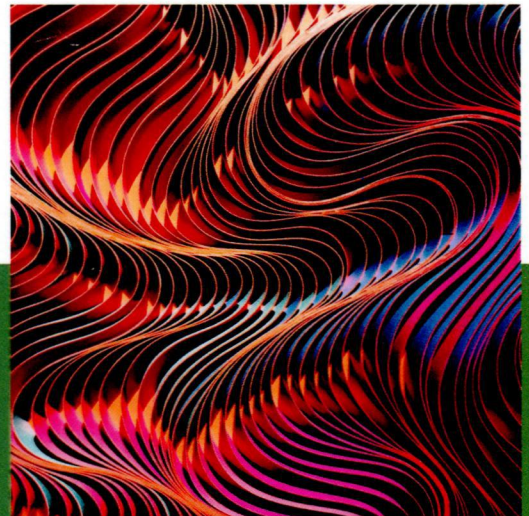


ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ

ОСНОВЫ КИНЕТИКИ И КАТАЛИЗА В ГЕТЕРОГЕННЫХ ПРОЦЕССАХ



Р. А. Козловский
Т. В. Бухаркина
С. В. Вержичинская



E.LANBOOK.COM

**Р. А. КОЗЛОВСКИЙ, Т. В. БУХАРКИНА,
С. В. ВЕРЖИЧИНСКАЯ**

ОСНОВЫ КИНЕТИКИ И КАТАЛИЗА В ГЕТЕРОГЕННЫХ ПРОЦЕССАХ

*Допущено ФУМО в сфере высшего образования
по укрупненной группе специальностей и направлений подготовки
«Химические технологии» в качестве учебного пособия для студентов вузов,
обучающихся по направлению подготовки бакалавров и магистров
«Химическая технология»*



ЛАНЬ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ • МОСКВА • КРАСНОДАР

2024

УДК 726
ББК 85.11я73

К 59 **Козловский Р. А.** Основы кинетики и катализа в гетерогенных процессах : учебное пособие для вузов / Р. А. Козловский, Т. В. Бухаркина, С. В. Вержичинская. — Санкт-Петербург : Лань, 2024. — 188 с. : ил. — Текст : непосредственный.

ISBN 978-5-507-49175-9

В пособии рассмотрены общие сведения о гетерогенно-каталитическом процессе, а также рассмотрены основные теории гетерогенного катализа, способствующие пониманию современных идей механизма катализа на твердых поверхностях с точки зрения электронного и стерического факторов. Значительную часть материала пособия составляет информация о взаимодействии компонентов катализатора друг с другом, обеспечивающем максимальный каталитический эффект. Отличительной особенностью пособия является подробное рассмотрение в одном издании как основных теорий связи химического строения катализаторов с их каталитической эффективностью, так и подходов к созданию математических моделей гетерогенно-каталитических процессов, затрагивающих внешнюю и внутреннюю поверхности катализатора, а также возможности протекания топохимических реакций, с позиций химических превращений вещества и массопереноса. Кроме того, детально рассмотрены сведения о механизмах: влияния промотирующих добавок на каталитический эффект, влияния природы носителя на каталитические свойства нанесенных металлов, дезактивации катализаторов в контексте их последующей регенерации.

Учебное пособие предназначено для бакалавров и магистров, специализирующихся в области гетерогенно-каталитических реакций, а также аспирантов и преподавателей, занимающихся кинетическими исследованиями продуктов и полупродуктов газо- и нефтепереработки.

Данное пособие может быть использовано при чтении таких курсов, как «Физическая химия», «Химическая кинетика», «Катализ в органической химии», «Кинетика гомогенных и гетерогенных процессов», «Теория химико-технологических процессов тонкого органического синтеза», «Основы моделирования процессов основного органического и нефтехимического синтеза», «Кинетика и макрокинетика физико-химических процессов», «Теория химических процессов органического синтеза», «Теория химических процессов технологии природных энергоносителей и углеродных материалов», «Проектирование аппаратов природных энергоносителей и углеродных материалов на основе математических моделей», «Гетерогенный катализ в технологии основного органического синтеза».

