой эстетической привлекательностью и точностью, а также с заданными физическими и химическими свойствами.

Однако, процесс электроосаждения имеет и некоторые ограничения. Например, он может быть неэффективен для материалов с непроводящей поверхностью, таких как дерево или текстиль. Также, некоторые металлы могут быть трудно осаждаемыми из-за их высокой активности или низкой растворимости в электролитических растворах.

В заключение, технологии получения металлизированных материалов, основанные на электроосаждении металлов, представляют собой важный инструмент в современной промышленности. Они позволяют создавать продукты с уникальными свойствами и функциональностью, а также улучшать качество и эстетическую привлекательность различных изделий. Электроосаждение металлов является эффективным и контролируемым процессом, который может быть применен в различных отраслях промышленности для достижения разнообразных целей.

1.2. Термическое распыление металлов

Технологии получения металлизированных материалов являются важным направлением в современной промышленности. Они позволяют нанести тонкий слой металла на поверхность различных материалов, таких как пластик, стекло, керамика и др., с целью улучшения их механических, электрических или декоративных свойств. Одним из наиболее распространенных методов получения металлизированных материалов является термическое распыление металлов.

Термическое распыление металлов основано на принципе нагрева и испарения металлического материала, а затем его напыления на поверхность обрабатываемого материала. Процесс проводится с использованием специального оборудования, включающего в себя термический распылитель, источник тепла, газовую систему и систему подачи материала [4].

Основными компонентами термического распылителя являются пистолет и сопло. Пистолет представляет собой устройство, в котором происходит нагрев и испарение металла. Сопло служит для направления и формирования струи распыленного материала [5]. Источником тепла в термическом распылении может быть электрическая дуга, плазма или пламя газового горелки.

При проведении процесса термического распыления металлов используется газовая система, которая обеспечивает подачу газа для создания атмосферы, в которой происходит испарение и напыление металла. В зависимости от используемого метода распыления могут применяться различные газы, такие как аргон, азот, воздух или смеси газов [6].

Система подачи материала включает в себя механизмы для подачи и распределения металлического материала в пистолете. Материал может быть представлен в виде проволоки, порошка или специальных покрытых электродов. Выбор материала зависит от требований к конечному покрытию, таких как механическая прочность, электропроводность, коррозионная стойкость и др.

Процесс термического распыления металлов может быть разделен на несколько этапов. Первым этапом является подготовка поверхности обрабатываемого материала. Она включает в себя очистку поверхности от загрязнений, удаление окисленных слоев и создание шероховатости, которая обеспечивает хорошую адгезию между металлическим покрытием и основным материалом.

Вторым этапом является нагрев и испарение металлического материала в пистолете. Для этого используется источник тепла, который может быть электрической дугой, плазмой или газовым пламенем. При нагреве материала происходит его испарение и образование металлического пара.

Третий этап - напыление металлического пара на поверхность обрабатываемого материала. Металлический пар направляется через сопло, где происходит его ускорение и охлаждение. В результате образуется струя распыленного материала, которая попадает на поверхность обрабатываемого материала и образует металлическое покрытие.

Полученное металлическое покрытие имеет высокую адгезию к основному материалу и хорошую плотность. Оно обладает высокой механической прочностью, стойкостью к коррозии, электропроводностью и другими полезными свойствами. Благодаря этому, технология термического распыления металлов широко применяется в различных отраслях промышленности, включая автомобильную, аэрокосмическую, электронную и др.

Однако, несмотря на множество преимуществ, технология термического распыления металлов имеет некоторые ограничения. Во-первых, процесс является относительно медленным и требует большого количества времени для нанесения покрытия на большие поверхности. Во-вторых, процесс может привести к повышенному нагреву обрабатываемого материала, что может вызвать его деформацию или изменение свойств.

В заключение, технология термического распыления металлов является эффективным методом получения металлизированных материалов. Она позволяет нанести тонкий слой металла на поверхность различных материалов с целью улучшения их свойств. Однако, необходимо учитывать ограничения данного процесса и выбирать оптимальные параметры для достижения желаемого результата.

1.3 Химическое осаждение металлов

Технологии получения металлизированных материалов имеют широкое применение в различных отраслях промышленности, таких как электроника, автомобилестроение, аэрокосмическая промышленность и другие. Одним из наиболее эффективных и распространенных методов получения металлизированных материалов является химическое осаждение металлов.

Химическое осаждение металлов – это процесс нанесения тонкого слоя металла на поверхность материала путем химической реакции. Основным преимуществом этого метода является возможность получения равномерного и плотного покрытия на сложных формах поверхности [7]. Кроме того, химическое осаждение позволяет контролировать толщину покрытия, что является важным фактором при производстве металлизированных материалов.

Процесс химического осаждения металлов включает несколько стадий. Первой стадией является подготовка поверхности материала. Чистота поверхности играет важную роль в качестве покрытия, поэтому перед осаждением металла поверхность должна быть очищена от загрязнений. Для этого применяются различные методы, такие как механическая обработка, химическое травление или использование плазменных систем [8].

После подготовки поверхности следующим шагом является нанесение осадочного раствора на материал. Осадочный раствор содержит ионы металла, которые должны осаждаться на поверхности. Раствор может быть получен путем растворения соответствующих солей металла в воде или других растворителях. Важно отметить, что состав раствора должен быть тщательно подобран, чтобы обеспечить стабильность реакции осаждения металла.

После нанесения осадочного раствора на поверхность материала происходит химическая реакция, в результате которой ионы металла осаждаются на поверхности в виде тонкого слоя. Скорость реакции и качество покрытия зависят от многих факторов, таких как температура, pH раствора, концентрация ионосферы металла и другие [9]. Поэтому важно проводить оптимизацию условий осаждения для достижения наилучших результатов.

После осаждения металла на поверхности материала происходит стадия фиксации покрытия. Фиксация может быть достигнута путем термической обработки, при которой происходит слияние металлических частиц и образование плотного покрытия. Кроме того, для улучшения адгезии между покрытием и материалом может использоваться промежуточный слой или покрытие.

Химическое осаждение металлов может быть реализовано с использованием различных методов и реакторов. Одним из наиболее распространенных методов является метод погружения, при котором материал погружается в раствор с ионами металла. Этот метод позволяет осаждать металл на поверхности как однородно, так и селективно. Другим методом является метод распыления, при котором осадочный раствор распыляется на поверхность материала. Этот метод позволяет получать тонкие и равномерные покрытия.

Химическое осаждение металлов также может быть реализовано в различных реакторах, таких как пульверизаторы, воронки, ванну и другие. Выбор реактора зависит от требуемых характеристик покрытия и особенностей производства. Например, для массового производства металлизированных материалов может быть использована ванна с непрерывным потоком раствора, а для получения покрытий на сложных формах поверхности – пульверизатор.

Химическое осаждение металлов является эффективным методом получения металлизированных материалов с высокой плотностью и равномерностью покрытия. Этот метод позволяет контролировать толщину покрытия и обеспечивает хорошую адгезию между покрытием и материалом. Благодаря своей универсальности и простоте в осуществлении, химическое осаждение металлов широко применяется в различных отраслях промышленности.

2 Свойства металлизированных материалов

2.1 Механические свойства

Свойства металлизированных материалов являются одним из ключевых аспектов, которые необходимо учитывать при исследовании процессов их получения. Металлизированные материалы представляют собой соединение металлического покрытия с основным материалом, которое может быть различной природы, такой как пластик, керамика, стекло и другие.

Одним из наиболее важных механических свойств металлизированных материалов является их прочность. Прочность определяется способностью материала сопротивляться деформации и разрушению под воздействием внешней нагрузки. В случае металлизированных материалов, прочность зависит от качества соединения между металлическим покрытием и основным материалом [10]. Хорошее качество соединения обеспечивает высокую прочность, тогда как низкое качество может привести к образованию трещин и разрушению соединения.

