

高等学校理工科材料类规划教材



热处理工艺与设备

HEAT TREATMENT TECHNOLOGY AND EQUIPMENT

张立文 / 主编



大连理工大学出版社
Dalian University of Technology Press

第1章 绪论

热处理工艺与设备

HEAT TREATMENT TECHNOLOGY AND EQUIPMENT

主 编 张立文

副主编 张 驰

本书在作者多年从事金属材料热处理工作的基础上,进一步搜集学生案例和了解金属材料热处理工艺与设备,提高解决金属材料热处理领域实际问题的能力,注重应用案例,注重工艺,掌握金属材料热处理过程的理论与工艺,掌握金属材料热处理过程的理论与工艺,能够完成常用金属材料热处理工艺的设计;了解金属材料的化学热处理工艺,掌握常用的金属材料热处理加热设备的结构、特点与用途,能够完成常用金属材料热处理加热设备的选型和应用;掌握常用的金属材料热处理冷却设备的选型和应用。

本书按照课程发展需要,将热处理工艺和热处理设备合二为一,对热处理工艺进行梳理和总结,力求深度和广度,注重提高解决实际问题的能力,同时引入一些热处理工艺发展的新技术、新工艺案例。

第1章介绍金属材料热处理工艺与设备;第2章介绍金属材料热处理工艺与设备;第3章介绍金属材料热处理工艺与设备;第4章介绍金属材料热处理工艺与设备;第5章介绍金属材料热处理工艺与设备;第6章介绍金属材料热处理工艺与设备;第7章介绍金属材料热处理工艺与设备;第8章介绍金属材料热处理工艺与设备。

第3章介绍金属材料热处理工艺与设备;第4章介绍金属材料热处理工艺与设备;第5章介绍金属材料热处理工艺与设备;第6章介绍金属材料热处理工艺与设备;第7章介绍金属材料热处理工艺与设备;第8章介绍金属材料热处理工艺与设备。

第6章介绍金属材料热处理工艺与设备;第7章介绍金属材料热处理工艺与设备;第8章介绍金属材料热处理工艺与设备。

第7章介绍金属材料热处理工艺与设备;第8章介绍金属材料热处理工艺与设备。

第8章介绍金属材料热处理工艺与设备。

图书在版编目(CIP)数据

热处理工艺与设备 / 张立文主编. -- 大连 : 大连理工大学出版社, 2019. 4
ISBN 978-7-5685-1787-4

I. ①热… II. ①张… III. ①热处理—生产工艺—高等学校—教材②热处理设备—高等学校—教材 IV. ①TG156②TG155

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 288956 号

热处理工艺与设备

RECHULI GONGYI YU SHEBEI

大连理工大学出版社出版

地址:大连市软件园路 80 号 邮政编码:116023

发行:0411-84708842 邮购:0411-84708943 传真:0411-84701466

E-mail:dutp@dutp.cn URL:http://dutp.dlut.edu.cn

大连图腾彩色印刷有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

幅面尺寸:185mm×260mm 印张:16 字数:365 千字
2019 年 4 月第 1 版 2019 年 4 月第 1 次印刷

责任编辑:李宏艳 邵青 责任校对:闫诗洋
封面设计:奇景创意

ISBN 978-7-5685-1787-4

定价:39.80 元

本书如有印装质量问题,请与我社发行部联系更换。

前 言

“金属热处理工艺与设备”是金属材料工程专业的必修课。主要学习各种热处理工艺,了解常用的热处理设备,为分析、制定金属热处理工艺和探索新的金属热处理工艺奠定基础,搭建起金属热处理原理和实际金属工零件热处理生产及科研的桥梁,服务于现代制造业的发展。

本课程的任务是在“材料科学基础”“固态相变原理”等先修课的基础上,进一步使学生掌握和了解金属材料的热处理工艺与设备,提高解决金属材料热处理领域实际问题的能力;掌握金属材料热处理过程的加热工艺;掌握金属材料热处理过程的退火与正火工艺;掌握金属材料热处理过程的淬火与回火工艺;能够完成常用金属材料热处理工艺的设计;了解金属材料的化学热处理工艺;掌握常用的金属材料热处理加热设备的结构、特点和用途,能够完成常用金属材料热处理加热设备的选型和应用;掌握常用的金属材料热处理冷却设备的结构、特点和用途,能够完成常用金属材料热处理冷却设备的选型和应用。

本书依据课程发展需要,将热处理工艺和热处理设备合二为一,对知识体系进行了梳理和精炼,力求深度和广度适当,并兼顾应用的实用性,同时引入了近年来热处理行业发展的新技术、新工艺介绍。本书主要内容如下:

- 第 1 章介绍金属热处理工艺及其分类和热处理工艺的发展。
- 第 2 章介绍金属的加热,包括加热介质的类型及特点、确定加热工艺的原则、加热缺陷及预防。
- 第 3 章介绍钢的退火与正火。
- 第 4 章介绍钢的淬火与回火。
- 第 5 章介绍钢的表面淬火,包括感应加热表面淬火、火焰加热表面淬火及其他高能量密度加热表面淬火。
- 第 6 章介绍钢的化学热处理,包括钢的渗碳、钢的渗氮、钢的碳氮共渗与氮碳共渗、钢的渗硼及钢的渗金属等。
- 第 7 章介绍热处理加热设备,包括各种热处理加热炉、热处理感应加热装置、热处理火焰表面加热装置及激光表面热处理装置等。
- 第 8 章介绍热处理冷却设备,包括各种淬火槽、淬火压床和淬火机、喷射式淬火装置及冷处理设备。

在本书编写过程中我们参阅并引用了国内外相关教材、科技著作及论文,在此特向有关作者表示衷心的感谢!