УДК 726
ББК 85.11я73

Обложка
П. И. ПОЛЯКОВА

© Издательство «Лань», 2024
© Р. А. Козловский, Т. В. Бухаркина,
С. В. Вержичинская, 2024
© Издательство «Лань», художественное
оформление, 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ОБЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ	
О ГЕТЕРОГЕННО-КАТАЛИТИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ	5
1.1. Подход к математическому описанию скорости гетерогенно-каталитического процесса	6
1.2. Гетерогенный катализ	11
1.2.1. Классификация гетерогенных катализаторов.....	11
1.2.2. Адсорбция	13
1.2.3. Количественное описание адсорбции	15
1.2.4. Кинетическое моделирование гетерогенных процессов	24
1.2.4.1. Применение изотерм адсорбции при кинетическом моделировании гетерогенных реакций.....	25
1.2.4.2. Кинетическое моделирование гетерогенных реакций с использованием принципа стационарности	31
2. ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О МЕХАНИЗМЕ	
ГЕТЕРОГЕННОГО КАТАЛИЗА	33
2.1. Первые теории гетерогенного катализа.....	33
2.1.1. Мультиплетная теория А. А. Баландина.....	33
2.1.2. Теория активных ансамблей Н. Н. Кобозева	35
2.1.3. Теория активной поверхности С. З. Рогинского	36
2.1.4. Электронная теория катализа Ф. Ф. Волькенштейна	36
2.2. Основные структуры хемосорбированных частиц.....	37
2.3. Энергия адсорбции и каталитическая активность металлов.....	42
2.4. Кристаллическое строение и каталитическая активность металлов	53
2.5. Электронный фактор в катализе.....	67
2.5.1. Классификации гетерогенных катализаторов с точки зрения электронного подхода	67
2.5.2. Металлы	70
2.5.3. Полупроводники	87
2.5.4. Изоляторы.....	105
2.5.4.1. Кислотные катализаторы и носители.....	106
2.5.4.2. Основные катализаторы	122
2.5.4.3. Механизмы реакций, протекающих на поверхности кислотно-основных катализаторов.....	124
2.6. Взаимодействие активного компонента с носителем и промоторами.....	132
2.6.1. Нанесенные катализаторы	132
2.6.2. Дисперсность нанесенных металлов	136
2.6.3. Миграция металлов по поверхности	137
2.6.4. Электронное взаимодействие металл — носитель	138

2.6.5. Сильное взаимодействие металл — носитель (СВМН).....	139
2.6.6. Спилловер водорода.....	140
2.6.7. Бифункциональные катализаторы	141
2.6.8. Ситовой эффект	142
2.6.9. Промоторы	142
2.7. Деактивация и регенерация катализаторов	147
2.7.1. Отравление катализаторов.....	149
2.7.1.1. Отравление металлов.....	150
2.7.1.2. Отравление полупроводниковых оксидных катализаторов.....	152
2.7.1.3. Отравление кислотно-основных катализаторов	152
2.7.1.4. Промотирующее отравление катализаторов	152
2.7.2. Отложения на поверхности катализатора	153
2.7.2.1. Причины и механизмы отложений.....	153
2.7.2.2. Способы предотвращения и удаления отложений	155
2.7.3. Источники каталитических ядов и ингибиторов.....	156
2.7.4. Термически инициируемые процессы и спекание	157
2.7.4.1. Фазовые превращения	157
2.7.4.2. Спекание.....	157
2.7.4.3. Унос катализатора газовой (жидкой) фазой.....	158
2.7.5. Обратимая и необратимая деактивация. Способы регенерации катализаторов	159
2.7.5.1. Кинетика деактивации	160
3. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГЕТЕРОГЕННОГО КАТАЛИЗА	163
3.1. Гетерогенно-каталитический процесс на внешней поверхности катализатора.....	163
3.2. Гетерогенно-каталитический процесс в порах катализатора.....	169
3.3. Каталитические гетерогенно-гетерофазные процессы, протекающие в системе «газ — жидкость — твердое тело»	175
3.4. Некаталитические гетерогенные процессы в системе «газ — твердое тело».....	178
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	185
РЕКОМЕНДОВАННЫЙ СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	186