Другим важным механическим свойством металлизированных материалов является их твердость. Твердость определяется способностью материала сопротивляться постоянному пластическому деформированию под воздействием внешней нагрузки. Металлическое покрытие может значительно повысить твердость основного материала, что делает металлизированные материалы более устойчивыми к истиранию и царапинам [11].

Еще одним важным механическим свойством металлизированных материалов является их устойчивость к коррозии. Коррозия представляет собой процесс разрушения материала под воздействием окружающей среды. Металлическое покрытие может защитить основной материал от коррозии, поскольку металлы обладают высокой устойчивостью к окислению и другим химическим реакциям. Однако, качество соединения между покрытием и основным материалом играет решающую роль в защите от коррозии [12]. Небольшие трещины или дефекты в соединении могут привести к проникновению влаги или других агрессивных веществ, что может вызвать коррозию.

Также, механические свойства металлизированных материалов могут быть определены их упругостью. Упругость определяет способность материала возвращаться в исходное состояние после удаления внешней нагрузки. Металлическое покрытие может значительно повысить упругость основного материала, что делает металлизированные материалы более устойчивыми к деформации и ударным нагрузкам.

Кроме того, металлизированные материалы обладают высокой теплопроводностью. Теплопроводность определяет способность материала передавать тепло. Металлическое покрытие может значительно повысить теплопроводность основного материала, что делает металлизированные материалы эффективными в передаче и отводе тепла. Это особенно важно в случае

материалов, используемых в электронике или других отраслях, где эффективное охлаждение является критическим фактором.

В заключение, металлизированные материалы обладают рядом важных механических свойств, которые определяют их применимость в различных областях. Прочность, твердость, устойчивость к коррозии, упругость и теплопроводность являются ключевыми характеристиками, которые необходимо учитывать при исследовании процессов получения металлизированных материалов. Качество соединения между металлическим покрытием и основным материалом играет решающую роль в формировании этих свойств, поэтому важно разрабатывать и оптимизировать процессы получения металлизированных материалов с учетом этих факторов.

2.2 Электрические свойства

Свойства металлизированных материалов являются одним из ключевых аспектов их использования в различных областях науки и техники. Металлизация – это процесс нанесения тонкого слоя металла на поверхность другого материала. Этот процесс может быть выполнен различными способами, включая физическое осаждение, химическое осаждение и электрохимическое осаждение.

Одним из основных свойств металлизированных материалов является их проводимость. Металлы обладают высокой электропроводностью, что делает их идеальным выбором для металлизации. Когда металл наносится на поверхность материала, он обеспечивает электрическую связь между материалом и внешними элементами. Это позволяет использовать металлизированные материалы для передачи электрического сигнала или электропитания [13].

Еще одним важным электрическим свойством металлизированных материалов является их электропроводность. Металлы обладают высокой электропроводностью, что означает, что они могут легко передавать электрический ток [14]. Это свойство делает металлизированные материалы идеальными для использования в электронике и электротехнике, где требуется эффективная передача электрического тока.

Кроме того, металлизированные материалы обладают хорошей теплопроводностью. Металлы являются отличными проводниками тепла, что позволяет им эффективно распространять и отводить тепло. Это свойство делает металлизированные материалы идеальными для использования в технике охлаждения, где требуется отводить тепло от нагреваемых элементов.

Еще одним важным свойством металлизированных материалов является их устойчивость к окислению и коррозии [15]. Металлы, используемые для металлизации, обладают высокой степенью устойчивости к окислению и коррозии, что делает их долговечными и надежными. Это особенно важно при использовании металлизированных материалов в условиях высокой влажности или агрессивной среды.

Кроме того, металлизированные материалы обладают хорошей механической прочностью и устойчивостью к истиранию. Металлы, используемые для металлизации, обладают высокой твердостью и прочностью, что делает металлизированные материалы устойчивыми к механическим воздействиям. Это позволяет использовать металлизированные материалы в условиях высоких нагрузок или трений.

Одним из ключевых аспектов электрических свойств металлизированных материалов является их способность проводить электрический ток без значительного сопротивления. Металлы обладают свободными электронами, которые могут легко перемещаться по их структуре. Это позволяет металлам быть отличными проводниками электричества и обеспечивает эффективную передачу электрического тока.

Кроме того, электрические свойства металлизированных материалов могут быть изменены путем изменения их состава или структуры. Например, добавление определенных примесей может улучшить электрическую проводимость или изменить другие электрические свойства материала. Это позволяет настраивать электрические свойства металлизированных материалов в соответствии с требованиями конкретного приложения.

В заключение, свойства металлизированных материалов, особенно их электрические свойства, играют важную роль в их использовании в различных областях науки и техники. Металлизированные материалы обладают высокой электропроводностью, теплопроводностью, устойчивостью к окислению и коррозии, механической прочностью и устойчивостью к истиранию. Эти свойства делают металлизированные материалы идеальными для использования в электронике, электротехнике, охлаждении и других областях, где требуется эффективная передача электрического сигнала или электропитания. Кроме того, электрические свойства металлизированных материалов могут быть настроены путем изменения их состава или структуры, что позволяет адаптировать их под конкретные требования приложения.

2.3 Коррозионная стойкость

Свойства металлизированных материалов являются одним из ключевых аспектов их применения в различных отраслях промышленности. Металлизация, или нанесение металлического покрытия на поверхность материала, обеспечивает уникальные свойства, такие как электропроводность, теплопроводность, механическая прочность и коррозионная стойкость.

Одним из наиболее важных свойств металлизированных материалов является их электропроводность. Металлическое покрытие обеспечивает хорошую электрическую проводимость, что позволяет использовать такие материалы в электронике, электротехнике и других областях, где необходимо обеспечить эффективную передачу электрического тока [16]. Кроме того, металлизированные материалы могут быть использованы для создания электродов и контактных

поверхностей, что позволяет обеспечить надежное соединение и передачу электрического сигнала.

Теплопроводность является еще одним важным свойством металлизированных материалов. Благодаря наличию металлического покрытия, эти материалы обладают высокой теплопроводностью, что позволяет эффективно передавать и распределять тепло. Это особенно важно в таких областях, как теплотехника, энергетика и автомобильная промышленность, где требуется эффективное охлаждение или нагрев различных узлов и элементов

Механическая прочность металлизированных материалов также является важным фактором их применения. Металлическое покрытие значительно улучшает механические свойства базового материала, такие как прочность, твердость и износостойкость [17]. Это позволяет использовать металлизированные материалы в областях, где требуется высокая механическая нагрузка, например, в авиационной и автомобильной промышленности, машиностроении и других отраслях, где требуется надежность и долговечность конструкций.

Однако одним из основных преимуществ металлизированных материалов является их коррозионная стойкость. Металлическое покрытие обеспечивает защиту базового материала от воздействия агрессивной среды, такой как влага, кислоты, щелочи и другие химические вещества, которые могут вызывать коррозию и разрушение материала [18]. Коррозионная стойкость металлизированных материалов позволяет использовать их в условиях повышенной влажности или агрессивной среды, например, в морской промышленности, нефтегазовой отрасли, химической промышленности и других областях, где требуется долговечность и надежность конструкций.

Существует несколько методов получения металлизированных материалов, которые обладают различными свойствами и применяются в зависимости от требований конкретной отрасли. Один из наиболее распространенных методов - это термическое распыление металла. В этом процессе металлический материал нагревается до высокой температуры и распыляется на поверхность базового материала. При этом образуется тонкий слой металла, который прочно связывается с поверхностью материала и обеспечивает высокую адгезию и прочность покрытия.

