



«Инфра-Инженерия»



И. Д. КАЩЕЕВ, К. Г. ЗЕМЛЯНОЙ

ТЕХНОЛОГИЯ НЕФОРМОВАННЫХ ОГНЕУПОРОВ

И. Д. Кашеев, К. Г. Земляной

ТЕХНОЛОГИЯ НЕФОРМОВАННЫХ ОГНЕУПОРОВ

Монография

02

Москва Вологда
«Инфра-Инженерия»
2022

УДК 666.76
ББК 35.41
К12

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории стали и ферросплавов ИМЕТ УрО РАН *В. И. Жучков*;
доктор геолого-минералогических наук, профессор по химической технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов, почетный металлург, начальник лаборатории материаловедения ОАО «Динур» *В. А. Перепелицын*

Кащеев, И. Д.

К12 Технология неформованных огнеупоров : монография / И. Д. Кащеев, К. Г. Земляной. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2022. – 424 с. : ил., табл.
ISBN 978-5-9729-0817-2

Рассмотрены важнейшие виды и свойства неформованных огнеупорных материалов, физико-химические основы формирования структуры неформованных огнеупоров и схемы их производства. Освещены вопросы образования и физико-химических превращений огнеупорных материалов. Описана структура этих веществ и её изменение при воздействии высших температур и агрессивных корродиентов в ряде промышленных агрегатов.

Для инженерно-технических работников промышленных предприятий по производству и применению неформованных огнеупорных материалов. Может быть полезно студентам и аспирантам высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Химическая технология тугоплавких неметаллических и силикатных материалов» и «Металлургия».

УДК 666.76
ББК 35.41

ISBN 978-5-9729-0817-2

© Кащеев И. Д., Земляной К. Г., 2022
© Издательство «Инфра-Инженерия», 2022
© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>Предисловие</i>	10
ВВЕДЕНИЕ	11
Литература к разделу Введение	14
ГЛАВА I. СОСТОЯНИЕ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ НЕФОРМОВАННЫХ ОГНЕУПОРОВ	15
Литература к главе I	23
ГЛАВА II. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НЕФОРМОВАННЫХ ОГНЕУПОРОВ	25
2.1. Классификация неформованных огнеупоров	25
2.2. Структура и свойства неформованных огнеупоров	28
2.3. Основные принципы формирования структуры неформованных огнеупоров	34
Литература к главе II	40
ГЛАВА III. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ НЕФОРМОВАННЫХ ОГНЕУПОРОВ	42
3.1. Характеристика порошкообразных материалов	42
3.2. Модели уплотнения и распределения частиц по размерам	44
3.3. Огнеупорные заполнители для неформованных огнеупоров	48
3.4. Матрица неформованных огнеупоров. Классификация	70
3.4.1. Влияние размерного фактора на свойства высокодисперсных порошков	71
3.4.2. Агломерация высокодисперсных порошков	74
3.4.3. Основные компоненты матричной системы	76
3.5. Соотношение матрицы и заполнителя и их совместимость	85
3.6. Волокнистые материалы	87
Литература к главе III	95

ГЛАВА IV. СВЯЗУЮЩИЕ ДЛЯ НЕФОРМОВАННЫХ ОГНЕУПОРОВ.....	99
4.1. Классификация связок	99
4.2. Гидравлические связки	102
4.2.1. Кальций-алюминатные цементы	102
4.2.1.1. Характеристика минеральных фаз высоколгиноземистого клинкера	104
4.2.1.2. Гидратация кальций-алюминатных цементов. Механизм гидратации и твердения	106
4.2.2. Гидратируемый оксид алюминия	108
4.3. Химические связки.....	110
4.3.1. Фосфатные вяжущие.....	110
4.3.1.1. Алюмофосфатные связки	113
4.3.1.2. Алюмохромфосфатная связка.....	114
4.3.1.3. Магний-фосфатные связки.....	116
4.3.1.4. Железофосфатные связки.....	116
4.3.1.5. Глинистофосфатные связки	118
4.3.2. Сульфатно-хлоридные вяжущие	123
4.4. Силикатные вяжущие	124
4.4.1. Связки на основе жидкого стекла.....	124
4.4.2. Высококонцентрированные вяжущие суспензии	126
4.5. Коллоидные связующие	130
4.5.1. Золь-гель процесс.....	130
4.5.2. Коллоидный оксид алюминия	133
Литература к главе IV	135

