



А. Ф. Дресвянников  
Ж. В. Межевич

# ПОЛУЧЕНИЕ ПОРОШКОВ МЕТАЛЛОВ И ИХ ОКСИДОВ В ЖИДКИХ СРЕДАХ МЕТОДАМИ ОКИСЛЕНИЯ-ВОССТАНОВЛЕНИЯ

**А. Ф. Дресвянников, Ж. В. Межевич**

**ПОЛУЧЕНИЕ ПОРОШКОВ МЕТАЛЛОВ  
И ИХ ОКСИДОВ В ЖИДКИХ СРЕДАХ МЕТОДАМИ  
ОКИСЛЕНИЯ-ВОССТАНОВЛЕНИЯ**

Монография

Москва Вологда  
«Инфра-Инженерия»  
2023

УДК 621.762  
ББК 34.39  
Д73

Рецензенты:

канд. техн. наук *С. Ю. Ситников*;  
канд. хим. наук *А. В. Желовицкая*

**Дресвянников, А. Ф.**

**Д73** Получение порошков металлов и их оксидов в жидких средах методами окисления-восстановления : монография / А. Ф. Дресвянников, Ж. В. Межевич. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. – 148 с. : ил., табл.

ISBN 978-5-9729-1382-4

Рассмотрены основы получения металлических порошков, многокомпонентных порошковых сплавов, оксидов металлов электрохимическими и химическими методами. Продемонстрированы свойства порошков и проанализировано их соответствие современным требованиям к порошковым материалам для практических приложений.

Для научных сотрудников, инженеров, технологов, интересующихся вопросами материаловедения и металловедения. Может быть полезно студентам, обучающимся по направлениям подготовки «Химическая технология» и «Материаловедение», аспирантам, работникам вузов и научных организаций, а также тем, кто занимается вопросами порошковой металлургии, аддитивных технологий.

УДК 621.762  
ББК 34.39

ISBN 978-5-9729-1382-4

© Дресвянников А. Ф., Межевич Ж. В., 2023  
© Издательство «Инфра-Инженерия», 2023  
© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2023

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
1. ПРОИЗВОДСТВО МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ .....	6
1.1. Роль порошковых систем в технике .....	6
1.2. История производства и применения порошков. Общие сведения .....	9
1.3. Восстановление химических соединений металлов .....	14
1.3.1. Хлоридный способ получения порошков железа .....	26
1.4. Восстановление химических соединений металлов из растворов .....	27
1.4.1. Автоклавный способ .....	27
<i>Получение порошков меди</i> .....	28
1.4.2. Получение порошков металлов методом контактного обмена .....	29
1.4.3. Синтез полиметаллических систем .....	32
1.5. Получение порошков электролизом .....	37
1.5.1. Общие положения .....	37
1.5.2. Общие закономерности электролиза .....	39
1.5.3. Условия электролитического получения металлических порошков .....	42
1.5.4. Физико-химические принципы электрокристаллизации дендритных осадков .....	44
1.5.5. Корреляция морфологии и кристаллической структуры металлических порошков, синтезированных электролизом .....	50
1.5.6. Электродные материалы для получения металлических порошков .....	55
1.5.7. Классификация электролитических порошков .....	57
1.6. Технологии порошков металлов .....	58
1.6.1. Электроосаждение на неподвижных твердых электродах .....	58
<i>Электролитическое получение порошков кобальта, никеля, цинка</i> .....	62
<i>Получение медного порошка</i> .....	65
<i>Получение порошков железа</i> .....	71
<i>Получение порошка серебра</i> .....	76
<i>Производство марганца</i> .....	77
<i>Альтернативные методы получения марганца</i> .....	79
1.6.2. Выделение высокодисперсных порошков на жидких металлических катодах .....	80
1.6.3. Осаждение высокодисперсных металлов в двухслойной ванне. Восстановление из раствора через пленку ПАВ .....	82
1.6.4. Высокопроизводительные способы получения металлов в виде порошка .....	85
1.6.5. Получение многокомпонентных порошковых сплавов .....	89

1.6.6. Получение порошков из промышленных растворов и сточных вод металлургических предприятий .....	91
1.6.7. Извлечение критически важных металлов с помощью микробного электролиза .....	92
1.6.8. Получение порошков металлов электролизом на переменном токе ...	94
1.6.9. Получение порошков металлов с помощью направленной межкристаллитной коррозии .....	95
1.7. Получение порошков металлов электролизом расплавов .....	96
1.7.1. Факторы, определяющие процесс электролиза расплавленных солей .....	97
<i>Получение порошка железа</i> .....	99
<i>Получение порошка титана</i> .....	102
1.8. Электрохимический синтез предшественников оксидов металлов .....	105
1.8.1. Получение нанодисперсных порошков оксидов металлов с использованием переменного тока .....	106
1.8.2. Разработка технологических приемов получения гидроксида алюминия из вторичного сырья .....	111
1.8.3. Синтез бинарных оксидов .....	112
<b>2. СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ</b> .....	118
<b>3. СООТВЕТСТВИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОРОШКОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ, ТРЕБОВАНИЯМ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ</b> .....	120
3.1. Материалы аддитивных технологий .....	121
3.2. Требования к порошковым материалам для аддитивных технологий .....	122
3.3. Характеристика материалов, используемых в аддитивных технологиях .....	124
3.4. Дополнительная обработка электролитических порошков для придания им формы и свойств, удовлетворяющих требованиям аддитивных технологий .....	132
3.4.1. Плазменная сфероидизация как процесс улучшения сферичности порошков и их стабилизации .....	132
3.4.2. Стабилизация порошков от окисления .....	135
3.4.3. Финишные процессы аддитивного производства .....	136
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	137