Другим методом получения металлизированных материалов является электрохимическое осаждение металла. В этом процессе металлические ионы растворяются в электролите и осаждаются на поверхность материала под воздействием электрического тока. Этот метод позволяет получить тонкий и равномерный слой металла с высокой степенью адгезии к базовому материалу.

Также существуют методы получения металлизированных материалов, основанные на химическом осаждении металла из раствора или газовой фазы. В этих методах металлические ионы или молекулы металла реагируют с химическими реагентами и осаждаются на поверхность материала. Эти методы позволяют получить тонкие и равномерные покрытия с высокой степенью адгезии и хорошей коррозионной стойкостью.

Коррозионная стойкость металлизированных материалов может быть значительно улучшена путем применения различных методов защиты от коррозии. Один из таких методов - это нанесение защитного покрытия на поверхность металлизированного материала. Это может быть покрытие из полимеров, керамики или других материалов, которые обладают высокой химической стойкостью и защищают металлизированный слой от воздействия агрессивной среды. Другим методом защиты от коррозии является применение катодной защиты, при которой металлическое покрытие служит анодом в электрохимической ячейке и препятствует коррозии базового материала.

В заключение, свойства металлизированных материалов, такие как электропроводность, теплопроводность, механическая прочность и коррозионная стойкость, делают их незаменимыми во многих отраслях промышленности. Металлизация позволяет создавать материалы с уникальными свойствами, которые обеспечивают надежность, долговечность и эффективность конструкций. Однако для обеспечения максимальной коррозионной стойкости металлизированных материалов необходимо применять соответствующие методы защиты от коррозии, такие как нанесение защитного покрытия или применение катодной защиты. Это позволяет обеспечить долговечность и надежность конструкций в условиях агрессивной среды.

3 Применение металлизированных материалов

3.1 Металлизация поверхностей для защиты от коррозии

Применение металлизированных материалов охватывает широкий спектр отраслей промышленности, включая электротехнику, электронику, машиностроение, автомобильную промышленность, аэрокосмическую и другие отрасли. Металлизация поверхностей находит свое применение в различных областях, в том числе для защиты от коррозии.

Коррозия является одной из основных проблем, с которой сталкиваются многие материалы в окружающей среде. Она приводит к разрушению поверхности материала, снижению его прочности и долговечности. Для защиты от коррозии широко применяются различные методы, включая металлизацию поверхностей [19].

Металлизация поверхностей представляет собой процесс нанесения металлического покрытия на поверхность материала. Она осуществляется с помощью различных методов, таких как плазменное напыление, электроосаждение, термическое распыление и другие. Каждый из этих методов имеет свои особенности и применяется в зависимости от требований и условий процесса [20].

Одним из наиболее распространенных методов металлизации поверхностей является плазменное напыление. Оно основано на использовании плазмы, которая образуется в газовой среде при высоких температурах и давлениях. Плазма содержит заряженные частицы, которые могут быть направлены на поверхность материала и образовывать покрытие из металла [21]. Преимущества плазменного напыления включают высокую адгезию покрытия к поверхности материала, возможность нанесения покрытия на сложные формы и поверхности, а также возможность использования широкого спектра металлов. Кроме того, плазменное напыление позволяет получить покрытия с различными свойствами, такими как повышенная твердость, износостойкость, теплопроводность и другие.

Еще одним методом металлизации поверхностей является электроосаждение. Оно основано на принципе электролиза, при котором металлические ионы раствора осаждаются на поверхности материала под действием электрического тока. Электроосаждение позволяет получить покрытия с высокой плотностью и равномерностью, а также контролировать их толщину и состав.

Термическое распыление является еще одним методом металлизации поверхностей. Оно основано на использовании тепловой энергии для расплавления металла и его нанесения на поверхность материала. Термическое распыление позволяет получить покрытия с высокой адгезией, хорошей плотностью и структурой, а также контролировать их толщину.

Применение металлизированных материалов для защиты от коррозии имеет ряд преимуществ. Во-первых, металлическое покрытие создает барьер между

окружающей средой и поверхностью материала, предотвращая проникновение влаги, газов и других агрессивных сред. Во-вторых, металлическое покрытие может служить как анод или катод в электрохимической реакции, снижая скорость коррозии материала.

Кроме того, металлизация поверхностей может улучшить прочностные и функциональные свойства материала. Например, металлическое покрытие может повысить твердость, износостойкость, теплопроводность и другие свойства материала. Это особенно важно для материалов, работающих в агрессивных условиях, таких как высокие температуры, абразивные и коррозионные среды.

Однако, применение металлизированных материалов имеет и некоторые ограничения. Во-первых, процесс металлизации может быть сложным и требовать специального оборудования и навыков. Во-вторых, металлическое покрытие может быть подвержено износу и повреждениям, особенно при эксплуатации в агрессивных условиях. Поэтому необходимо регулярное обслуживание и контроль состояния покрытия.

В заключение, металлизация поверхностей является эффективным методом защиты от коррозии и улучшения свойств материала. Она находит широкое применение в различных отраслях промышленности, где требуется повышенная прочность, защита от коррозии и другие функциональные свойства. Однако, применение металлизированных материалов требует тщательного анализа и выбора метода металлизации, а также контроля состояния покрытия в процессе эксплуатации.

3.2 Использование металлизированных материалов в электронике

Применение металлизированных материалов в электронике является одной из важнейших областей исследования и разработки в современной технологической сфере. Металлизированные материалы широко используются в производстве различных электронных устройств, таких как полупроводники, интегральные схемы, солнечные батареи, электронные дисплеи и другие.

Одним из ключевых преимуществ использования металлизированных материалов в электронике является их высокая электропроводность. Металлы, такие как алюминий, медь и золото, обладают низким сопротивлением электрическому току и способны эффективно передавать электрическую энергию. Это позволяет использовать металлизированные материалы для создания проводников, контактов и других элементов электрических схем.

Еще одним важным аспектом применения металлизированных материалов в электронике является их способность быть легко обработанными и сформированными в нужную форму [22]. Металлы можно легко расплавить и лить, что позволяет создавать сложные формы и структуры. Это особенно важно при изготовлении микроэлектронных компонентов, где требуется высокая точность и миниатюризация.

Одним из наиболее распространенных методов получения металлизированных материалов в электронике является метод осаждения металлического покрытия на поверхность материала. Этот процесс называется металлизацией и может быть выполнен различными способами, такими как физическое осаждение из паровой фазы (PVD), химическое осаждение из газовой фазы (CVD) и электрохимическое осаждение (ЭХО) [23].

Физическое осаждение из паровой фазы (PVD) является одним из наиболее распространенных методов металлизации в электронике. В этом процессе металлический материал нагревается до высокой температуры, при которой он испаряется и осаждается на поверхности материала. PVD обеспечивает высокую степень адгезии между металлическим покрытием и подложкой, что делает его идеальным для создания проводников и контактов в электронных устройствах [24]. Химическое осаждение из газовой фазы (CVD) является другим популярным методом металлизации. В этом процессе металлический материал осаждается на поверхности материала путем химической реакции между газообразными прекурсорами и поверхностью. CVD позволяет создавать тонкие и равномерные покрытия, что особенно важно для микроэлектроники, где требуется высокая точность и контроль процесса.

Электрохимическое осаждение (ЭХО) является третьим методом металлизации, который широко используется в электронике. В этом процессе металлический материал осаждается на поверхность материала под воздействием электрического тока. ЭХО обеспечивает высокую скорость осаждения и позволяет создавать толстые покрытия, что делает его идеальным для создания защитных слоев и контактов в электронных устройствах.

Применение металлизированных материалов в электронике имеет широкий спектр применений. Они используются для создания проводников и контактов в полупроводниковых устройствах, таких как транзисторы и диоды. Металлизированные материалы также являются ключевыми компонентами в производстве интегральных схем, где они служат для соединения различных элементов и проводников на кристаллической подложке.