感谢大连理工大学教材建设出版基金项目立项资助。感谢大连理工大学材料科学与工程学院的大力支持和帮助。感谢大连理工大学材料科学与工程学院金属材料工程专业负责人赵杰教授的鼓励和支持。

由于编者水平有限,加上时间紧迫,书中难免有疏漏和错误之处,敬请广大读者批评指正。

编者

2019年4月

本书共分五章,第一章介绍热处理的基本概念、分类、作用及发展概况;第二章介绍钢的热处理工艺;第三章介绍铸铁的热处理工艺;第四章介绍有色金属的热处理工艺;第五章介绍热处理设备。本书可作为高等院校材料科学与工程、金属材料工程、金属材料成型工程、金属材料加工工程、金属材料检测工程、金属材料热处理工程、金属材料表面处理工程、金属材料焊接工程、金属材料涂装工程、金属材料防腐工程、金属材料无损检测工程、金属材料失效分析工程、金属材料失效预防工程、金属材料失效控制工程、金属材料失效修复工程等专业的教材,也可供从事金属材料热处理工作的工程技术人员参考。

目 录

第1章 绪论 /1

1.1 金属热处理工艺及其分类 /1

1.2 金属热处理工艺的发展 /4

1.3 热处理设备简介 /7

第一篇 热处理工艺

第2章 金属的加热 /11

2.1 加热介质的类型及特点 /11

2.2 加热工艺的确定 /12

2.2.1 加热温度的确定 /12

2.2.2 加热速度的确定 /14

2.2.3 加热时间的确定 /15

2.3 加热缺陷及预防 /20

2.3.1 氧化 /20

2.3.2 脱碳 /21

2.3.3 欠热 /22

2.3.4 过热 /22

2.3.5 过烧 /22

复习思考题 /23

第3章 钢的退火与正火 /24

3.1 钢的退火 /24

3.1.1 退火的定义及目的 /24

3.1.2 退火工艺及应用 /25

3.2 钢的正火 /34

3.2.1 正火的定义及目的 /34

3.2.2 正火工艺及应用 /35

3.3 退火、正火后的组织及缺陷 /35

3.3.1 退火、正火后的组织 /35

3.3.2 退火、正火后的缺陷 /36

复习思考题 /36

第4章 钢的淬火与回火 /37

4.1 淬火的定义、目的及分类 /37

4.2 淬火冷却介质 /38

4.2.1 对淬火介质的要求 /38

4.2.2 淬火介质的种类及特性 /38

4.2.3 淬火介质冷却特性的评定方法 /43

4.3 钢的淬透性 /47

4.3.1 淬透性的定义 /47

4.3.2 淬透性的影响因素 /48

4.3.3 淬透性的试验方法 /48

4.3.4 端淬曲线的应用 /51

4.3.5 淬透性的计算 /52

4.4 淬火应力变形和开裂 /53

4.4.1 淬火应力 /53

4.4.2 淬火变形和开裂 /54

4.5 淬火工艺 /56

4.5.1 淬火加热工艺参数的确定 /56

4.5.2 淬火冷却方法 /57

4.6 钢的回火 /60

4.6.1 回火的定义及目的 /60

4.6.2 回火工艺 /61

4.6.3 回火缺陷与预防 /63

4.7 淬火与回火工艺的发展 /64

4.7.1 形变热处理 /64

4.7.2 钢中奥氏体晶粒超细化处理 /67

4.7.3 控制马氏体、贝氏体组织形态的淬火 /67

- 4.7.4 改善钢中第二相分布形态的
强韧化淬火 /68

复习思考题 /70

第5章 钢的表面淬火 /71

- 5.1 表面淬火的定义、目的及分类 /71
- 5.2 表面淬火工艺原理 /72
- 5.2.1 快速加热表面淬火对相变的影响 /72
- 5.2.2 表面淬火后的组织与性能 /73
- 5.3 表面淬火方法 /74
- 5.3.1 感应加热表面淬火 /74
- 5.3.2 火焰加热表面淬火 /82
- 5.3.3 其他高能量密度加热表面
淬火 /82

复习思考题 /86

第6章 钢的化学热处理 /87

- 6.1 化学热处理的定义、目的及分类 /87
- 6.2 化学热处理的基本原理 /87
- 6.2.1 渗剂的分解 /87
- 6.2.2 渗剂的吸收 /88
- 6.2.3 渗剂的扩散 /89
- 6.2.4 加速化学热处理的途径 /91
- 6.3 钢的渗碳 /92
- 6.3.1 渗碳用钢和渗碳介质 /92

