

УДК 669:539.219.3(075.8)  
Д503

Коллектив авторов:  
*Ю. Н. Малютина, И. А. Батаев, Е. А. Ложкина, Д. С. Овдина*

Рецензенты:  
*В. В. Пай, д-р физ.-мат. наук*  
*Д. В. Лазуренко, д-р техн. наук, доцент*

Пособие разработано на кафедре материаловедения  
в машиностроении НГТУ

**Д503 Диффузия в металлах и сплавах. Физические явления, сопровождающие технологические процессы : учебное пособие / Ю. Н. Малютина, И. А. Батаев, Е. А. Ложкина, Д. С. Овдина. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2023. – 96 с.**

ISBN 978-5-7782-5018-5

Учебное пособие предназначено для использования в курсах «Диффузия в металлах и сплавах», «Термодинамика материалов», а также «Теория и технология термической и химико-термической обработки». В пособии описаны физические явления, сопутствующие диффузии, и технологические процессы, реализация которых связана с диффузионными преобразованиями в материалах. Отмечается роль диффузии в таких процессах, как диффузионная сварка и твёрдофазное спекание. Представлена информация о процессах химико-термической обработки. Рассмотрены термодинамика и кинетика процессов окисления металлических материалов. Описаны методы определения коэффициента диффузии. Каждый раздел пособия проиллюстрирован схемами и фотографиями микроструктур, сопровождается примерами решения типичных задач, заданиями для самостоятельной работы студентов, а также списком контрольных вопросов.

Пособие предназначено для студентов механико-технологического факультета НГТУ, обучающихся по направлениям 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов» и 28.03.02 «Наноинженерия».

**УДК 669:539.219.3(075.8)**

**ISBN 978-5-7782-5018-5**

© Коллектив авторов, 2023  
© Новосибирский государственный  
технический университет, 2023

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	4
1. Самодиффузия .....	5
2. Взаимная диффузия .....	8
3. Эффект Киркендалла .....	16
4. Уравнения Даркена .....	18
5. Каналы ускоренной диффузии .....	24
5.1. Диффузия по границам зёрен .....	25
5.2. Диффузия вдоль дислокаций .....	29
6. Переползание дислокаций .....	31
7. Диффузионная ползучесть и зернограничное скольжение .....	34
8. Процессы возврата и рекристаллизации в деформированных металлах .....	42
8.1. Деформированное состояние .....	42
8.2. Возврат .....	43
8.3. Рекристаллизация металлов .....	48
8.4. Рост зёрен .....	51
8.5. Факторы, влияющие на скорость рекристаллизации материалов .....	53
9. Сварка давлением .....	58
10. Твёрдофазное спекание .....	60
11. Химико-термическая обработка .....	62
11.1. Цементация .....	64
11.2. Азотирование .....	70
11.3. Борирование .....	72
11.4. Другие виды химико-термической обработки .....	74
11.5. Диффузионное удаление элементов .....	74
12. Окисление металлов в воздушной атмосфере .....	76
12.1. Термодинамика образования оксидных плёнок .....	76
12.2. Сплошность оксидных плёнок .....	79
12.3. Кинетика роста оксидных плёнок .....	81
Контрольные вопросы .....	86
Задачи .....	89
Ответы на задачи .....	92
Библиографический список .....	93