



РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ АГРЕГАТОВ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ К МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПЛАВКЕ

В. М. ПАВЛОВЕЦ

В. М. Павловец

**РАСШИРЕНИЕ
ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ
АГРЕГАТОВ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО
СЫРЬЯ К МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПЛАВКЕ**

Монография

Москва Вологда
«Инфра-Инженерия»
2023

УДК 669.162.23
ББК 34.323
П12

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор кафедры металлургии черных металлов
Юргинского технологического института (филиала)
ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический
университет» *Р. А. Гизатулин*;
кандидат технических наук, доцент кафедры теплофизики и информатики
в металлургии Уральского федерального университета
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина *В. И. Матюхин*

- Павловец, В. М.**
П12 Расширение функциональных возможностей агрегатов для подго-
товки железорудного сырья к металлургической плавке : монография /
В. М. Павловец. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. – 328 с. :
ил., табл.
ISBN 978-5-9729-1170-7

Раскрыта проблема расширения функциональных возможностей агрегатов для подготовки железорудного сырья к металлургической плавке в сфере производства железорудных окатышей. Изложены основы теории и технологии производства железорудных окатышей. Представлены результаты научных исследований и технические разработки автора в области теории и технологии подготовки железорудного сырья к металлургической плавке, посвященные новой технической концепции производства железорудных окатышей.

Для студентов, обучающихся по направлению подготовки «Металлургия», а также аспирантов и инженерно-технических работников.

УДК 669.162.23
ББК 34.323

ISBN 978-5-9729-1170-7

© Павловец В. М., 2023
© Издательство «Инфра-Инженерия», 2023
© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	6
ВВЕДЕНИЕ	7
1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ ПОДГОТОВКИ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ К МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПЛАВКЕ.....	10
1.1. Общие сведения о практике использования и производстве железородных окатышей.....	10
1.2. Общая характеристика технологии производства железородных окатышей.....	13
1.3. Основы теории и практики окомкования железородных окатышей	17
1.4. Основы теории и практики термообработки железородных окатышей.....	23
1.4.1. Закономерности сушки капиллярно-пористых тел	23
1.4.2. Характеристика физико-химических процессов высокотемпературного обжига окатышей	29
1.4.3. Физические основы процесса спекания	37
2. АНАЛИЗ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ РЕЗЕРВОВ И РАЗРАБОТКА ОБОБЩЕННОЙ СТРУКТУРЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПОДГОТОВКИ ЖЕЛЕЗОРУДНОЙ ШИХТЫ К СПЕКАНИЮ	43
2.1. Разработка технологического алгоритма альтернативных способов подготовки железородной шихты к спеканию на основе морфологического анализа	43
2.2. Анализ структурно-технологической схемы и совместимость элементов способов подготовки шихты к спеканию с заданными технологическими условиями.....	53
3. ОРГАНИЗАЦИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ, СТРУКТУРНО СОДЕРЖАЩЕГО ПРИНУДИТЕЛЬНОЕ ЗАРОДЫШЕОБРАЗОВАНИЕ СПОСОБОМ НАПЫЛЕНИЯ ВЛАЖНОЙ ШИХТЫ НА ДОННЫЙ ГАРНИСАЖ ОКОМКОВАТЕЛЯ.....	61
3.1. Организация технологической схемы и проектирование экспериментальной установки для получения сырых железородных окатышей, структурно содержащей систему аппаратов для принудительного зародышеобразования.....	61
3.1.1. Общие принципы организации технологической схемы принудительного зародышеобразования влажной шихты напылением ВШС в холостой зоне окомкователя	61
3.1.2. Математическое описание движения зародыша на тарели окомкователя в технологии принудительного зародышеобразования	72
3.1.3. Конструкция экспериментальной установки для получения железородных окатышей, структурно содержащая систему аппаратов для принудительного зародышеобразования	80
3.1.4. Методика экспериментов и определения физических параметров напыленного слоя, зародышей и окатышей	90
3.2. Теплофизическая модель воздушношихтовой струи на участке загрузки шихты в окомкователь и динамика взаимодействия струи со слоем влажных железородных материалов	92

