



21 世纪高校规划教材

21SHIJI GAOXIAO GUIHUA JIAOCAI

# 机械制 造工程 训练实践

主编 / 逢启寿 万长标 刘建成 龚志远

JIXIE ZHIZAO GONGCHENG XUNLIAN SHIJIAN 江西高校出版社

1. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2002
2. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 1994
3. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2003
4. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2006
5. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2004
6. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2002
7. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2000
8. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 1999
9. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2006
10. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2004
11. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2002
12. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2000
13. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 1999
14. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2006
15. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2004
16. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2002
17. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2000
18. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 1999
19. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2006
20. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2004
21. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2002
22. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2000
23. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 1999
24. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2006
25. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2004
26. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2002
27. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2000
28. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 1999
29. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2006
30. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2004
31. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2002
32. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2000
33. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 1999
34. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2006
35. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2004
36. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2002
37. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2000
38. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 1999
39. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2006
40. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2004
41. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2002
42. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2000
43. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 1999
44. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2006
45. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2004
46. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2002
47. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2000
48. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 1999
49. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2006
50. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2004
51. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2002
52. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2000
53. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 1999
54. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2006
55. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2004
56. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2002
57. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2000
58. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 1999
59. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2006
60. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2004
61. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2002
62. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2000
63. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 1999
64. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2006
65. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2004
66. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2002
67. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2000
68. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 1999
69. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2006
70. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2004
71. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2002
72. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2000
73. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 1999
74. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2006
75. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2004
76. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2002
77. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2000
78. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 1999
79. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2006
80. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2004
81. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2002
82. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2000
83. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 1999
84. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2006
85. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2004
86. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2002
87. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2000
88. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 1999
89. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2006
90. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2004
91. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2002
92. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2000
93. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 1999
94. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2006
95. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2004
96. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2002
97. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2000
98. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 1999
99. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2006
100. 王德方, 金工实习. 北京: 机械工业出版社, 2004

# 机械制造工程训练实践

主 编 逢启寿 万长标 刘建成 龚志远

副主编 熊 军 康志成 杨 文 罗会铭

|                        |       |
|------------------------|-------|
| 江西高校出版社                | 行发总出  |
| 江西省南昌市洪都大道96号          | 址 挂   |
| 330046                 | 码 编 邮 |
| (0791)8253332, 8204312 | 话 电   |
| www.jhcb.com           | 址 网   |
| 江西教育出版                 | 册 印   |
| 江西洪都印刷有限公司             | 排 照   |
| 各分社地址                  | 册 登   |
| 787mm×1092mm 1/16      | 本 开   |
| 17.25                  | 张 印   |
| 412千字                  | 数 字   |
| 2007年8月第1版             | 次 版   |
| 1-7800册                | 数 印   |
| ISBN 7-309-05701-2     | 号 书   |
| 江西高校出版社                | 价 定   |

图书在版编目(CIP)数据

机械制造工程训练实践/逢启寿等主编. —南昌:江西  
高校出版社, 2007.8

ISBN 978-7-81075-966-3

I. 机... II. 逢... III. 机械制造工艺-实习-  
高等学校-教材 IV. TH16-45

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007) 第 118886 号

主编 逢启寿  
副主编 李会琴 李会琴 李会琴 李会琴 李会琴

|      |                        |
|------|------------------------|
| 出版发行 | 江西高校出版社                |
| 社 址  | 江西省南昌市洪都北大道 96 号       |
| 邮政编码 | 330046                 |
| 电 话  | (0791)8529392,8504319  |
| 网 址  | www.juacp.com          |
| 印 刷  | 江西教育印刷厂                |
| 照 排  | 江西太元科技有限公司照排部          |
| 经 销  | 各地新华书店                 |
| 开 本  | 787mm × 1092mm 1/16    |
| 印 张  | 17.25                  |
| 字 数  | 419 千字                 |
| 版 次  | 2007 年 8 月第 1 版第 1 次印刷 |
| 印 数  | 1 ~ 7800 册             |
| 书 号  | ISBN 978-7-81075-966-3 |
| 定 价  | 27.00 元                |

版权所有 侵权必究

## 本书参编人员(按姓氏笔画为序)

万长标(华东交通大学)

刘建成(景德镇陶瓷学院)