ГЛАВА V. ОСНОВЫ РЕОЛОГИИ И ВИБРОРЕОЛОГИИ НЕФОРМОВАННЫХ ОГНЕУПОРОВ	139
5.1. Виброреология.....	141
5.2. Реологические модели	144
5.2.1. Реология огнеупорных бетонов.....	147
5.2.1.1. Влияние содержания твердой фазы, дисперсности и зернового распределения	147

5.2.1.2. Дзета-потенциал и дефлокуляция частиц.....	151
Литература к главе V	153
ГЛАВА VI. ПРОЦЕССЫ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ	
НЕФОРМОВАННЫХ ОГНЕУПОРОВ	155
6.1. Торкретирование	155
6.1.1. Способы торкретирования	158
6.1.2. Торкрет-порошки и связки.....	161
6.2. Физико-химические основы торкретирования	163
6.3. Технология торкретирования.....	171
6.3.1. Новые способы торкретирования.....	175
6.3.1.1. Торкретирование по методу «Шоткаст»	175
6.3.1.2. Способ полусухого торкретирования – MIS	176
6.3.1.3. Высокоскоростное пневматическое торкретирование	
«Шоткретинг»	177
6.4. Факельное торкретирование	180
6.5. Высокотемпературная керамическая сварка.....	189
Литература к главе VI.....	191
ГЛАВА VII. ДИСПЕРГЕНТЫ И ПАВ В НЕФОРМОВАННЫХ	
ОГНЕУПОРАХ.....	194
7.1. Определение. Классификация.....	194
7.2. Диспергенты и ПАВ в неформованных огнеупорах	200
7.2.1. Регулирование структуры и реологических свойств	
неформованных огнеупоров	200
7.2.2. Влияние ПАВ и диспергентов на структуру матрицы.....	203
Литература к главе VII.....	208
ГЛАВА VIII. ТЕРМООБРАБОТКА МОНОЛИТНЫХ ФУТЕРОВОК	
ИЗ НЕФОРМОВАННЫХ ОГНЕУПОРОВ	209
8.1. Монолитные футеровки тепловых агрегатов черной металлургии....	209
8.1.1. Футеровка стальнойковша из формованных изделий	210

8.1.2. Монолитная футеровка сталеразливочных ковшей	211
8.2. Сушка и нагрев монолитных футеровок	212
8.2.1. Сушка монолитных футеровок	213
8.2.2. Процессы при одностороннем нагреве футеровки	217
8.2.2.1. Распределение температуры в футеровке	217
8.2.2.2. Фазовые превращения в монолитной футеровке до температуры применения	220
8.2.2.3. Влияние температуры на формирование структуры и свойств монолитных футеровок	222
Литература к главе VIII	229

ГЛАВА IX. ТЕХНОЛОГИИ ОТДЕЛЬНЫХ ВИДОВ

НЕФОРМОВАННЫХ ОГНЕУПОРОВ	232
9.1. Технология огнеупорных бетонов	232
9.1.1. Классификация огнеупорных бетонов	232
9.1.2. Технологическая схема производства	234
9.1.3. Цементные и бescементные огнеупорные бетоны	240
9.1.3.1. Корундовые и алюмосиликатные бетоны	240
9.1.3.2. Саморастекающиеся алюмосиликатные бетоны	248
9.1.3.3. Динасовварцитовые крупные бетонные блоки	250
9.1.3.4. Глиноземистые бетоны на фосфатной связке	252
9.1.3.5. Керамобетоны	253
9.1.3.6. Магнезиальные бетоны	255
9.1.3.7. Технология периклазовых бетонов на связках	260
9.2. Производство торкрет-бетонов	263
9.2.1. На основе периклазового порошка	263
9.2.2. На основе периклазового и оливинового порошков	267
9.3. Торкрет-массы на основе компонентов системы $Al_2O_3 - SiO_2$	267
9.4. Технология огнеупорных растворов и мертелей	268
9.4.1. Мертели для кладки алюмосиликатных изделий	268
9.4.2. Мертели для кладки карбидкремниевых изделий	272