- 6.3.2 渗碳工艺 /94
- 6.3.3 渗碳后的热处理 /97
- 6.3.4 渗碳后的质量检验及常见热
处理缺陷 /99

6.4 钢的渗氮 /101

- 6.4.1 渗氮原理 /102
- 6.4.2 渗氮用钢及渗氮前的热
处理 /105
- 6.4.3 渗氮工艺 /106

6.5 钢的碳氮共渗与氮碳共渗 /109

- 6.5.1 钢的碳氮共渗 /109
- 6.5.2 钢的氮碳共渗 /111

6.6 钢的渗硼 /113

- 6.6.1 渗硼原理和渗硼层结构 /114
- 6.6.2 渗硼工艺 /115

6.7 钢的渗金属 /116

- 6.7.1 渗铝 /116
- 6.7.2 渗铬 /117
- 6.7.3 渗钒、铌 /119

6.8 离子轰击化学热处理 /119

- 6.8.1 离子氮化与离子氮碳共渗 /119
- 6.8.2 离子渗碳与离子碳氮共渗 /122

复习思考题 /124

第二篇 热处理设备

第7章 热处理加热设备 /129

- 7.1 热处理设备分类 /129
- 7.2 热处理电阻炉 /138
- 7.2.1 箱式电阻炉 /138
- 7.2.2 台车电阻炉 /141
- 7.2.3 井式电阻炉 /143
- 7.2.4 罩式电阻炉 /147
- 7.3 热处理燃料炉 /148
- 7.3.1 室式热处理燃料炉 /149
- 7.3.2 台车式热处理燃料炉 /151

7.3.4 井式热处理燃料炉 /154

7.4 热处理浴炉 /156

- 7.4.1 热处理浴炉的分类 /156
- 7.4.2 低温浴炉 /160
- 7.4.3 外部电加热中温浴炉 /162
- 7.4.4 插入式电极盐浴炉 /163
- 7.4.5 埋入式电极盐浴炉 /163
- 7.4.6 浴炉的使用、维修及安全
操作 /164

7.5 热处理流态粒子炉 /165

- 7.5.1 基本原理 /165
- 7.5.2 分类 /168
- 7.5.3 流态粒子炉的应用 /171
- 7.6 真空热处理炉 /173
- 7.6.1 真空热处理炉分类 /173
- 7.6.2 外热式真空热处理炉 /173
- 7.6.3 内热式真空热处理炉 /174
- 7.6.4 真空热处理炉实例 /177
- 7.7 连续式热处理炉 /182
- 7.7.1 推杆式连续式热处理炉 /182
- 7.7.2 输送带式连续式热处理炉 /183
- 7.7.3 振底式连续式热处理炉 /186
- 7.7.4 转底式连续式热处理炉 /188
- 7.7.5 滚筒式(鼓形)连续式热处理炉 /189
- 7.8 热处理感应加热装置 /190
- 7.8.1 感应淬火机床分类 /191
- 7.8.2 感应淬火机床的基本结构与
设计原理 /191
- 7.8.3 轴类通用淬火机床 /193
- 7.8.4 轴类淬火机床 /194
- 7.8.5 齿轮淬火机床 /196
- 7.8.6 曲轴淬火机床 /197
- 7.8.7 感应热处理自动生产线 /198
- 7.9 热处理火焰表面加热装置 /198
- 7.9.1 火焰加热器 /199
- 7.9.2 火焰淬火机床 /200
- 7.10 激光表面热处理装置 /202
- 7.10.1 CO₂ 激光器 /202
- 7.10.2 YAG 激光器 /204
- 7.10.3 激光器的选择 /205
- 7.10.4 激光光束的导光和聚焦
系统 /206
- 7.10.5 激光光束处理装置 /206
- 7.10.6 光导纤维传输 /207
- 7.10.7 加工机床 /207
- 7.10.8 激光表面热处理装置实例 /208
- 复习思考题 /210
- 第8章 热处理冷却设备 /211**
- 8.1 淬火冷却设备的作用及其基本
要求 /211
- 8.2 淬火冷却设备的分类 /211
- 8.2.1 按冷却工艺分类 /211
- 8.2.2 按冷却介质分类 /212
- 8.3 淬火槽体的设计 /213
- 8.3.1 淬火槽体的设计内容 /213
- 8.3.2 淬火槽体的结构形式 /213
- 8.4 淬火介质搅拌 /215
- 8.4.1 搅拌的作用 /215
- 8.4.2 搅拌的方法 /215
- 8.4.3 螺旋桨的安装 /217
- 8.4.4 搅拌的速度 /218
- 8.4.5 搅拌器的功率 /218
- 8.5 淬火槽加热装置 /218
- 8.6 淬火介质冷却 /219
- 8.6.1 淬火介质冷却方法 /219
- 8.6.2 淬火介质冷却循环系统的
组成 /222
- 8.7 淬火冷却系统热工计算 /226
- 8.7.1 淬火介质需要量计算 /226
- 8.7.2 冷却器的计算 /227
- 8.8 淬火槽输送机械 /229
- 8.8.1 淬火槽输送机械的作用 /229
- 8.8.2 间隙作业淬火槽提升机械 /229
- 8.8.3 连续作业淬火输送机械 /230
- 8.8.4 升降、转位式淬火机械 /232
- 8.9 冷却过程的控制装置 /233
- 8.9.1 冷却过程的控制参数 /233
- 8.9.2 淬火槽的控制装置 /234
- 8.10 淬火油槽防火 /235
- 8.10.1 油槽发生火灾的原因 /235
- 8.10.2 预防火灾的措施 /235
- 8.11 淬火压床和淬压机 /236
- 8.11.1 淬火压床和淬压机的作用 /236

- 8.11.2 轴类淬火机 /236
- 8.11.3 大型环状零件淬火机 /237
- 8.11.4 齿轮淬火压床 /237
- 8.11.5 板件淬火压床 /238
- 8.11.6 钢板弹簧淬火机 /238
- 8.12 喷射式淬火装置 /239
 - 8.12.1 喷液淬火装置 /239
 - 8.12.2 气体淬火装置 /241
 - 8.12.3 喷雾淬火装置 /242
- 8.13 冷处理设备 /242