江 毅(景德镇陶瓷学院)

杨 文(江西科技师范学院)

严少卿(江西理工大学)

肖忠跃(井冈山学院)

张 馨(华东交通大学)

陈红江(江西科技师范学院)

罗会铭(江西理工大学)

周太平(井冈山学院)

逢启寿(江西理工大学)

施勋偕(江西理工大学)

柴京富(南昌航空大学)

郭小丽(江西理工大学)

龚志远(华东交通大学)

康志成(井冈山学院)

谢世坤(井冈山学院)

熊 军(江西科技师范学院)

潘玉安(景德镇陶瓷学院)

## 内 容 简 介

本书为机械制造工程训练的实习教材,内容包括金属材料及其热处理、铸造成型、锻造及冲压成型、焊接、切削加工基础及零件加工质量检测技术、车工、铣工与齿形加工、刨工、磨工、钳工与装配、数控加工基础知识、电火花加工、数控线切割加工、数控车削加工、数控铣削加工等,每章均附有思考与练习题。

本书适合于高等院校机械类、近机械类本、专科学生使用。对于非机械类专业,可根据专业特点和教学条件,有针对性地选择其中的实习内容组织教学。本书还可作为有关工程技术人员和技工的自学参考书。

(工学类) 机械类

(工学类) 机械类

(工学类) 机械类

(工学类) 机械类

(工学类) 机械类

(工学类) 机械类

(工学类) 机械类

(工学类) 机械类

(工学类) 机械类

(工学类) 机械类

(工学类) 机械类

(工学类) 机械类

(工学类) 机械类



## 前 言

随着现代工业制造技术的发展,当今社会越来越需要具有扎实的理论知识和较高技能的人才,全国的高等院校均十分注重对学生实践能力的培养。“金工实习”是一门传统实践性的学科基础课,是高等院校工科专业学生进行工程训练、学习工艺知识、培养工程意识、提高综合素质的重要必修课。学生在金工实习过程中通过独立的实践操作,将有关机械制造的基本工艺知识、基本工艺方法和基本工艺实践等有机结合起来,进行工程实践综合能力的训练。也正是因为这门课程的实践性,很多管理类、语言类专业的学生也要修读该门课程。为适应教学改革、专业改造以及不同专业学生的需要,江西高校出版社组织省内部分高等院校专家学者联合编写出《机械制造工程训练实践》一书。

《机械制造工程训练实践》精选传统工艺内容,增加新知识内容,体现教材的系统性和先进性。本书主要有金属材料及其热处理、铸造成型、锻造及冲压成型、焊接、车工、铣工与齿形加工、刨工、磨工、钳工和装配等传统机械制造工程训练的内容,以及数控加工基础知识、电火花加工、数控线切割加工、数控车削加工、数控铣削加工等新设备、新技术、新工艺等实习内容。本书有关内容只作简单介绍,注意与后续课程内容的衔接及防止重复。“授人以鱼,不如授人以渔”,我们建议实习中应提倡启发式、讨论式的教学方法。本教材部分内容可供学生进行自学,以提高学生自学能力和扩大知识面。

本书遵循“拓展基础知识,注重能力训练,立足实际应用,方便演练操作”的原则,结合编者的教学实践经验和金工实习的实际内容,注重与实际结合,选择以高等院校常用的设备为例,介绍传统加工和新设备加工的基本制造技术和工艺,以便牢固掌握基本内容,并且每章均安排了一定数量的思考与练习题,以帮助学生消化、巩固和深化理论教学内容以及进行实际工程训练与实验。

本书适用于高等院校机械类和近机械类专业4~6周“金工实习”教学使用。对非机械类专业,可根据其训练目的、专业特点和后续课程的需要,有针对性地选择其中的实习内容自行组织教学。

由于编者水平有限,时间仓促,难免有不妥和错误之处,恳请使用本书的广大师生、读者提出宝贵意见,以求改进!