Кроме того, металлизированные материалы используются в производстве солнечных батарей, где они играют роль электродов для сбора и передачи солнечной энергии. Они также используются в производстве электронных дисплеев, где они обеспечивают электрическую связь между различными слоями и компонентами.

В заключение, применение металлизированных материалов в электронике имеет огромный потенциал и является ключевым аспектом разработки и производства современных электронных устройств. Их высокая электропроводность, легкая обработка и способность быть сформированными в нужную форму делают их идеальными для создания проводников, контактов и других элементов электронных схем. Различные методы металлизации, такие как PVD, CVD и ЭХО, обеспечивают широкий спектр возможностей для создания металлизированных материалов с различными свойствами и характеристиками. Применение металлизированных материалов в электронике продолжает

развиваться и совершенствоваться, открывая новые горизонты для современной технологической индустрии.

3.3 Применение металлизированных материалов в автопромышленности

Применение металлизированных материалов в автопромышленности является одной из ключевых областей исследования и разработки в современной инженерии. Металлизированные материалы, такие как металлические покрытия и пленки, обладают рядом уникальных свойств, которые делают их незаменимыми в производстве автомобилей.

Одним из основных применений металлизированных материалов в автопромышленности является создание защитных покрытий для поверхностей автомобилей. Эти покрытия служат для предотвращения коррозии и повреждений от воздействия агрессивных сред, таких как соли на дорогах зимой или химические вещества. Металлические покрытия, такие как цинк, алюминий или никель, наносятся на поверхность кузова автомобиля с помощью различных методов, таких как гальваническое осаждение или напыление. Эти покрытия обладают высокой стойкостью к коррозии и механическим повреждениям, что позволяет значительно продлить срок службы автомобиля [25].

Еще одним важным применением металлизированных материалов в автопромышленности является создание электропроводящих покрытий. Эти покрытия используются для создания электрических контактов между различными компонентами автомобиля, такими как провода, разъемы и платы [26]. Металлические покрытия, такие как медь или серебро, обеспечивают надежную электрическую связь и минимизируют потери сигнала. Кроме того, электропроводящие покрытия также могут использоваться для создания экранирования от электромагнитных помех, что особенно важно для систем связи и навигации в автомобиле.

Еще одним применением металлизированных материалов в автопромышленности является создание декоративных элементов и отделочных покрытий. Металлические покрытия, такие как хром, никель или золото, используются для придания автомобилю эстетического вида и повышения его привлекательности для потребителей. Эти покрытия могут быть нанесены на различные детали автомобиля, такие как решетка радиатора, дверные ручки, зеркала и другие элементы. Они обладают высокой стойкостью к внешним воздействиям и сохраняют свой блеск и цвет на протяжении длительного времени.

Кроме того, металлизированные материалы также находят применение в автопромышленности для создания функциональных покрытий [27]. Например, металлические пленки могут использоваться для создания специальных покрытий, обладающих определенными свойствами, такими как защита от ультрафиолетового излучения, теплоотражающие свойства или

антибактериальные свойства. Эти покрытия могут применяться на стеклах, сиденьях, рулевых колесах и других элементах автомобиля, чтобы улучшить комфорт и безопасность пассажиров.

В заключение, применение металлизированных материалов в автопромышленности является неотъемлемой частью современного производства автомобилей. Они обеспечивают защиту от коррозии, обеспечивают электрическую связь, придают эстетический вид и обладают специальными функциональными свойствами. Разработка и исследование новых методов получения и применения металлизированных материалов в автопромышленности является актуальной задачей, которая позволяет создавать более надежные, безопасные и привлекательные автомобили для потребителей.

4 Методика экспериментов исследования

4.1 Полный расчет шихты

Химический состав использованного сырья представлен в таблице 4.1

Таблица 4.1 – Химический состав концентрата

Фабрика ЛМО	Fe	Mn	P	S	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	V ₂ O ₅	ппп
Концентрат	49.0	0.17	0.72	0.014	0.9	69.03	10.95	0.3	0.32	4.87	0.15	0.114	12.2

Определяем концентрации высших оксидов металлов- Fe, Mn, V.

$$Fe_2O_3 = 1.4285(Fe - 0.777FeO) = 1.4285(49 - 0.777 \cdot 0.9) = 68.9975\%$$

$$MnO_2 = 1.5818(Mn - 0.7746MnO) = 1.5818 \cdot 0.17 = 0,2689\%$$

$$V_2O_5 = 1.78V = 1.78 \cdot 0.0315 = 0.056\%$$

Определение газифицируемого кислорода шихты

$$Fe-49 \quad FeO-0.9$$

$$Fe_{\Gamma} = Fe - 0.777FeO = 49 - 0.777 \cdot 0.9 = 42.007\%$$

$$Fe_2O_3 \rightarrow Fe_3O_4; \quad \Delta\sigma'_1 = 10^{-2} \cdot 0.4285 \cdot Fe_{\Gamma} \cdot 0,111 = 0,0476 \cdot 10^{-2} \cdot 42 = 0,019$$

$$Fe_3O_4 \rightarrow FeO; \quad \Delta\sigma'_2 = 10^{-2} \cdot 0.4285 \cdot Fe_{\Gamma} \cdot 0.222 = 0.0951 \cdot 10^{-2} \cdot 42 = 0.093$$

Невосстановленное железо остается в виде FeO и может быть учтено на последней ступени умножением на соответствующее значение ступени усвоение т.е на:

$$FeO \rightarrow Fe; \quad \Delta\sigma'_3 = 10^{-2} \cdot \mu_{Fe} (0.4285 \cdot 0.667Fe_{\Gamma} + 0.222FeO) = 10^{-2} \cdot 0.999(0.2858 \cdot 49 + 0.222 \cdot 0.9) = 10^{-2} \cdot 0.999(14 + 0.199) = 0.2538$$

Всего газифицируемого при восстановлении железа кислорода

$$\Delta\sigma'_{Fe} = \Delta\sigma'_1 + \Delta\sigma'_2 + \Delta\sigma'_3 = 0.019 + 0.093 + 0.1418 = 0.2538$$

При восстановлении марганца(Mn)

Mn-0,2689%

$$MnO_2 \rightarrow Mn_2O_3; \quad \Delta\sigma'_1 = 0.1454 \cdot 10^{-2} \cdot 0.2689 = 0.00039$$

$$Mn_2O_3 \rightarrow Mn_3O_4; \quad \Delta\sigma'_2 = 0.4363 \cdot 10^{-2} \cdot 0.2689 \cdot 0.111 = 0.00013$$

$$Mn_3O_4 \rightarrow MnO; \quad \Delta\sigma'_3 = 0.4363 \cdot 10^{-2} \cdot 0.2689 \cdot 0.222 = 0.00026$$

MnO → *Mn* ;

$$\Delta\sigma'_4 = 10^{-2} \cdot \mu_{Mn}(0.4363 \cdot 0.667Mn_{\Gamma}) = 10^{-2} \cdot 0.8(0.4363 \cdot 0.667 \cdot 0.2689) \\ = 0.000626$$

$$\Delta\sigma'_{Mn} = 0.001406$$

Восстановление ванадия(V)

V=0,0315

$$V_2O_5 \rightarrow V_2O_3; \quad \Delta\sigma'_1 = 0.3137 \cdot 10^{-2}V = 0.3137 \cdot 10^{-2} \cdot 0.0315 = 0.000098$$

$$V_2O_5 \rightarrow VO; \quad \Delta\sigma'_2 = 0.1568 \cdot 10^{-2} \cdot 0.0315 = 0.000049$$

$$VO \rightarrow V; \quad \Delta\sigma'_3 = 0.3137 \cdot 10^{-2} \cdot 0.0315 \cdot 0.9 = 0.0000889$$

$$\Delta\sigma'_V = 0.000236$$

Восстановление кремния(Si)