- 8.13.1 制冷原理 /242
- 8.13.2 制冷剂 /243
- 8.13.3 常用冷处理装置 /244
- 8.13.4 低温低压箱冷处理装置 /244
- 8.13.5 冷处理负荷和制冷机制

冷量 /245

复习思考题 /246

参考文献 /247

1. 1.1 热处理工艺学 /1.1.1

2. 1.2 热处理工艺学 /1.2.1

3. 1.3 热处理工艺学 /1.3.1

4. 1.4 热处理工艺学 /1.4.1

5. 1.5 热处理工艺学 /1.5.1

6. 1.6 热处理工艺学 /1.6.1

7. 1.7 热处理工艺学 /1.7.1

8. 1.8 热处理工艺学 /1.8.1

9. 1.9 热处理工艺学 /1.9.1

10. 1.10 热处理工艺学 /1.10.1

11. 1.11 热处理工艺学 /1.11.1

12. 1.12 热处理工艺学 /1.12.1

13. 1.13 热处理工艺学 /1.13.1

14. 1.14 热处理工艺学 /1.14.1

15. 1.15 热处理工艺学 /1.15.1

16. 1.16 热处理工艺学 /1.16.1

17. 1.17 热处理工艺学 /1.17.1

18. 1.18 热处理工艺学 /1.18.1

19. 1.19 热处理工艺学 /1.19.1

20. 1.20 热处理工艺学 /1.20.1

21. 1.21 热处理工艺学 /1.21.1

22. 1.22 热处理工艺学 /1.22.1

23. 1.23 热处理工艺学 /1.23.1

24. 1.24 热处理工艺学 /1.24.1

25. 1.25 热处理工艺学 /1.25.1

26. 1.26 热处理工艺学 /1.26.1

27. 1.27 热处理工艺学 /1.27.1

28. 1.28 热处理工艺学 /1.28.1

29. 1.29 热处理工艺学 /1.29.1

30. 1.30 热处理工艺学 /1.30.1

31. 1.31 热处理工艺学 /1.31.1

32. 1.32 热处理工艺学 /1.32.1

33. 1.33 热处理工艺学 /1.33.1

34. 1.34 热处理工艺学 /1.34.1

35. 1.35 热处理工艺学 /1.35.1

36. 1.36 热处理工艺学 /1.36.1

37. 1.37 热处理工艺学 /1.37.1

38. 1.38 热处理工艺学 /1.38.1

39. 1.39 热处理工艺学 /1.39.1

40. 1.40 热处理工艺学 /1.40.1

41. 1.41 热处理工艺学 /1.41.1

42. 1.42 热处理工艺学 /1.42.1

43. 1.43 热处理工艺学 /1.43.1

44. 1.44 热处理工艺学 /1.44.1

45. 1.45 热处理工艺学 /1.45.1

46. 1.46 热处理工艺学 /1.46.1

47. 1.47 热处理工艺学 /1.47.1

48. 1.48 热处理工艺学 /1.48.1

49. 1.49 热处理工艺学 /1.49.1

50. 1.50 热处理工艺学 /1.50.1

51. 1.51 热处理工艺学 /1.51.1

52. 1.52 热处理工艺学 /1.52.1

53. 1.53 热处理工艺学 /1.53.1

54. 1.54 热处理工艺学 /1.54.1

55. 1.55 热处理工艺学 /1.55.1

56. 1.56 热处理工艺学 /1.56.1

57. 1.57 热处理工艺学 /1.57.1

58. 1.58 热处理工艺学 /1.58.1

59. 1.59 热处理工艺学 /1.59.1

60. 1.60 热处理工艺学 /1.60.1

61. 1.61 热处理工艺学 /1.61.1

62. 1.62 热处理工艺学 /1.62.1

63. 1.63 热处理工艺学 /1.63.1

64. 1.64 热处理工艺学 /1.64.1

65. 1.65 热处理工艺学 /1.65.1

66. 1.66 热处理工艺学 /1.66.1

67. 1.67 热处理工艺学 /1.67.1

68. 1.68 热处理工艺学 /1.68.1

69. 1.69 热处理工艺学 /1.69.1

70. 1.70 热处理工艺学 /1.70.1

71. 1.71 热处理工艺学 /1.71.1

72. 1.72 热处理工艺学 /1.72.1

73. 1.73 热处理工艺学 /1.73.1

74. 1.74 热处理工艺学 /1.74.1

75. 1.75 热处理工艺学 /1.75.1

76. 1.76 热处理工艺学 /1.76.1

77. 1.77 热处理工艺学 /1.77.1

78. 1.78 热处理工艺学 /1.78.1

79. 1.79 热处理工艺学 /1.79.1

80. 1.80 热处理工艺学 /1.80.1

81. 1.81 热处理工艺学 /1.81.1

82. 1.82 热处理工艺学 /1.82.1

