



**А. А. Веселовский**

# **ПЕРЕРАБОТКА ОТВАЛЬНЫХ НИКЕЛЕВЫХ ШЛАКОВ С ДОИЗВЛЕЧЕНИЕМ МЕТАЛЛОВ**



**«Инфра-Инженерия»**

**А. А. Веселовский**

**ПЕРЕРАБОТКА ОТВАЛЬНЫХ  
НИКЕЛЕВЫХ ШЛАКОВ  
С ДОИЗВЛЕЧЕНИЕМ МЕТАЛЛОВ**

*Учебное пособие*

Москва    Вологда  
«Инфра-Инженерия»  
2020

УДК 669.162.266.44  
ББК 34.33  
В38

***Рецензенты:***

доктор технических наук, профессор кафедры  
пирометаллургических процессов ЮУрГУ *В. Е. Роцин*;  
директор Новотроицкого филиала НИТУ МИСиС  
кандидат технических наук, доцент *А. В. Заводяный*;  
главный металлург ООО ПК «Ходовые системы» *Синицын Е. А.*

**В38**      **Веселовский, А. А.**  
Переработка отвальных никелевых шлаков с доизвлечением металлов : учебное пособие / А. А. Веселовский. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2020. – 152 с. : ил., табл.  
ISBN 978-5-9729-0410-5

Приведены методы комплексной переработки отвальных никельсодержащих шлаков: отделение сульфидов от основной шлаковой массы с последующим восстановлением железа и использование химико-термической обработки.

Для студентов металлургических и машиностроительных специальностей, а также аспирантов, научных работников и производственных специалистов, занимающихся проектированием и переработкой шлакоотходов.

УДК 669.162.266.44  
ББК 34.33

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>5</b>
<b>ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ СПОСОБОВ ПЕРЕРАБОТКИ ОТВАЛЬНЫХ НИКЕЛЬСОДЕРЖАЩИХ ШЛАКОВ .....</b>	<b>7</b>
<b>1.1. Современное состояние проблемы .....</b>	<b>7</b>
<b>1.2. Обзор методов утилизации отвальных никелевых     техногенных образований .....</b>	<b>9</b>
1.2.1. Пирометаллургические методы.....	9
1.2.2. Гидрометаллургические методы .....	15
1.2.3. Химико-термическое извлечение никеля с использованием хлорсодержащих добавок.....	17
<b>1.3. Виды отвальных никелевых шлаков, складированных     в отвалах, их состав и формы нахождения в них цветных     металлов и железа .....</b>	<b>21</b>
<b>1.4. Применение методов термодиффузии процессам извлечения     цветных металлов из отвальных никелевых шлаков .....</b>	<b>29</b>
1.4.1. Объемная диффузия.....	32
1.4.2. Зернограничная диффузия .....	37
1.4.3. Диффузия по вакансиям и дислокациям .....	40
1.4.4. Влияние водорода на диффузионные процессы в металлах....	43
<b>ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ .....</b>	<b>46</b>
<b>2.1. Оборудование и материалы .....</b>	<b>46</b>
<b>2.2. Методика проведения экспериментов пирометаллургической     и химико-термической переработки никелевых шлаков .....</b>	<b>50</b>
2.2.1. Гравитационное разделение металла и шлака выстаиванием при высоких температурах.....	50
2.2.2. Химико-термическая обработка отвальных шлаков с последующим переплавом .....	50
2.2.3. Диффузионная металлизация изделий.....	52
<b>2.3. Методика оценки реакционных процессов в порошковой     шлаковой шихте при нагреве и изотермической выдержке .....</b>	<b>53</b>

<b>ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОТВАЛЬНЫХ НИКЕЛЕВЫХ ШЛАКОВ.....</b>	<b>57</b>
<b>3.1. Исследование химического и фазового составов шлаков.....</b>	<b>58</b>
<b>3.2. Пирометаллургическая переработка шлаков гравитационным     расслоением расплава .....</b>	<b>66</b>
<b>3.3. Термодиффузионное извлечение цветных металлов     из отвальных никелевых шлаков.....</b>	<b>71</b>
3.3.1. Исследование термодиффузионного легирования никелем искусственно созданных в порошковой среде железных подложек осаждения.....	71
3.3.2. Оптимизация параметров насыщения математической обработкой экспериментальных данных .....	82
<b>3.4. Диффузионные никель-кобальтовые покрытия, полученные     насыщением из отвальных конверторных шлаков .....</b>	<b>90</b>
<b>ГЛАВА 4. КИНЕТИКА ТЕРМОДИФфуЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПОКРЫТИЙ .....</b>	<b>97</b>
<b>4.1. Анализ реакционных процессов в порошковой шихте     при нагреве и изотермическом насыщении с использованием     методов компьютерного моделирования .....</b>	<b>97</b>
<b>4.2. Теоретические основы и практическое определение     кинетических параметров термодиффузионного     никелирования из порошковой шлаковой среды .....</b>	<b>114</b>
<b>4.3. Определение времени насыщения с использованием модели     с фронтальным перемещением зоны реакций .....</b>	<b>131</b>
4.3.1. Диффузия реакционного газа через пограничную газовую пленку, образованную вокруг шлаковых частиц.....	132
4.3.2. Диффузия реакционного газа внутрь шлаковой частицы... 134	
4.3.3. Химическое взаимодействие шлака с газовой атмосферой... 136	
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>139</b>
<b>ЛИТЕРАТУРА .....</b>	<b>141</b>