编 者  
2007年7月

## 目 录

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 第 1 章 金属材料及其热处理         | 1   |
| 1.1 金属材料的性能             | 1   |
| 1.2 铁碳合金简介及其显微组织观察      | 4   |
| 1.3 金属材料的现场鉴别           | 9   |
| 1.4 钢的热处理               | 12  |
| 思考与练习题                  | 16  |
| 第 2 章 铸造成型              | 18  |
| 2.1 概 述                 | 18  |
| 2.2 砂型铸造工艺              | 20  |
| 2.3 合金的熔炼与浇注            | 27  |
| 2.4 铸件常见缺陷的分析           | 31  |
| 2.5 压力铸造和实型铸造简介         | 35  |
| 思考与练习题                  | 38  |
| 第 3 章 锻造及冲压成型           | 39  |
| 3.1 锻造                  | 39  |
| 3.2 板料冲压                | 48  |
| 思考与练习题                  | 56  |
| 第 4 章 焊接                | 57  |
| 4.1 焊条电弧焊               | 57  |
| 4.2 二氧化碳气体保护焊           | 65  |
| 4.3 手工钨极氩弧焊             | 69  |
| 4.4 气焊与气割               | 73  |
| 思考与练习题                  | 79  |
| 第 5 章 切削加工基础和零件加工质量检验技术 | 81  |
| 5.1 切削加工基础知识            | 81  |
| 5.2 常用量具及其使用方法          | 89  |
| 5.3 零件加工质量及检验方法         | 96  |
| 思考与练习题                  | 101 |
| 第 6 章 车工                | 102 |

|             |                      |            |
|-------------|----------------------|------------|
| 6.1         | 卧式车床 .....           | 103        |
| 6.2         | 车刀的结构、刃磨及其安装 .....   | 106        |
| 6.3         | 车外圆、端面和台阶 .....      | 108        |
| 6.4         | 切槽、切断、车成形面和滚花 .....  | 113        |
| 6.5         | 车圆锥面 .....           | 116        |
| 6.6         | 孔加工 .....            | 117        |
| 6.7         | 车螺纹 .....            | 118        |
| 6.8         | 车床常用附件及其使用方法 .....   | 120        |
| 6.9         | 轴类零件车削工艺 .....       | 123        |
|             | 思考与练习题 .....         | 126        |
| <b>第7章</b>  | <b>铣工与齿形加工 .....</b> | <b>127</b> |
| 7.1         | 铣床 .....             | 128        |
| 7.2         | 铣刀及其安装 .....         | 129        |
| 7.3         | 分度头结构及分度方法 .....     | 130        |
| 7.4         | 工件的安装 .....          | 132        |
| 7.5         | 铣削典型表面 .....         | 132        |
| 7.6         | 齿形加工 .....           | 135        |
|             | 思考与练习题 .....         | 137        |
| <b>第8章</b>  | <b>刨工 .....</b>      | <b>138</b> |
| 8.1         | 牛头刨床 .....           | 138        |
| 8.2         | 刨刀和工件的安装 .....       | 143        |
| 8.3         | 典型表面的刨削 .....        | 147        |
| 8.4         | 刨削类机床简介 .....        | 152        |
|             | 思考与练习题 .....         | 154        |
| <b>第9章</b>  | <b>磨工 .....</b>      | <b>155</b> |
| 9.1         | 砂轮 .....             | 155        |
| 9.2         | 外圆磨床及其磨削工作 .....     | 159        |
| 9.3         | 平面磨床及其磨削工作 .....     | 163        |
|             | 思考与练习题 .....         | 166        |
| <b>第10章</b> | <b>钳工与装配 .....</b>   | <b>168</b> |
| 10.1        | 划线 .....             | 168        |
| 10.2        | 锯削与錾削 .....          | 171        |
| 10.3        | 锉削 .....             | 176        |
| 10.4        | 孔及螺纹加工 .....         | 178        |
| 10.5        | 装配 .....             | 186        |