83. 1.83 热处理工艺学 /1.83.1

84. 1.84 热处理工艺学 /1.84.1

85. 1.85 热处理工艺学 /1.85.1

86. 1.86 热处理工艺学 /1.86.1

87. 1.87 热处理工艺学 /1.87.1

88. 1.88 热处理工艺学 /1.88.1

89. 1.89 热处理工艺学 /1.89.1

90. 1.90 热处理工艺学 /1.90.1

91. 1.91 热处理工艺学 /1.91.1

92. 1.92 热处理工艺学 /1.92.1

93. 1.93 热处理工艺学 /1.93.1

94. 1.94 热处理工艺学 /1.94.1

95. 1.95 热处理工艺学 /1.95.1

96. 1.96 热处理工艺学 /1.96.1

97. 1.97 热处理工艺学 /1.97.1

98. 1.98 热处理工艺学 /1.98.1

99. 1.99 热处理工艺学 /1.99.1

100. 1.100 热处理工艺学 /1.100.1

绪 论

1.1 金属热处理工艺及其分类

在现代制造业中,金属热处理的地位举足轻重。国际工业界公认:金属热处理水平的高低是决定机械制造业先进性的关键因素。热处理的产值只占制造业总产值的1%左右,但高水平的热处理有可能使零件的寿命提高几倍甚至几十倍,从而有可能使整机的附加值增加几倍甚至几十倍。所以热处理界有句老话:“搞好热处理,零件一顶几”,生动地说明了热处理的重要性。

通过加热、保温和冷却的方法使金属和合金内部组织结构发生变化,以获得工件的使用性能所要求的组织结构,这种技术称为金属热处理工艺。研究热处理工艺规律和原理的学科称为金属热处理工艺学。

在前期的课程中,学习了金属热处理原理或固态相变原理,对金属热处理的基本原理有了一定的了解。但仅明白金属热处理原理还不足以进行金属热处理的生产和科研,对具体的金属热处理工艺过程和实现具体金属热处理的设备还需进一步学习和了解。在本课程中,主要学习各种基本的热处理工艺,了解各种常用的热处理设备。为分析、制定金属热处理工艺和探索新的金属热处理工艺奠定基础,搭建起金属热处理原理与实际金属热处理生产和科研的桥梁。

根据国标 GB/T 12603—2005,金属热处理工艺分类按照基础分类和附加分类两个主层次进行划分,每个主层次中还可以进一步细分。

根据工艺总称、工艺类型和工艺名称(按获得的组织状态或渗入元素进行分类)三个层次划分的金属热处理工艺分类及代号见表 1-1。按工艺类型可分为整体热处理、表面热处理和化学热处理三大类。

整体热处理按工艺名称可分为退火、正火、淬火、淬火和回火、调质、稳定化处理等。

表面热处理按工艺名称可分为表面淬火和回火、物理气相沉积、化学气相沉积等。

化学热处理按工艺名称可分为渗碳、碳氮共渗、渗氮、氮碳共渗等。

表 1-1

金属热处理工艺分类及代号

工艺总称	代号	工艺类型	代号	工艺名称	代号	
热处理	5	整体热处理	1	退火	1	
				正火	2	
				淬火	3	
				淬火和回火	4	
				调质	5	
				稳定化处理	6	
				固溶处理;水韧处理	7	
				固溶处理+时效	8	
	表面热处理	2	表面热处理	2	表面淬火和回火	1
					物理气相沉积	2
					化学气相沉积	3
					等离子体增强化学气相沉积	4
					离子注入	5
					渗碳	1
					碳氮共渗	2
					渗氮	3
					氮碳共渗	4
化学热处理	3	化学热处理	3	渗其他非金属	5	
				渗金属	6	
				多元共渗	7	

附加分类是对基础分类中某些工艺的具体条件进行了更加细化的分类。包括实现工艺的加热方式及代号(表 1-2)、退火工艺及代号(表 1-3)、淬火冷却介质和冷却方法及代号(表 1-4)以及化学热处理中渗非金属、渗金属、多元共渗工艺按渗入元素的分类。

表 1-2

加热方式及代号

加热方式	代号	加热方式	代号	加热方式	代号
可控气氛(气体)	1	火焰	5	固体装箱	9
真空	2	激光	6	流态床	10
盐浴(液体)	3	电子束	7	电接触	11
感应	4	等离子体	8		

表 1-3

退火工艺及代号

退火工艺	代号	退火工艺	代号	退火工艺	代号
去应力退火	St	石墨化退火	G	等温退火	I
均匀化退火	H	脱氢处理	D	完全退火	F
再结晶退火	R	球化退火	Sp	不完全退火	P

表 1-4 淬火冷却介质和冷却方法及代号

冷却介质和冷却方法	代号	冷却介质和冷却方法	代号	冷却介质和冷却方法	代号
空气	A	热浴	H	形变淬火	Af
油	D	加压淬火	Pr	气冷淬火	G
水	W	双介质淬火	I	冷处理	C
盐水	B	分级淬火	M		
有机聚合物水溶液	Po	等温淬火	At		

热处理工艺代号按照如下规则编制:基础分类代号采用了3位数字系统,附加分类代号与基础分类代号之间用半字线连接,采用两位数和英文字母做后缀的方法。热处理工艺代号标记规定如图1-1所示。