*SiO*₂-10,95 Выход кремния 60%

*SiO*₂-60 г/моль

$$Si- 28 \text{ г/моль} \quad x = \frac{10.95 \cdot 0.6 \cdot 32}{60} = 3.07$$

X = 3.07

Расход углерода на восстановление железа

Определяем коэффициенты распределения кислорода при 1100°C по уравнениям

$$Fe_2O_3 \rightarrow Fe_3O_4; \quad \gamma_{\sigma 1} = 110/(190 + 5) = 0.974$$

$$\gamma_{\sigma 2} = 5/(190 + 5) = 0.026$$

$$Fe_3O_4 \rightarrow FeO; \quad \gamma_{\sigma 1} = 110/(110 + 45) = 0.7096 \quad \gamma_{\sigma 2} = 0.2904$$

$$FeO \rightarrow Fe; \quad \gamma_{\sigma 1} = 50/(50 + 75) = 0.4 \quad \gamma_{\sigma 2} = 0.6$$

$$\begin{aligned} g'_{c.Fe} &= 0,75 \cdot \sum \Delta \sigma'_i (1 - 0,5 \gamma_{\sigma 1.i}) \\ &= 0,75 [\Delta \sigma'_1 (1 - 0,5 \cdot 0,974) + \Delta \sigma'_2 (1 - 0,5 \cdot 0,7096) + \Delta \sigma'_3 (1 - 0,5 \cdot 0,4)] \\ &= 0,75 [0,019(1 - 0,5 \cdot 0,974) + 0,093(1 - 0,5 \cdot 0,7096) + 0,1478(1 - 0,5 \cdot 0,4)] \\ &= 0,75 [0,00974 + 0,06 + 0,1182] = 0,1409 \end{aligned}$$

$$g'_{c.Fe} = 0.1409$$

Марганца(Mn)

$$\begin{aligned} g'_{c.Mn} &= 0,75 [0,00039 \cdot 0,5 + 0,00013(1 - 0,5 \cdot 0,888) \\ &\quad + 0,00026(1 - 0,5 \cdot 0,57) + 0,000626(1 - 0,5 \cdot 0)] \\ &= 0,75 [0,000195 + 0,000072 + 0,000186 + 0,000626] = 0,00081 \end{aligned}$$

Ванадий(V)

$$\begin{aligned} g'_{c.V} &= 0,75 [0,000098(1 - 0,5 \cdot 0,7096) + 0,000049(1 - 0,5 \cdot 0,4) \\ &\quad + 0,000089(1 - 0,5 \cdot 0)] = 0,75 [0,000063 + 0,00004 + 0,000089] \\ &= 0,000144 \end{aligned}$$

Кремний(Si)

$$g'_{c.Si} = 0,75 \cdot 3,07 = 2,3025$$

Расход всего углерода-реагента

$$\begin{aligned} g'_c &= g'_{c.Fe} + g'_{c.Mn} + g'_{c.V} + g'_{c.Si} = 0,1409 + 0,00081 + 0,000144 + 2,3025 \\ &= 2,444 \end{aligned}$$

Содержание углерода в древесном угле

В древесном угле содержание углерода - 95%

$$C_{Эф} = C - 0,75Fe_{Кп}[0,1426(1 - \Omega'_{Fe}) + 0,286(0,5\gamma_{\sigma 1} + \gamma_{\sigma 2})]$$
$$= 95 - 0,75 \cdot 1,24[0,1426 + 0,286(0,2 + 0,6)] = 95 - 0,35 = 94,65\%$$

$$g'_{Кп} = g'_i / 10^{-2} C_{Эф} = 2,444 / 0,9435 = 2,59$$

Расход флюса

SiO_2 -10,95

SiO_2 -60 г/моль

Si- 28 г/моль

$$x = \frac{10,95 \cdot 32}{60} = 5,11; \quad x = 5,11$$

CaO -60 г/моль

$SiO_2 \rightarrow CaO$

X=25,2

4.2 Проведения экспериментов

Составляющие шихты:

- флюс – 25,2 гр. CaO, для удаления кремния и для шлакообразования;
- связующий материал - 10% раствор меласса;
- общий выход газа составил - 5,245 дм³;
- вес окатышей до металлизации - 73,8 грамм;
- вес окатышей после металлизации - 61,1 грамм.

Кинетические расчёты по полученным анализам

$$\Delta O_{CO_2} = \frac{32}{22,4} \cdot 10^{-2} \cdot CO_2 \cdot \Delta V; \quad \frac{32}{22,4} \cdot 10^{-2} = 0,014;$$

$$\Delta O_{1 CO_2} = 0,014 \cdot 1\% \cdot 125 = 0,175;$$

$$\Delta O_{2 CO_2} = 0,014 \cdot 5\% \cdot 300 = 0,21;$$

$$\Delta O_{3 CO_2} = 0,014 \cdot 7\% \cdot 300 = 0,294;$$

$$\Delta O_{4 CO_2} = 0,014 \cdot 8\% \cdot 300 = 0,336;$$

$$\Delta O_{5 CO_2} = 0,014 \cdot 7,5\% \cdot 300 = 0,315;$$

$$\Delta O_{6CO_2} = 0.014 \cdot 2\% \cdot 600 = 0,168;$$

$$\Delta O_{7CO_2} = 0.014 \cdot 1.5\% \cdot 500 = 0,105;$$

$$\Delta O_{8CO_2} = 0.014 \cdot 0.5\% \cdot 600 = 0,042;$$

$$\Delta O_{9CO_2} = 0.014 \cdot 2\% \cdot 700 = 0,196;$$

$$\Delta O_{10CO_2} = 0.014 \cdot 0.5\% \cdot 650 = 0,055;$$

$$\Delta O_{11CO_2} = 0.014 \cdot 0.3\% \cdot 520 = 0,02184;$$

$$\Delta O_{12CO_2} = 0.014 \cdot 1\% \cdot 600 = 0,084;$$

$$\Delta O_{CO} = \frac{16}{22,4} \cdot 10^{-2} \cdot CO \cdot \Delta V; \quad \frac{16}{22,4} \cdot 10^{-2} = 0,007;$$

$$\Delta O_{1CO_2} = 0.007 \cdot 99\% \cdot 125 = 0,86625;$$

$$\Delta O_{2CO_2} = 0.007 \cdot 95\% \cdot 300 = 1,995;$$

$$\Delta O_{3CO_2} = 0.007 \cdot 93\% \cdot 300 = 1,953;$$

$$\Delta O_{4CO_2} = 0.007 \cdot 92\% \cdot 300 = 1,932;$$

$$\Delta O_{5CO_2} = 0.007 \cdot 92,5\% \cdot 300 = 1,9425;$$

$$\Delta O_{6CO_2} = 0.007 \cdot 98\% \cdot 600 = 4,116;$$

$$\Delta O_{7CO_2} = 0.007 \cdot 98,5\% \cdot 500 = 3,4475;$$

$$\Delta O_{8CO_2} = 0.007 \cdot 99,5\% \cdot 600 = 4,179;$$

$$\Delta O_{9CO_2} = 0.007 \cdot 98\% \cdot 700 = 4,802;$$

$$\Delta O_{10CO_2} = 0.007 \cdot 99,5\% \cdot 650 = 4,52725;$$

$$\Delta O_{11CO_2} = 0.007 \cdot 99,7\% \cdot 300 = 3,629;$$

$$\Delta O_{12CO_2} = 0.007 \cdot 99\% \cdot 600 = 4,158;$$

$$R = \frac{\Delta O}{\Delta O_{06\text{м}}};$$

$$R_1 = \frac{1.04125}{39.55} = 0,0263; \quad R_7 = \frac{3.5525}{39.55} = 0,0898;$$

