

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ТОМСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР

Ю.М. МАКСИМОВ, Л.Н. ЧУХЛОМИНА,
Б.Ш. БРАВЕРМАН, Л.А. СМИРНОВ

**САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩИЙСЯ
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ СИНТЕЗ
АЗОТСОДЕРЖАЩИХ СПЛАВОВ
ДЛЯ МЕТАЛЛУРГИИ**



НОВОСИБИРСК
«НАУКА»
2014

УДК 536.46+546.171.1+541.124+546.05+661.762

ББК 3436

М17

Ю.М. Максимов. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез азотсодержащих сплавов для металлургии / Ю.М. Максимов, Л.Н. Чухломина, Б.Ш. Браверман, Л.А. Смирнов. — Новосибирск: Наука, 2014. — 232 с.

ISBN 978-5-02-019173-0.

В монографии представлены результаты исследований, посвященных разработке получения композиционных азотсодержащих сплавов для металлургии методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. Систематизированы и обобщены данные по закономерностям и механизму горения элементарных порошков и ферросплавов в азоте, показана принципиальная возможность азотирования СВС-методом сплавов в условиях вынужденной фильтрации азота. Детально описана опытно-промышленная технология получения в режиме горения азотсодержащих лигатур и применение их в металлургическом производстве, а также в химической и электрохимической отраслях.

Книга предназначена для научных и инженерно-технических работников металлургической, химической промышленности, специалистов в области порошковой металлургии, композиционных материалов, а также аспирантов и студентов химических и металлургических вузов.

Ил. 169. Табл. 34. Библиогр.: 235 назв.

Рецензенты

академик РАН *В.Е. Панин*

член-корреспондент РАН *В.Г. Бамбуров*

доктор физико-математических наук *Н.И. Афанасьев*

доктор физико-математических наук *В.К. Смоляков*

Утверждено к печати Ученым советом

отдела структурной макрокинетики Томского научного центра СО РАН

ISBN 978-5-02-019173-0

© Ю.М. Максимов, Л.Н. Чухломина,
Б.Ш. Браверман, Л.А. Смирнов, 2014
© Томский научный центр СО РАН, 2014
© Редакционно-издательское оформление.
Сибирская издательская фирма «Наука»,
2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК ОСНОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	6
ПРЕДИСЛОВИЕ	7
ГЛАВА 1	
ГОРЕНИЕ МЕТАЛЛОВ (НЕМЕТАЛЛОВ) В АЗОТЕ	10
1.1. Основы самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) и методика его проведения	10
1.2. Фильтрационное горение металлических порошков в азоте	13
1.2.1. Синтез неметаллических нитридов	16
1.2.2. Особенности горения металлических порошков в азоте	21
1.3. Механизм горения ванадия в азоте	27
1.4. Закономерности горения хрома в азоте	29
1.4.1. Горение прессованных образцов	30
1.4.2. Закономерности горения образцов насыпной плотности	35
1.4.3. Особенности роста слоев нитрида хрома	39
1.4.4. Влияние дисперсности порошков на закономерности синтеза	43
1.4.5. Особенности синтеза образцов нитрида хрома большого диаметра	44
1.4.5.1. Поверхностный режим распространения волны синтеза	44
1.4.5.2. Синтез нитрида хрома в реакторе опытно-промышленного типа	46
Библиографический список	49
ГЛАВА 2	
ГОРЕНИЕ СПЛАВОВ В АЗОТЕ	55
2.1. Горение феррованадия в азоте	55
2.1.1. Эффект фазового перехода при взаимодействии феррованадия с азотом	56
2.1.2. Механизм спекания феррованадия в азоте	62
2.2. Горение ферросилиция в азоте	65
2.2.1. Характеристика исходного ферросилиция	65
2.2.2. Влияние основных параметров СВС на степень азотирования продуктов горения и скорость распространения фронта горения	67
2.2.3. Режимы фильтрационного горения ферросилиция в азоте	69
2.2.4. Влияние разбавления исходного сплава предварительно азотированным ферросилицием на процесс горения	72

Содержание

2.2.5. Влияние содержания кремния в сплаве на СВ-синтез нитрида кремния	78
2.2.6. Механизм азотирования ферросилиция	82
2.2.7. Механизм структуро- и фазообразования нитрида кремния при горении ферросилиция в азоте	89
2.3. Азотирование феррониобия в режиме горения	99
2.3.1. Характеристика исходного феррониобия	99
2.3.2. Закономерности горения феррониобия в азоте	100
2.3.3. Фазовый состав продуктов горения феррониобия	105
2.4. Горение ферротитана в азоте	108
2.4.1. Характеристика исходного ферротитана	108
2.4.2. Закономерности азотирования ферротитана	111
2.4.3. Процессы фазообразования нитридов титана при горении ферротитана в азоте	117
2.5. Горение феррохрома в азоте	128
2.5.1. Характеристика исходного феррохрома	129
2.5.2. Азотирование феррохрома с предварительным подогревом	129
2.5.3. Закономерности горения активированного феррохрома в азоте	131
2.5.4. Синтез нитрида хрома при горении феррохрома в азоте	133
2.6. Горение ферробора в азоте	137
2.6.1. Характеристика исходного ферробора	137
2.6.2. Процесс фазообразования нитрида бора	139
2.7. Закономерности горения сплава Cr-Al	144
2.8. Закономерности горения сплавов системы Ti-Cr	147
Библиографический список	150
ГЛАВА 3	
ГОРЕНИЕ СПЛАВОВ В УСЛОВИЯХ ВЫНУЖДЕННОЙ ФИЛЬТРАЦИИ АЗОТА	154
3.1. Теоретические основы СВС с вынужденной фильтрацией активного газа	154
3.1.1. Горение в слутном потоке	157
3.2. Экспериментальное изучение горения металлических порошков в потоке реагирующего газа	158
3.2.1. Закономерности горения смеси Ti + Al ₂ O ₃ в слутном потоке	159
3.2.2. Горение феррованадия в слутном потоке	162
3.2.3. Горение сплава Cr-Al в слутном потоке	166
Библиографический список	168
ГЛАВА 4	
ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ АЗОТСОДЕРЖАЩИХ ЛИГАТУР И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ	171
4.1. Опытная-промышленная технология СВС-азотированных сплавов для металлургии	171
4.2. Производственный опыт применения азотированных ферросплавов для легирования сталей и создания композиционных материалов различного назначения	183

Содержание

4.2.1. Применение азотированных ванадиевых ферросплавов для микролегирования сталей ванадием	183
4.2.2. Применение азотированного методом СВС ферросилиция	188
4.2.3. Азотированный СВС-методом хром и феррохром. Применение нитридов хрома в металлургии	189
4.2.4. Применение нитридов хрома при изготовлении электродов для электроискрового покрытия и сварки	190
4.2.5. Применение нитридов хрома в электротехнике	191
Библиографический список	192

ГЛАВА 5

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ НИТРИДСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ СВС ИЗ ФЕРРОСПЛАВОВ	197
5.1. Продукты СВС-азотирования ферробора и ферросилиция — перспективные катализаторы глубокой деградации органических соединений при очистке сточных вод	197
5.2. Применение СВС-порошков на основе нитрида кремния для изготовления абразивных гранул	205
5.3. Нитридсодержащие порошки для создания пленочных нагревателей	209
5.4. Технология создания нанесенных металлсодержащих катализаторов парциального окисления органических соединений	213
Библиографический список	228