---

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| 思考与练习题 .....                 | 192        |
| <b>第 11 章 数控加工基础知识 .....</b> | <b>193</b> |
| 11.1 数控加工的基本原理 .....         | 193        |
| 11.2 数控编程 .....              | 196        |
| 思考与练习题 .....                 | 199        |
| <b>第 12 章 电火花加工 .....</b>    | <b>200</b> |
| 12.1 概述 .....                | 200        |
| 12.2 电火花成形加工机床的结构 .....      | 202        |
| 12.3 电火花机床的操作 .....          | 207        |
| 思考与练习题 .....                 | 215        |
| <b>第 13 章 数控线切割加工 .....</b>  | <b>216</b> |
| 13.1 数控线切割加工的原理 .....        | 216        |
| 13.2 数控线切割加工机床 .....         | 218        |
| 13.3 数控线切割的编程方法 .....        | 221        |
| 13.4 电火花数控线切割机床的操作 .....     | 225        |
| 思考与练习题 .....                 | 228        |
| <b>第 14 章 数控车削加工 .....</b>   | <b>229</b> |
| 14.1 数控车床的特点与组成 .....        | 229        |
| 14.2 加工程序的编制 .....           | 232        |
| 14.3 数控车床的操作 .....           | 241        |
| 思考与练习题 .....                 | 247        |
| <b>第 15 章 数控铣削加工 .....</b>   | <b>250</b> |
| 15.1 数控铣削概述 .....            | 250        |
| 15.2 数控铣床基本编程方法 .....        | 252        |
| 15.3 数控铣床的操作 .....           | 254        |
| 思考与练习题 .....                 | 262        |
| <b>主要参考文献 .....</b>          | <b>264</b> |

## 第1章 金属材料及其热处理

由于金属材料在机械制造中起着至关重要的作用,其种类又繁多,使用时需要合理地选用各种型号的材料,在工作的现场往往缺少或者不允许使用贵重的鉴别仪器,因此我们必须学会在现场使用一些简单的方法大致鉴别常用金属材料牌号。

本章主要介绍金属材料 and 热处理的基础知识,以及如何在实际生产中鉴别一些常用的金属材料牌号,为以后的工作和学习奠定必要的基础。

### 1.1 金属材料的性能

金属材料的性能主要有力学性能、物理性能、化学性能以及工艺性能。用来制造机械设备的金属及合金,首先应该具有优良的力学性能和工艺性能。因此,在设计机械零件时,必须首先熟悉金属及合金的性能,才能依据零件的技术要求合理地选用所需的金属材料。

#### 1.1.1 金属材料的力学性能

金属材料的力学性能(又称为机械性能)是指金属材料在外力作用下表现出来的特性,力学性能对金属材料的使用性能和工艺性能有着非常重要的影响。金属材料的力学性能是选材、零件设计的重要依据。

##### 1. 金属材料的强度

强度是指金属材料在外力作用下抵抗塑性变形和断裂的能力,常用的强度指标有屈服点和抗拉强度。

屈服点是指材料在拉伸过程中,载荷不变而试样伸长量却在继续增加时的应力,用  $\sigma_s$  表示,可用下式计算:

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0} \quad (\text{MPa})$$

式中:  $F_s$ ——试样发生屈服时所承受的最大载荷(N);

$A_0$ ——试样的原始截面积( $\text{mm}^2$ )。

对于无明显屈服点的脆性材料,规定当试样产生 0.2% 残余伸长时的应力值作为该材料的条件屈服点,以  $\sigma_{0.2}$  表示。

抗拉强度是指材料在拉断前所能承受的最大应力,用  $\sigma_b$  表示,可用下式计算:

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0} \quad (\text{MPa})$$

式中:  $F_b$ ——试样在拉断前所承受的最大载荷(N)。

屈服点和抗拉强度在选择、评定金属材料以及设计机械零件时具有重要意义。由于机器

零件或构件工作时,通常不允许发生塑性变形,因此多以  $\sigma_s$  作为强度设计的依据;对于脆性材料,因断裂前基本不发生塑性变形,故无屈服点可言,在强度计算时,以  $\sigma_b$  作为强度设计的依据。

## 2. 金属材料的塑性

塑性是指金属材料在外力作用下产生塑性变形而不破坏的能力,常用延伸率( $\delta$ )和断面收缩率( $\psi$ )作为金属材料的塑性指标,延伸率和断面收缩率可用下式计算:

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\% \quad \psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%$$

式中:  $l_0$ ——表示试样的原始长度(mm);

$l_1$ ——表示试样拉断时的长度(mm);

$A_0$ ——表示试样的原始截面积( $\text{mm}^2$ );

$A_1$ ——表示试样断裂处的截面积( $\text{mm}^2$ )。

材料的  $\delta$  和  $\psi$  越大,表示材料的塑性越好,一般将  $\delta > 5\%$  的材料称为塑性材料,而将  $\delta < 5\%$  的材料称为脆性材料。良好的塑性不仅是金属材料进行轧制、锻造、冲压、焊接等的必要条件,而且在使用时材料万一超载,由于产生塑性变形,能够避免断裂突然发生。