$$R_2 = \frac{2.205}{39.55} = 0,0558; \quad R_8 = \frac{4.221}{39.55} = 0,1067;$$

$$R_3 = \frac{2.247}{39.55} = 0,0568; \quad R_9 = \frac{4.997}{39.55} = 0,1263;$$

$$R_4 = \frac{2.268}{39.55} = 0,0573; \quad R_{10} = \frac{4.582}{39.55} = 0,1159;$$

$$R_5 = \frac{2.2575}{39.55} = 0,0571; \quad R_{11} = \frac{3.65084}{39.55} = 0,0923;$$

$$R_6 = \frac{4.284}{39.55} = 0,1083; \quad R_{12} = \frac{4.242}{39.55} = 0,1073;$$

$$\omega_R = \frac{R_1}{\Delta T_1};$$

$$\omega_{R1} = \frac{0.0263}{741} = 3,553 \cdot 10^{-5}; \quad \omega_{R7} = \frac{0.0898}{944} = 9,515 \cdot 10^{-5}$$

$$\omega_{R2} = \frac{0.0558}{798} = 6,986 \cdot 10^{-5}; \quad \omega_{R8} = \frac{0.1067}{961} = 1,111 \cdot 10^{-5}$$

$$\omega_{R3} = \frac{0.0568}{841} = 6,756 \cdot 10^{-5}; \quad \omega_{R9} = \frac{0.1263}{980} = 1,289 \cdot 10^{-5}$$

$$\omega_{R4} = \frac{0.0573}{869} = 6,599 \cdot 10^{-5}; \quad \omega_{R10} = \frac{0.1159}{1000} = 1,159 \cdot 10^{-5}$$

$$\omega_{R5} = \frac{0.0571}{892} = 6,399 \cdot 10^{-5}; \quad \omega_{R11} = \frac{0.0923}{1024} = 9,015 \cdot 10^{-5}$$

$$\omega_{R6} = \frac{0.1083}{925} = 1,171 \cdot 10^{-5}; \quad \omega_{R12} = \frac{0.1073}{1054} = 1,018 \cdot 10^{-5}$$

4.3 Методология эксперимента

В начале эксперимента были проведены следующие подготовительные операции для получения однородной гранулированной смеси.

Для приготовления смеси шихты были взяты железорудный концентрат, флюс (СаО) и древесный уголь (рисунок 4.1). Точное количество каждого компонента было определено с помощью стехиометрических расчетов, чтобы обеспечить требуемое соотношение компонентов в смеси.



Рисунок 4.1 – Исходные материалы

После взвешивания железорудный концентрат, флюс и древесный уголь были смешаны и измельчены до однородной массы. Измельчение проводилось в механическом измельчителе, что позволило достичь равномерного распределения частиц флюса и угля в смеси. Однородность смеси проверялась визуально.

Для гранулирования смеси использовался тарельчатый гранулятор. В качестве связующего вещества применялся 10% раствор меласса. Процесс гранулирования состоял из нескольких этапов:

Подготовленная однородная смесь флюса и древесного угля была равномерно распределена по поверхности тарельчатого гранулятора.

В процессе вращения тарелки гранулятора (рисунок 4.2) постепенно добавлялся 10% раствор мелассы. Это обеспечивало смачивание и склеивание частиц смеси, формирование гранул нужной формы и размера.



Рисунок 4.2 – Тарельчатый гранулятор

Полученные гранулы (рисунок 4.3) сушились до постоянной массы при контролируемой температуре для удаления избыточной влаги и повышения прочности гранул.

Гранулирование с использованием раствора мелассы позволило получить высококачественные гранулы с хорошей механической прочностью и однородным размером, что обеспечило стабильность процесса плавки в последующих экспериментах.



Рисунок 4.3 – Осушенные окатыши

После получения и сушки гранулированной смеси шихты был проведен процесс металлизации. Высушенные гранулы были помещены в трубчатую печь для проведения металлизации (рисунок 4.4). Процесс металлизации заключался в нагревании продукта до температуры 1250°C. Трубчатая печь была выбрана для обеспечения равномерного нагрева и контролируемых условий проведения эксперимента. В процессе металлизации состав выходящего газа непрерывно контролировался с помощью газоанализатора. Это позволило отслеживать изменения в составе газовой фазы и корректировать режимы работы печи для достижения оптимальных условий металлизации. Основное внимание уделялось концентрациям CO и CO₂, которые могли свидетельствовать о ходе реакций восстановления.



Рисунок 4.4 – Установка для металлизации

Для оценки степени металлизации и массы образовавшегося металлического железа продукт взвешивали до и после процесса. Первичное взвешивание проводилось перед началом эксперимента для определения начальной массы гранул. После завершения металлизации и охлаждения продукта до комнатной температуры производилось повторное взвешивание.

Анализ данных по изменению массы продукта и составу выходящих газов позволил сделать выводы о степени восстановления железа и эффективности процесса металлизации. Полученные результаты были использованы для дальнейших расчетов и оптимизации условий эксперимента.

Полученный после металлизации продукт (рисунок 4.5) был охлаждён до комнатной температуры и взвешен на аналитических весах. Это позволило определить массу продукта после процесса металлизации и, сравнив её с

исходной массой, оценить степень металлизации и изменение массы в ходе реакции.



Рисунок 4.5 – Металлизированный продукт

Пробы анализировались на содержание основных компонентов, включая железо (Fe), титан (Ti), ванадий (V), никель (Ni), углерод (C), а также примеси (S, P, Si и др.). Наличие и количество примесей, которые могли повлиять на качество конечного продукта.

Полученные данные (таблица 4.2) предоставили важную информацию о качестве металлизированного продукта и эффективности проведённого процесса. Эти результаты будут использованы для дальнейшей оптимизации технологического процесса и повышения качества производства чугуна в шахтных печах.

Таблица 4.2 – Химический состав полученного металла

El	Fe	Al	Si	P	S	Ti	Ni	Mn	V	Zn	Cu	Sr	Zr	Nb
%	83,74	3.54	9.80	1.97	0.230	0.100	0.071	0.292	0.076	0.115	0.027	0.025	0.014	0.005

На основе полученных экспериментальных данных были определены состав и объём отходящего газа, степень и скорость редуции. После анализа результатов была составлена соответствующая таблица 4.3, отражающая указанные параметры.

Таблица 4.3 – Результаты эксперимента при восстановлении концентрата древесным углем

τ, мин	Т, °С	V _{газ} , дм ³	Состав газа, %		ΔO _{CO₂}	ΔO _{CO}	ΔO	ΔR	ω _R ·10 ⁻³
			CO ₂	CO					
-	635°С	-	Начала выделения газа						
10	741°С	125	1	99	0,175	0,86625	1,04125	0,0263	0,03553
6	798°С	300	5	95	0,21	1,995	2,205	0,0821	0,06986
5	841°С	300	7	93	0,294	1,953	2,247	0,1389	0,06756
3	869°С	300	8	92	0,336	1,932	2,268	0,1962	0,06559
2	892°С	300	7,5	92,5	0,315	1,9425	2,2575	0,2533	0,06339
3	925°С	600	2	98	0,168	4,116	4,284	0,3616	0,01171
2	944°С	500	1,5	98,5	0,105	3,4475	3,5525	0,4514	0,09515
2	961°С	600	0,5	99,5	0,042	4,179	4,221	0,5581	0,01111
2	980°С	700	2	98	0,196	4,801	4,997	0,6844	0,01289
2	1000°С	650	0,5	99,5	0,055	4,527	4,582	0,8003	0,01159
2	1024°С	520	0,3	99,7	0,02184	3,629	3,651	0,8926	0,09015
3	1054°С	600	1	99	0,084	4,158	4,242	0,9999	0,01018

В процессе кинетической исследования были созданы графики (рисунок 4.6, 4.7), отображающие зависимость температуры от степени и скорости редуции.

