

# ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ЭЛЕКТРОХИМИЯ КАЛЬЦИЯ

Ю.П. Зайков, Н.И. Шуров, А.В. Суздальцев



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК • УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
ИНСТИТУТ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ЭЛЕКТРОХИМИИ

*Ю.П. Зайков, Н.И. Шуров, А.В. Суздальцев*

# ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ЭЛЕКТРОХИМИЯ КАЛЬЦИЯ

ЕКАТЕРИНБУРГ • 2013

УДК 541.1-38-143,544.6  
ББК 24.57  
317

Ответственный редактор  
профессор, доктор химических наук **В.Я. Кудяков**

Рецензент  
профессор, доктор химических наук **В.А. Лебедев**

317 **Зайков Ю.П., Шуров Н.И., Суздальцев А.В.**  
Высокотемпературная электрохимия кальция. – Екатеринбург: РИО  
УрО РАН, 2013. – 200 с.

ISBN 978-5-7691-2350-4

Представлены современные систематизированные данные о физических и химических свойствах кальция, его соединений и сплавов, о физических свойствах солевых расплавов, используемых в электролизном производстве кальция.

Приведены результаты исследований электродных процессов на жидких и твердых катодах и данные о взаимодействии кальция с его расплавленным хлоридом.

Основное внимание уделено развитию технологии электролизного производства кальция, в том числе конструкций электролизеров. Представлены основные результаты внедрения в промышленное производство электролизеров с жидким медным катодом с токовой нагрузкой 15 кА.

Книга рассчитана на специалистов в области физической химии и электрохимии ионных расплавов и заводских технологов.

УДК 541.1-38-143,544.6  
ББК 24.57



ISBN 978-5-7691-2350-4

© РИО УрО РАН, 2013 г.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

---

<b>Предисловие</b> .....	3
<b>Глава 1. Свойства кальция и его неорганических соединений</b> .....	4
1.1. Физические свойства кальция .....	4
1.2. Химические свойства кальция и его неорганических соединений ..	6
1.3. Электрохимический метод получения кальция. История развития ...	16
1.4. Сплавы кальция. Термодинамика, методы получения, свойства и применение .....	20
1.4.1. Сплавы Ca–Pb .....	21
1.4.2. Сплавы Ca–Al .....	36
1.4.3. Сплавы Ca–Cu .....	41
1.4.4. Проблема выбора жидкометаллического катода для электроосаждения кальция из расплавленных солей .....	51
1.5. Техническое применение кальция .....	53
<b>Глава 2. Физико-химические свойства хлорида кальция и расплавов на его основе</b> .....	55
2.1. Свойства безводного хлорида кальция .....	55
2.2. Получение обезвоженного CaCl <sub>2</sub> для электролиза .....	56
2.3. Система CaCl <sub>2</sub> –CaF <sub>2</sub> .....	58
2.4. Система CaCl <sub>2</sub> –KCl .....	60
2.5. Система CaCl <sub>2</sub> –CaO .....	64
2.6. Система CaCl <sub>2</sub> –CaF <sub>2</sub> –CaO .....	67
2.7. Растворимость CaO в смешанных расплавах CaCl <sub>2</sub> –MeCl .....	69
2.8. Растворимость CaO в расплавах хлоридов щелочных металлов и их смесей .....	73
<b>Глава 3. Растворимость кальция в CaCl<sub>2</sub> и расплавленных смесях на его основе</b> .....	76
3.1. Растворимость кальция в собственном хлориде .....	77
3.2. Растворимость кальция в расплаве CaCl <sub>2</sub> –CaO .....	85
3.3. Растворимость кальция в расплавах CaCl <sub>2</sub> –CaF <sub>2</sub> .....	86
3.4. Растворимость кальция в расплавах CaCl <sub>2</sub> –KCl и CaCl <sub>2</sub> –NaCl .....	87
3.5. Форма существования кальция в собственном хлориде .....	88
<b>Глава 4. Электродные процессы, протекающие при получении кальция и его сплавов из хлоридных расплавов</b> .....	92
4.1. Катодные процессы, протекающие на индифферентных электродах ..	92
4.2. Ионизация кислорода на платине в расплаве CaCl <sub>2</sub> .....	98
4.3. Электродные процессы, протекающие при получении сплавов с кальцием .....	102

4.4. Выход по току при получении сплавов .....	107
4.5. Анодные процессы, протекающие при выделении хлора на углеродных электродах .....	113
4.6. Анодные процессы, протекающие на углеродных электродах в расплавах $\text{CaCl}_2\text{--CaO}$ .....	119
4.7. Анодные процессы, протекающие на металлических, оксидных и металл-оксидных электродах .....	121
<b>Глава 5. Новые технологии получения кальция электролизом расплавленного <math>\text{CaCl}_2</math> .....</b>	<b>138</b>
5.1. Влияние примесей на электродные процессы .....	139
5.2. Электродные процессы, протекающие при электрохимическом получении кальция анодным растворением медно-кальциевого сплава .....	146
5.3. Гарнисажный электролизер .....	154
5.4. Электролизер с устройством для извлечения кальция в твердом состоянии .....	156
5.5. Электролизер с устройством для непрерывного извлечения кальция в жидком состоянии .....	162
5.6. Опытный электролизер на 12–15 кА .....	163
5.7. Биполярный электролизер .....	165
<b>Глава 6. Новые области применения растворов <math>\text{Ca--CaCl}_2</math> .....</b>	<b>167</b>
6.1. Применение растворов $\text{Ca--CaCl}_2$ в качестве активных транспортных сред для синтеза порошков и покрытий .....	167
6.2. Использование расплавов $\text{Ca--CaCl}_2$ , $\text{Ba--BaCl}_2$ и их смесей с $\text{NaCl}$ или $\text{KCl}$ для электрохимического восстановления оксидов .....	168
6.2.1. Анализ химических и электрохимических процессов в I группе ..	170
6.2.2. Анализ химических и электрохимических процессов во II группе .....	171
<b>Список литературы .....</b>	<b>176</b>