图 1-1 热处理工艺代号标记规定

常用热处理工艺代号可参见表1-5。

表 1-5 常用热处理工艺代号

工艺	代号	工艺	代号	工艺	代号
热处理	500	形变淬火	513-Af	离子渗碳	531-08
整体热处理	510	气冷淬火	513-G	碳氮共渗	532
可控气氛热处理	500-01	淬火及冷处理	513-C	渗氮	533
真空热处理	500-02	可控气氛加热淬火	513-01	气体渗氮	533-01
盐浴热处理	500-03	真空加热淬火	513-02	液体渗氮	533-03
感应热处理	500-04	盐浴加热淬火	513-03	离子渗氮	533-08
火焰热处理	500-05	感应加热淬火	513-04	流态床渗氮	533-10
激光热处理	500-06	流态床加热淬火	513-10	氮碳共渗	534
电子束热处理	500-07	盐浴加热分级淬火	513-10M	渗其他非金属	535
离子轰击热处理	500-08	盐浴加热盐浴分级淬火	513-10H+M	渗硼	535(B)
流态床热处理	500-10	淬火和回火	514	气体渗硼	535-01(B)
退火	511	调质	515	液体渗硼	535-03(B)
去应力退火	511-St	稳定化处理	516	离子渗硼	535-08(B)
均匀化退火	511-H	固溶处理;水韧化处理	517	固体渗硼	535-09(B)
再结晶退火	511-R	固溶处理+时效	518	渗硅	535(Si)
石墨化退火	511-G	表面热处理	520	渗硫	535(S)
脱氢退火	511-D	表面淬火和回火	521	渗金属	536
球化退火	511-Sp	感应淬火和回火	521-04	渗铝	536(Al)

(续表)

工艺	代号	工艺	代号	工艺	代号
等温退火	511-I	火焰淬火和回火	521-05	渗铬	536(Cr)
完全退火	511-F	激光淬火和回火	521-06	渗锌	536(Zn)
不完全退火	511-P	电子束淬火和回火	521-07	渗钒	536(V)
正火	512	电接触淬火和回火	521-11	多元共渗	537
淬火	513	物理气相沉积	522	硫氮共渗	537(S-N)
空冷淬火	513-A	化学气相沉积	523	氧氮共渗	537(O-N)
油冷淬火	513-O	等离子体增强化学气相沉积	524	铬硼共渗	537(Cr-B)
水冷淬火	513-W	离子注入	525	钒硼共渗	537(V-B)
盐水淬火	513-B	化学热处理	530	铬硅共渗	537(Cr-Si)
有机水溶液淬火	513-Po	渗碳	531	铬铝共渗	537(Cr-Al)
盐浴淬火	513-H	可控气氛渗碳	531-01	硫氮碳共渗	537(S-N-C)
加压淬火	513-Pr	真空渗碳	531-02	氧氮碳共渗	537(O-N-C)
双介质淬火	513-I	盐浴渗碳	531-03	铬铝硅共渗	537(Cr-Al-Si)
分级淬火	513-M	固体渗碳	531-09		
等温淬火	513-At	流态床渗碳	531-10		

热处理贯穿于整个机械加工制造过程,整个机械加工制造过程自始至终都与热处理密切相关。例如,车床主轴箱直齿圆柱齿轮采用 45 钢制造,其机加工和热处理工序如下:下料→锻造→正火→粗加工→调质→精加工(滚齿)→高频淬火→低温回火→拉孔→成品;轴承套圈和钢球等零件采用 GCr15 轴承钢制造,其机加工和热处理工序如下:下料→热锻套圈或热轧钢球→正火→退火(球化退火)→淬火→冷处理→回火→磨削→附加回火→超精加工→成品;高速大马力曲轴采用 35CrMoA 钢制造,其机加工和热处理工序如下:下料→锻造→正火→机加工(去皮)→调质→粗加工→去应力退火→半精加工→去应力退火→精加工(半精磨)→气体渗氮→精磨→成品。

1.2 金属热处理工艺的发展

我国的金属热处理工艺历史悠久,《汉书·王褒传》中记载:“巧冶铸干将之朴,清水淬其锋。”说明当时就有了淬火等工艺,而且达到了很高的技术水平。但古代的热处理技术由于缺乏热处理理论指导,主要靠技师的经验积累,发展缓慢,有些甚至已经失传。

1887 年,奥斯蒙德(Osmond)使用理查德的热电高温计比较精确地测定了钢的临界点温度。以后几年的金相研究又确定了钢中的组织成分,如铁素体、渗碳体和珠光体等。1898 年,罗伯特·奥斯汀(Robert Auston)作出了铁-碳相图。图 1-1 是 Fe-Fe₃C 合金

