

УДК 621.365.036-83(075.8)  
П 573

Рецензенты:

канд. техн. наук, доцент *В.Ю. Скиба*  
канд. техн. наук, доцент *Н.П. Гаар*

Работа подготовлена на кафедре материаловедения  
в машиностроении для подготовки бакалавров  
по направлению 22.03.01 – Материаловедение и технология  
новых материалов

**Попелюх А.И.**

П 573 Оборудование и автоматизация процессов тепловой обработки: учебное пособие / А.И. Попелюх. – Новосибирск. – Изд-во НГТУ, 2018. – 324 с.

ISBN 978-5-7782-3781-0

Рассмотрены основные вопросы теплообмена в печах, методы расчета термических устройств, проанализированы и изложены основные конструктивно-технологические схемы современного термического оборудования, описаны средства автоматизации процессов тепловой обработки материалов. Предназначено для студентов, обучающихся по направлению «Материаловедение и технология новых материалов».

УДК 621.365.036-83(075.8)

ISBN 978-5-7782-3781-0

© Попелюх А.И., 2018  
© Новосибирский государственный  
технический университет, 2018

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	3
1. Организация процессов тепловой обработки .....	5
1.1. Этапы внедрения новых технологических процессов и функции специалиста по тепловой обработке материалов .....	5
1.2. Организационные формы выполнения процессов тепловой обработки .....	7
1.3. Особенности выполнения термических операций .....	10
1.4. Выбор организационных форм выполнения термических операций .....	11
1.5. Число технологических стадий, выполняемых на одной позиции .....	13
1.6. Синхронизация операций тепловой обработки .....	14
2. Качество и технологичность термически упрочняемых изделий .....	17
2.1. Показатели качества термически упрочняемых изделий .....	17
2.2. Общие показатели технологичности изделий .....	18
2.3. Обеспечение технологичности объемно-упрочняемых изделий .....	20
2.4. Обеспечение технологичности изделий, подвергаемых индук- ционному нагреву .....	21
2.5. Обеспечение технологичности используемых материалов .....	22
3. Расчеты тепловых процессов .....	22
3.1. Особенности печи как объекта управления .....	22
3.2. Основные законы и виды теплообмена .....	24
3.3. Теплопередача при стационарном режиме .....	31
3.4. Теплопередача при нестационарных режимах .....	31
4. Способы определения времени нагрева изделий .....	39
4.1. Методы, основанные на среднестатистических показателях времени нагрева типовых деталей .....	40

4.2. Упрощенные методы, учитывающие важнейшие характеристики детали .....	41
4.3 Точные расчетные методы .....	43
4.4. Расчет времени нагрева термически тонких изделий .....	44
4.5. Расчет времени нагрева термически массивных изделий .....	48
4.6. Определение времени нагрева экспериментально-расчетными методами .....	52
4.7. Определение времени нагрева экспериментальными способами .....	53
4.8. Особенности теплообмена в высокотемпературных печах-ваннах .....	54
5. Допустимая и возможная скорость нагрева .....	55
6. Виды и конструкция термического оборудования .....	57
6.1. Маркировка термического оборудования .....	58
6.2. Печи периодического действия .....	61
6.3. Печи непрерывного действия .....	68
6.4. Печи-ванны .....	75
7. Топливо и устройства для его сжигания .....	78
7.1. Основные характеристики топлива .....	79
7.2. Устройства для сжигания топлива .....	84
8. Материалы, используемые для изготовления термических устройств .....	88
8.1. Огнеупорные материалы .....	88
8.2. Теплоизоляционные материалы .....	98
8.3. Металлические материалы нагревательных элементов .....	102
8.4. Карборундовые огнеупорные изделия .....	105
8.5. Силициды .....	106
8.6. Тугоплавкие карбиды .....	107
8.7. Высокоогнеупорные оксиды .....	107
8.8. Тугоплавкие металлы .....	108
8.9. Жаропрочные и жаростойкие стали и сплавы .....	110
8.10. Огнеупорные изделия на основе углерода .....	111
9. Расчеты термических устройств .....	111
9.1. Уравнение теплового баланса .....	112
9.2. Футеровка термических печей и ее расчет .....	118
10. Нагревательные устройства .....	123
10.1. Классификация нагревательных устройств .....	123
10.2. Трубчатые нагревательные элементы .....	123
10.3. Радиационные трубы .....	126

10.4. Открытые нагревательные элементы .....	128
10.5. Расчет электрических нагревательных элементов .....	130
10.6. Выбор и расчет горелочных устройств .....	136
11. Термическая обработка с индукционным нагревом .....	152
12. Устройства электроконтактного нагрева .....	165
13. Нагрев в электролите .....	166
14. Пламенный нагрев .....	167
15. Плазменный нагрев .....	170
16. Оборудование для обработки холодом (криогенное оборудование) .....	172
17. Дополнительное и вспомогательное оборудование .....	180
17.1. Оборудование для очистки окалины .....	180
17.2. Моечные машины .....	187
17.3. Оборудование для правки изделий .....	188
18. Охлаждающие среды и устройства для охлаждения .....	190
18.1. Классификация охлаждающих сред .....	190
18.2. Водные закалочные среды .....	192
18.3. Охлаждение в водных растворах солей кислот и щелочей .....	194
18.4. Охлаждение в водомасляных эмульсиях .....	196
18.5. Охлаждение в водных растворах полимеров .....	197
18.6. Охлаждающие среды на основе масел .....	198
18.7. Охлаждение в расплавах солей и щелочей .....	202
18.8. Закалка в расплавах легкоплавких металлов .....	203
18.9. Охлаждение в газовых средах .....	204
18.10. Охлаждение во взвешенных средах .....	205
18.11. Основы выбора охлаждающих сред .....	208
18.12. Закалочные баки и машины .....	209
18.13. Расчет закалочных баков .....	213
19. Грузоподъемные и транспортирующие механизмы .....	215
19.1. Универсальные механизмы .....	215
19.2. Специализированные транспортные устройства .....	217
19.3. Выбор подъемно-транспортных механизмов .....	223
20. Автоматическое управление процессами тепловой обработки .....	223
20.1. Элементы систем автоматического управления .....	223
20.2. Принципы автоматического управления .....	225
20.3. Датчики автоматических систем .....	229
20.4. Исполнительные механизмы .....	250

20.5. Методы регулирования температуры в термических печах.....	254
20.6. Автоматические регуляторы температуры .....	265
21. Нормирование термических операций.....	268
22. Оформление технологической документации.....	273
22.1. Виды описания технологического процесса.....	274
22.2. Виды технологических документов .....	275
22.3. Титульный лист .....	278
22.4. Основная надпись на технологических документах .....	278
22.5. Карта эскизов.....	281
22.6. Маршрутная карта.....	283
22.7. Формы и требования к заполнению и оформлению документов на технологические процессы термической обработки (ГОСТ 3.1405–86).....	288
23. Технологическая оснастка. Основы конструирования и выбора .....	293
23.1. Классификация и виды приспособлений .....	293
23.2. Установочные элементы приспособлений.....	295
23.3. Зажимные устройства .....	297
24. Планировка термических участков и цехов .....	302
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	317