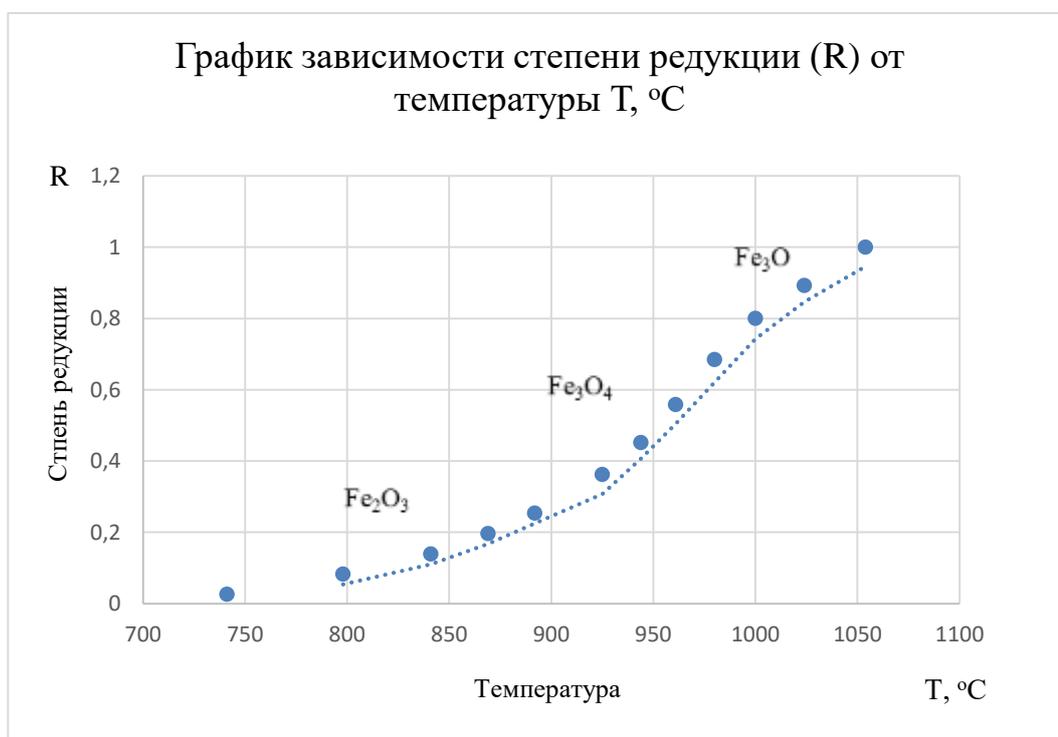


Рисунок 4.6 – График зависимости степени редуции (R) от температуры Т, °С

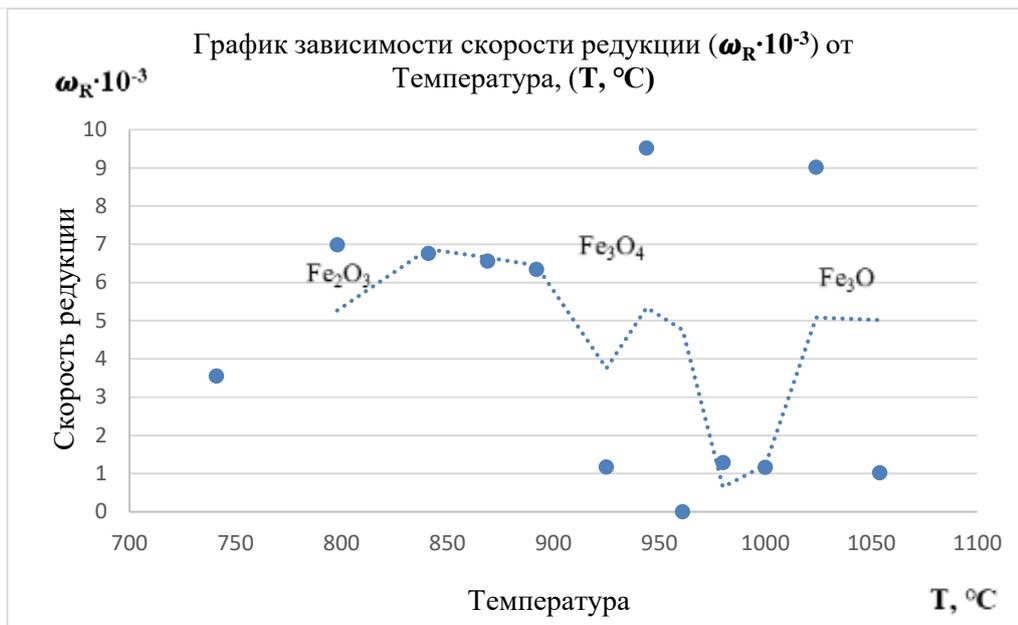


Рисунок 4.7 – График зависимости скорости редукции ($\omega_R \cdot 10^{-3}$) от Температуры, (Т, °С)

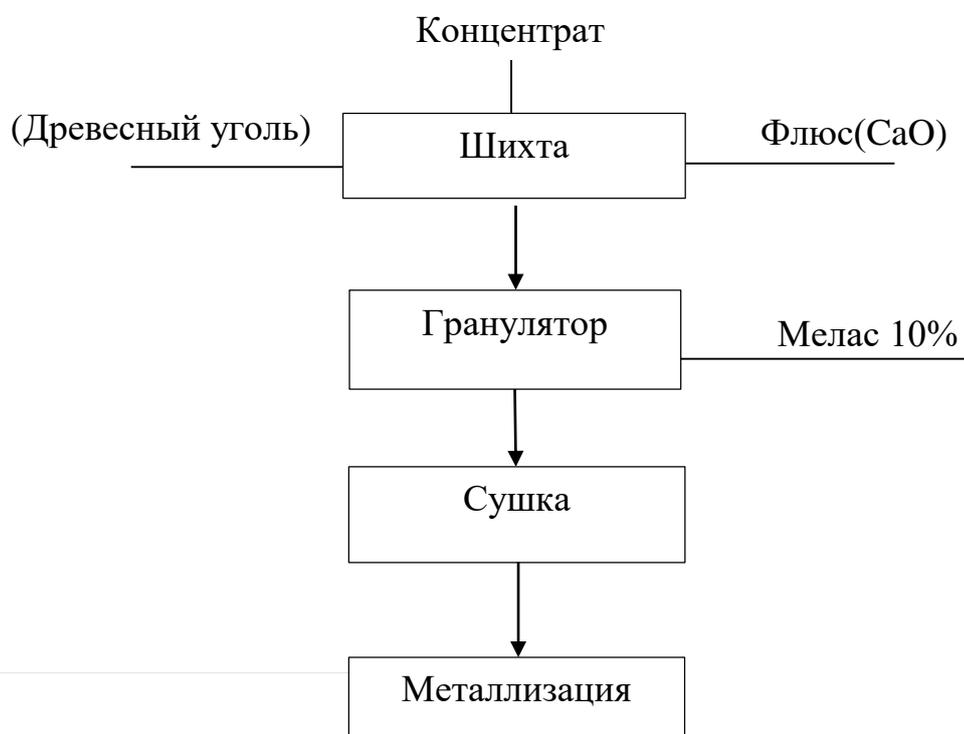


Рисунок 4.8 - Технологическая схема получение металлизированных материалов

По графику кинетики наблюдается повышение степени редукиции при температуре выше 950°C. Это соответствует восстановлению оксидов гематита. На втором графике рассматриваем зависимость скорости редукиции от температуры. При температуре 800-900°C наблюдается высокая степень редукиции, что соответствует восстановлению гематита и магнетита. При температуре выше 1000°C происходит восстановление вюстита. Выше 1050°C наблюдается сокращение выделения газа.