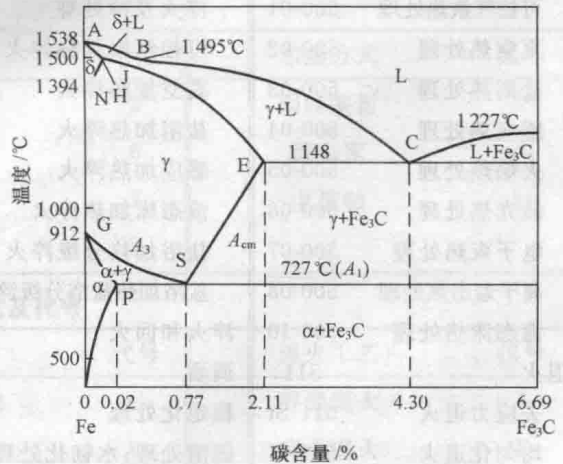


图 1-1 Fe-Fe₃C 合金平衡状态图

平衡状态图。铁-碳相图告诉我们在什么温度范围内要发生什么转变,以及平衡时相的化学成分。但它不能告诉我们在某一温度所发生转变的速度。

1930年,达文鲍尔特(Davenport)和贝茵(Bain)完成了共析钢过冷奥氏体的恒温转变图,即TTT曲线。图1-2是共析钢的TTT曲线。

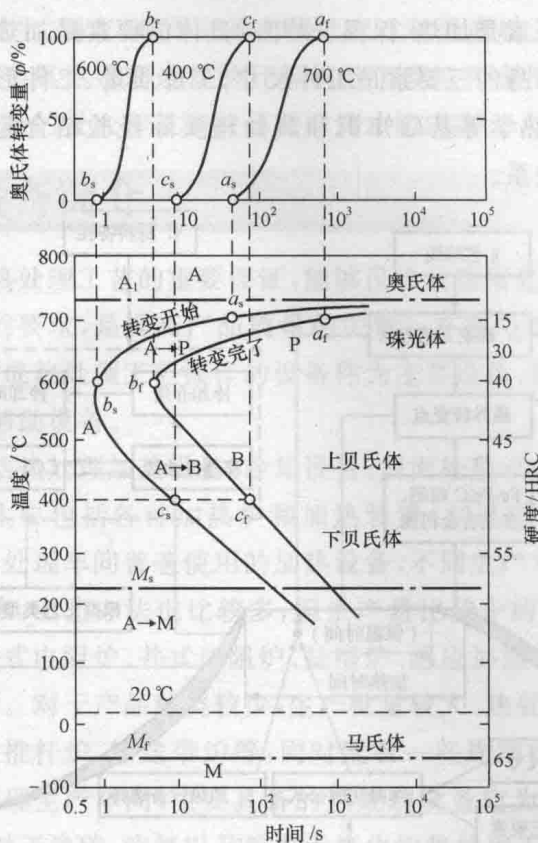


图 1-2 共析钢的 TTT 曲线

以后人们又测定了各种钢过冷奥氏体的连续冷却转变图,即 CCT 曲线。图 1-3 是共析钢的 CCT 曲线。

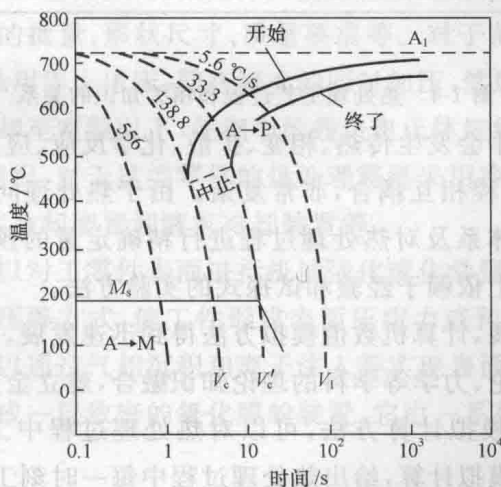


图 1-3 共析钢的 CCT 曲线

铁-碳相图、TTT 曲线和 CCT 曲线是指导金属热处理生产实践的重要理论依据。有了金属热处理理论的指导,金属热处理才成为一门科学,得到了迅猛发展。

热处理工艺的三个要素是加热、保温、冷却。具体的要素是加热速度、保温温度和时间、冷却速度。热处理工件自身的三要素是工件尺寸、工件质量、工件形状。要合理制定热处理工艺需要热处理原理、传热学等基础知识和热处理实际经验结合起来。图 1-4 表示热处理工艺过程和相关知识的关系。