9.5. Монолитные футеровки.....	274
9.5.1. Наливной способ монолитной футеровки.....	276
9.5.1.1. Влияние оксида магния на структуру и свойства монолитной футеровки.....	278
9.5.1.2. Саморастекающийся шпинельсодержащий бетон.....	281
9.5.2. Технология набивных масс.....	283
9.5.2.1. Основные материалы для набивных футеровок.....	286
9.6. Технология стартовых смесей.....	303
9.6.1. Технология получения стартовой смеси с использованием технического углерода и графита.....	304
Литература к главе IX.....	308

ГЛАВА X. УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИЕ НЕФОРМОВАННЫЕ

ОГНЕУПОРЫ.....	312
10.1. Введение.....	312
10.2. Основные углеродсодержащие материалы для производства неформованных огнеупоров.....	313
10.2.1. Природный и синтетический графит.....	313
10.2.2. Коксы и пеки.....	318
10.2.2.1. Каменноугольный пек.....	318
10.2.2.2. Нефтяной пек.....	319
10.2.2.3. Коксы.....	320
10.2.2.4. Сажа (углерод технический).....	321
10.3. Связки для углеродсодержащих неформованных огнеупоров.....	324
10.3.1. Каменноугольная смола.....	325
10.3.2. Каменноугольный и нефтяной пеки.....	325
10.3.2.1. Связующие на основе пека и термореактивных смол.....	327
10.3.3. Синтетические термореактивные связки.....	328
10.3.3.1. Синтез, полимеризация и деструкция синтетических смол при нагревании.....	329

10.4. Технология некоторых видов неформованных углеродсодержащих масс	333
10.4.1. Производство леточных масс	333
10.4.2. Основные требования к леточным массам	334
10.4.3. Производство леточной массы	335
10.4.3.1. Основные сырьевые материалы для производства леточной массы	335
10.4.3.2. Технологический процесс производства безводной леточной массы	338
10.4.4. Производство желобных масс	343
10.4.4.1. Желоба доменных печей	343
10.4.4.2. Огнеупорная футеровка желобов	345
10.4.4.3. Желобные массы	347
10.4.5. Монолитные углеродсодержащие огнеупоры для футеровки стальной	351
10.4.5.1. Защита поверхности графита	353
10.4.5.2. Окисление углерода в бетоне	355
10.4.5.3. Защита углерода при высоких температурах	358
Литература к главе X	363
ГЛАВА XI. РЕЦИКЛИНГ ОГНЕУПОРОВ	366
11.1. Источники сырья	366
11.2. Современные технологии переработки огнеупоров в черной металлургии	370
11.3. Рециклинг огнеупоров в других отраслях промышленности	379
11.3.1. Стекольная промышленность	379
11.3.2. Производство алюминия в России	380
11.4. Свойства и применение продуктов рециклинга	382
11.4.1. Зависимость химического состава от дисперсности и степени очистки	383
Литература к главе XI	390

Приложение 1. Методы контроля качества неформованных материалов	392
I. Методы определения общих свойств огнеупорных материалов	392
1.1. Химический состав огнеупорных материалов	392
1.2. Огнеупорность	393
1.3. Зерновой (дисперсионный) состав	395
1.4. Метод определения истинной плотности	397
II. Методы определения свойств мертельных растворов	399
2.1. Методы определения кладочных свойств мертельных растворов	400
2.2. Методы определения эксплуатационных свойств	404
III. Методы определения свойств огнеупорных бетонов	406
3.1. Определение консистенции бетонной смеси	407
3.2. Определение предела прочности при сжатии	411
3.3. Определение открытой пористости	413
3.4. Температура начала деформации под нагрузкой	413
3.5. Теплопроводность	415
3.6. Определение термической стойкости	418