3.2.1. Исследование физических характеристик трехфазной воздушношихтовой струи и ее структурных составляющих	92
3.2.2. Исследование температурных полей воздушношихтовых струй и теплового взаимодействия струи с шихтовыми материалами.....	103
3.2.3. Расчет давления воздушношихтовой струи на шихтовый гарнисаж окомкователя	105
3.2.4. Аэродинамические исследования при взаимодействии струи воздуха с поверхностью ограждения	114
3.3. Организация технологической схемы и исследование режимов напыления влажной шихты воздушношихтовыми струями на шихтовый гарнисаж в холостой зоне тарельчатого окомкователя	120
3.3.1. Исследование механизма напыления влажной шихты на шихтовый гарнисаж окомкователя	120
3.3.2. Исследование геометрических и прочностных параметров напыленного слоя шихты, сформированного на шихтовом гарнисаже окомкователя.....	132
3.3.3. Исследование механизма формирования и уплотнения шихтового гарнисажа и напыленного слоя при загрузке шихты в окомкователь.....	139
3.3.4. Исследование механизма влагоудаления из напыленного слоя шихты на тарельчатом окомкователе	147
3.4. Исследование процесса получения железорудных окатышей способом принудительного зародышеобразования на тарельчатом окомкователе	153
3.4.1. Разработка и исследование теплосиловых режимов принудительного зародышеобразования	153
3.4.2. Перспективные схемы напыления шихты на гарнисаж окомкователя и деления напыленного слоя на зародыши.....	160
3.4.3. Исследование капиллярной пропитки шихтовых зародышей, сформированных по технологии принудительного зародышеобразования.....	166
3.4.4. Исследование процесса получения окатышей комбинированным способом, структурно содержащим принудительное зародышеобразование напылением шихты сжатым воздухом	169
3.4.5. Обоснование оптимальных параметров зародышеобразования и условий увлажнения.....	176
4. ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ, СТРУКТУРНО СОДЕРЖАЩЕГО ОПЕРАЦИЮ НАПЫЛЕНИЯ ВЛАЖНОЙ ШИХТЫ НА КОМКУЮЩИЕСЯ МАТЕРИАЛЫ	182
4.1. Исследование процесса взаимодействия воздушношихтовой струи и слоя влажных окатышей в рабочем пространстве окомкователя	182
4.1.1. Силовое взаимодействие воздушношихтовой струи и ее структурных составляющих со слоем влажных окатышей	182
4.1.2. Особенности взаимодействия струи сжатого воздуха и слоя пересыпающихся влажных окатышей в окомкователе.....	192
4.1.3. Влияние характера реакционной поверхности окомкователя на прочность железорудных окатышей, ускоренных сжатым воздухом.....	198
4.1.4. Измерение скорости окатышей, ускоренных струей сжатого воздуха на тарельчатом окомкователе	203

4.2. Формирование окатышей напылением влажной шихты на слой комкуемых материалов в рабочем пространстве окомкователя	207
4.2.1. Исследование механизма напыления влажной шихты на слой железорудных окатышей.....	207
4.2.2. Исследование технологии напыления влажной шихты на слой железорудных окатышей.....	211
4.2.3. Перспективные схемы напыления шихты на комкующиеся материалы в рабочей зоне окомкователя	222
4.3. Устранение поверхностных дефектов влажных окатышей напылением шихты воздушношихтовыми струями.....	227
4.3.1. Анализ причин образования дефектов и механизм образования трещин на поверхности сырых окатышей.....	227
4.3.2. Устранение дефектов на поверхности сырых окатышей напылением шихты на слой комкуемых материалов.....	231
4.4. Сравнительная оценка термостойкости и кинетики сушки железорудных окатышей, полученных с использованием теплосилового напыления влажной шихты.....	235
5. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ И ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ СУШКИ СПОСОБОМ ПРОДУВКИ СЛОЯ ОКАТЫШЕЙ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫМИ СТРУЯМИ ВОЗДУХА НА УЧАСТКЕ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ СЫРЫХ ОКАТЫШЕЙ К ОБЖИГОВОМУ АГРЕГАТУ	245
5.1. Разработка и анализ технологической схемы продувки низкотемпературными струями воздуха слоя влажных окатышей, движущихся на транспортной ленте	245
5.2. Исследование процесса влагоудаления, моделирующего продувку слоя окатышей низкотемпературными струями воздуха на транспортной ленте.....	250
6. РАЗВИТИЕ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ОБЖИГЕ ОКАТЫШЕЙ НА ОСНОВЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ СПЕКАНИЯ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ	261
6.1. Объект и методика тепловых и dilatометрических исследований при обжиге окатышей.....	261
6.2. Исследование тепловых процессов при обжиге окатышей.....	278
6.3. Разработка теплотехнического режима слоевого обжига окатышей на основе закономерностей процесса спекания дисперсных систем.....	289
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	298
СПИСОК УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ И СОКРАЩЕНИЙ	301
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	303