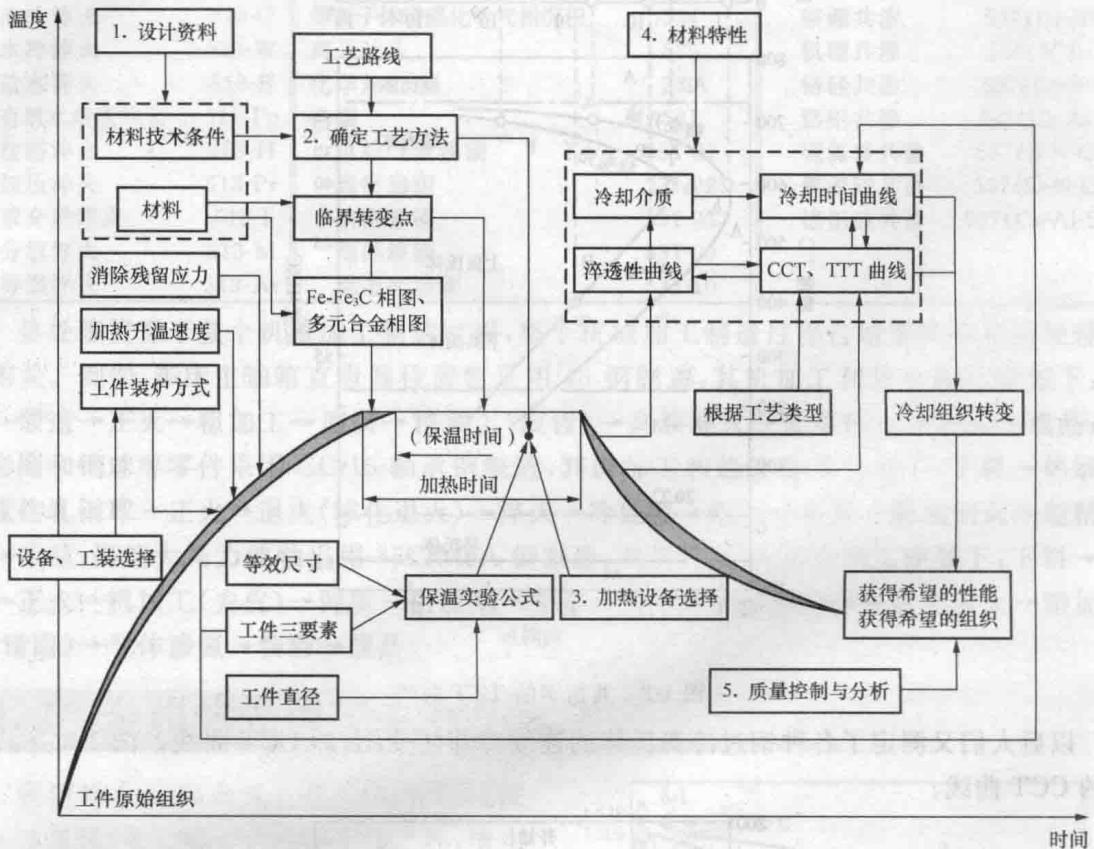


图 1-4 热处理工艺过程和相关知识的关系

在金属的热处理过程中会发生传热、相变、扩散、化学反应、应力和应变等多种物理和化学变化,这些物理和化学过程相互耦合,非常复杂。由于热处理问题的复杂性,很难建立热处理过程精确定量的理论体系及对热处理过程进行精确定量的预测。迄今为止,热处理的生产 and 研究还在很大程度上依赖于经验和试探式的实验方法。

随着计算机科学的发展,计算机数值模拟方法得到迅速发展。有可能将传热学、相变理论、扩散理论、化学反应理论、力学等学科的理论知识融合,建立金属热处理过程的数学物理模型。采用有限元等数值模拟计算方法,可以对热处理过程中工件内部的温度场—组织场—应力场进行耦合数值模拟计算,给出热处理过程中每一时刻工件内部的温度场、组织场和应力场的分布信息,预测热处理后工件内部的组织分布、残余应力分布等,实现虚拟热处理生产。还可以进一步预测热处理工艺结果是否符合组织、性能的要求,进行安全评估等。

利用数值模拟不仅可以对现工艺进行校核,而且可以优化热处理工艺方案和参数,从而使热处理工艺的制定建立在更为可靠的科学基础上。日本的井上达雄、法国的 Denis S.、瑞典的 Ericsson 以及中国的潘健生、刘庄、高守义等在热处理过程温度场、组织场、应力场的数值模拟方面做了许多工作,但金属热处理过程的计算机数值模拟和虚拟热处理生产技术目前还处于初级阶段,还需要大量的投入和长期的研究开发才能成熟。

1.3 热处理设备简介

热处理设备是完成热处理工艺的重要保证,能够设计或选用先进合理的热处理设备,充分满足热处理工艺参数的要求,是提高产品质量的关键。在实际生产车间中使用的热处理设备有很多种,通常把完成热处理工艺操作的设备称为主要设备,把与主要设备配套的和维持生产所需的设备称为辅助设备。

热处理主要设备包括热处理加热设备、冷却设备、表面处理设备及工艺参数检测控制仪表等。热处理加热设备主要包括各种加热炉和加热装置(如感应加热装置、火焰加热装置等)。其中热处理炉是热处理车间普遍使用的加热设备,不同生产车间所配置的加热炉各不相同。对于产品品种较多,工艺方法也比较多,但生产量比较少的车间,一般采用周期作业加热设备,主要炉型有箱式电阻炉、井式电阻炉、盐浴炉、感应加热装置等。如果有大型工件的车间,还要设置台车炉。对于产品种类较少,生产批量较大、热处理工艺种类较少的车间,大多采用连续作业炉,如推杆炉、输送带炉等,同时配有一些周期作业和普通作业炉。对于生产工具、模具类的热处理生产车间,主要具备的热处理设备应为各种浴炉,同时配有一些普通热处理加热设备。对于渗碳、渗氮以及要求无氧化的热处理工件,其车间应具备连续或周期的渗碳炉、渗氮炉和真空炉等。

热处理冷却设备主要包括淬火设备和冷处理设备。其中淬火设备包括各种淬火槽,主要有一般淬火槽、机械化淬火槽,其中机械化淬火槽又包括周期作业和连续作业方式。淬火槽选型取决于所处理产品的批量、形状尺寸、质量要求等。对于薄壁类零件,为了防止在淬火过程中产生变形,一般采用淬火压床,即在淬火的同时加压,然后及时进行回火。

有些淬火工件需要冷却至室温以下,使钢中的残余奥氏体继续转变为马氏体,以进一步提高钢件的硬度,并稳定组织,对于这类零件的热处理需要采用冷处理设备来实现。常用的冷处理设备有冷冻机、干冰冷却装置和液氮冷却装置等。

采用热处理设备还可以对工零件表面进行机械强化或化学强化。表面机械强化装置是利用金属丸抛击或压力辊压等方式,使工件形成表面压应力或预应力状态,包括抛丸机、辊压机等。表面改性装置可以通过气相沉积和离子注入等实现表面改性。表面氧化装置是通过化学反应在工件表面生成一层致密的氧化膜的装置,它由一系列的槽子组成,通常称为发蓝槽或发黑槽。

在热处理工艺执行的过程中,能否准确地控制好热处理工艺温度、时间等,是影响热处理质量的关键,因此需要选择合适的工艺参数检测和控制仪表,以实现温度、流量、压力等参数的检测、指示和控制。随着计算机控制技术的应用,热处理工艺参数控制除常规工艺参数控制外,还包括