По результатам исследования был предложен технологическая схема.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной дипломной работе были исследованы процессы получения металлизированных материалов, уделено внимание различным технологиям металлизации, их преимуществам и ограничениям, а также применению в различных отраслях промышленности. Рассмотрены современные методы металлизации, включая электроосаждение, термическое распыление и химическое осаждение металлов, проанализированы их преимущества и ограничения. Области применения металлизированных материалов включают защиту от коррозии, использование в электронике и автопромышленности, где они играют ключевую роль в создании высокотехнологичных изделий, таких как полупроводники, солнечные батареи и автомобильные компоненты.

Особое внимание в работе уделено экспериментальным исследованиям. В рамках эксперимента был использован Лисаковский концентрат для проведения процесса металлизации. Эксперимент включал подготовку шихты, гранулирование смеси, процесс металлизации при температуре 1250 °С с контролем состава выходящего газа, и анализ полученных данных.

По графику кинетики наблюдается повышение степени редукиции при температуре выше 950°С. Это соответствует восстановлению гематита. На втором графике рассматриваем зависимость скорости редукиции от температуры. При температуре 800-900°С наблюдается высокая степень редукиции, что соответствует восстановлению гематита и магнетита. При температуре выше 1000°С происходит восстановление вюстита. Выше 1050°С наблюдается сокращение выделения газа. Полученный металл по составу соответствует стандартному составу металлизированных продуктов.

Результаты эксперимента подтвердили высокую эффективность предложенных методов, показав, что использование Лисаковского концентрата и предложенной методики обеспечивает высокое качество металлизированных материалов. Полученные данные подчеркивают важность дальнейших исследований в области металлизации для разработки новых технологий и методов, которые позволят улучшить качество и эффективность производства металлизированных материалов, что способствует развитию промышленности и улучшению характеристик конечных продуктов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1 Дикусар А. И. и др. Кинетика металлизации и рассеивающая способность электролитов при получении нанокompозитов на основе АШВУ // Электронная обработка материалов. – 2005. – №. 5. – С. 4-9.

2 Слипченко Н. И., Юзвизин В. Ф. Исследования процессов скоростной металлизации печатных плат и путей ее реализации // Радиоэлектроника и информатика. – 1999. – №. 4 (9). – С. 26-30.

3 Зорин Р. А., Алешина В. Х., Григорян Н. С. Изучение процесса гальванического меднения сквозных отверстий печатных плат // Успехи в химии и химической технологии. – 2020. – Т. 34. – №. 3 (226). – С. 38-40.

4 Белоцерковский М. А. Технологические приемы гиперзвуковой металлизации при распылении проволок из разнородных металлов // Механика машин, механизмов и материалов. – 2019. – №. 1. – С. 50-57.

5 Сидорский С. С. Энерго-и ресурсосберегающие технологии поверхностного модифицирования машиностроительных полимерных материалов // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. – 2001. – №. 2. – С. 18-23.

6 Зверев А. А., Любченко А. М., Шляпин А. Д. Повышение качества покрытий при электродуговой металлизации полимерных композиционных материалов // Машиностроение и инженерное образование. – 2014. – №. 2. – С. 15-19.

7 Петров М. Ю. Упрочнение рабочих органов почвообрабатывающих машин композиционными материалами : дис. – Москва : [Твер. гос. с.-х. акад.], 2005.

8 Климовицкий А. Г. Разработка материалов и процессов для формирования системы металлизации СБИС субмикронного уровня : дис. – М. : [Моск. гос. ин-т электрон. техники (техн. ун-т)], 2004.

9 Алайдар Ж. и др. Разработка новой технологии специальной отделки для получения металлизированных текстильных материалов с защитными свойствами // International Independent Scientific Journal. – 2020. – №. 16-1. – С. 47-51.

10 Никитченко Т. В. Исследование и разработка технологии производства горячекетированного железа из концентратов КМА на промышленной установке металлизации НУЛ-III // Уральский рынок металлов. – 2007. – №. 11. – С. 20.

11 Болотов А. Н., Новикова О. О., Новиков В. В. Исследование режимов формирования алмазосодержащего керамического абразивного материала методом микродугового оксидирования // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия "Технические науки". – 2020. – №. 2 (6). – С. 5.

12 Коган А. Г. и др. Исследование бактерицидных свойств металлизированных текстильных материалов. – 2011.

13 Гребенкин А. А. Проектирование и разработка метода производства защитных металлизированных тканей : дис. – Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна, 2010.

14 Нестеров В. А., Кукушкин Д. Ю., Козлов А. П. Исследование процесса металлизации пористых материалов осаждением нанокластеров металлов на поверхность методом электрофореза // Сборник тезисов докладов XLIV Международной молодёжной научной конференции «Гагаринские чтения-2018». М.: МАИ. – 2018.

15 Бровикова И. Н. Физические параметры плазмы в оптимальных условиях металлизации полимерных материалов // Электронная обработка материалов. – 2005. – №. 4. – С. 44-46. URL:

16 Медведева К. С. Использование каменных углей при получении металлизированных продуктов // Россия молодая. – 2015. – С. 29-29.

17 Пантелеенко Ф. И. и др. Исследование коррозионной стойкости покрытий, полученных методом гиперзвуковой металлизации из высоколегированных проволочных материалов, в контакте с агрессивными средами, используемыми при производстве калийных удобрений // Горная механика и машиностроение. – 2020. – №. 3. – С. 76-85.

18 Попов В. Н., Мариловцев Н. А. Исследование технологических процессов нанесения и обработки металлопокрытия, полученного методом газотермической металлизации // Механики XXI века. – 2007. – №. 6. – С. 261-263.

19 Гайнутдинов Н. М. и др. Обоснование применения дуговой металлизации при изготовлении и восстановлении рабочих органов сельскохозяйственных машин с заданными свойствами поверхностей // аграрная наука XXI века. актуальные исследования и перспективы. – 2019. – С. 239-242.

20 Небезин С. В. Совершенствование состава проволок для дуговой металлизации жаростойких покрытий на основе нейросетевого моделирования: дис.–б.и.,2014.

21 Ворожко В. А., Жирухин Д. А., Капустин Ю. И. Исследование металлизации вакуумно-плотной керамики на основе нитрида алюминия // Успехи в химии и химической технологии. – 2021. –Т.35–№. 8 (243). –С.101-103.

22 ГОРБЕРГ Б. Л. и др. Модифицирование текстильных материалов нанесением нанопокровов методом магнетронного ионно-плазменного распыления // Российский химический журнал. – 2011. – Т. 55. – №. 3. – С. 7-13.

23 Стоянов А. А. и др. Сборка изделий микроэлектроники с использованием металлизации и проволоки из меди // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2014. – Т. 10. – №. 5-1. – С. 98-104.

24 Громов Д. Г. Материалы и процессы формирования многослойной металлизации кремниевых СБИС : дис. – Моск. ин-т электронной техники, 2000.

25 Жорник В. И., Белоцерковский М. А., Кукареко В. А. Исследование процессов упрочнения газотермических покрытий при трении в среде наноконпозиционной смазки // Актуальные проблемы прочности. – 2018. – С. 88-110.

26 Попов В. В. Разработка и оценка эффективности усовершенствованных бескоксовых технологических схем переработки руд с получением легированной и нелегированной стали : дис. – б. и., 2013.

27 Ермилов А.Г., Совк Д.Н., Сухонос С.И. Металлопокрытие с повышенной адгезией к материалу подложки и способ его изготовления. – 2009.