## 3. 金属材料的硬度

硬度是指金属材料抵抗局部变形,特别是塑性变形、压痕或划痕的能力。在产品和技术标注中,硬度是一项重要的技术指标。工程上应用得较多的硬度有布氏硬度和洛氏硬度。

(1) 布氏硬度。布氏硬度试验是用一定的载荷  $P$ ,将直径为  $D$  的淬火钢球或硬质合金球,在一定压力作用下,压入被测金属的表面,如图 1.1 所示,保持一定时间后卸去载荷,以载荷与压痕面积的比值作为布氏硬度值,用 HB 表示,其单位是  $\text{kgf/mm}^2$ ,但一般不标出单位,如 230HB。由于载荷  $P$  和钢球直径  $D$  一定,所以一般是先测得压痕直径  $d$ ,根据  $d$  的值查表就可确定材料的布氏硬度值。HB 值愈大,表示材料愈硬。

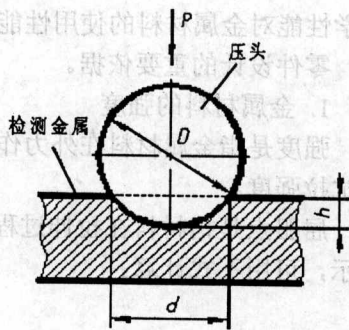


图 1.1 布氏硬度试验原理图

有时为了区别不同压头测出的硬度,将淬火钢球压头测出的硬度标以符号 HBS,而将硬质合金球压头测出的硬度标以符号 HBW。

用布氏硬度试验测量材料的硬度值,因其压痕较大,其测试数据比较准确。但不能测试太薄的试样和硬度较高的材料。

(2) 洛氏硬度。洛氏硬度试验是用一定的载荷将顶角为  $120^\circ$  的金刚石圆锥体或直径为  $1.588\text{mm}$  的淬火钢球压入被测试样表面,然后根据压痕的深度来确定它的硬度值。洛氏硬度值可以从洛氏硬度计刻度盘上直接读出。

用洛氏硬度计可以测量各种软硬不同的材料,这是因为它采用了不同的压头和载荷组成各种不同的洛氏硬度标度,如 HRA、HRB、HRC 等。生产和设计中,一般以 HRC (用  $120^\circ$  金刚石圆锥体作压头,载荷为  $1500\text{N}$ ) 用得最多。



洛氏硬度测试简单、迅速,但其压痕小,可用于成品检验,它的缺点是测得的硬度值重复性较差,这对存有偏析或组织不均匀的被测材料尤为明显,因此测量时可在不同部位测量数次,然后取其平均值。

硬度实验设备简单,测量迅速,不损坏被测零件,同时,硬度和强度之间有一定的换算关系,而强度的测量相对要困难一些,因此,在零件图的技术条件中,通常标出硬度要求。

### 1.1.2 金属材料的物理、化学及工艺性能

#### 1. 金属材料的物理性能

金属材料的物理性能是指密度、熔点、热膨胀性、导热性、导电性和磁性等。由于机器零件的用途不同,对其物理性能的要求也不同。例如,飞机、汽车等交通工具,为了减轻自重,需要采用密度小的材料;熔点高的合金可用来制造耐热零件;制造散热器、热交换器等要选用导热性好的材料;制造电机、无线电元件、电真空器件则需考虑材料的导电性和磁性等。

金属材料的物理性能有时对加工工艺也有一定的影响。例如,高速钢的导热性较差,锻造时应采用低的速度来加热升温,否则容易产生裂纹;而材料的导热性对切削刀具的升温有重大影响。

#### 2. 金属材料的化学性能

金属材料的化学性能主要是指在常温或高温时,金属材料抵抗各种介质侵蚀的能力,如耐酸性、耐碱性、抗氧化性等。

对于在腐蚀介质中或在高温下工作的机器零件,由于比在空气中或室温时的腐蚀更为强烈,故在设计这类零件时应特别注意金属材料的化学性能,并采用化学稳定性良好的合金。如化工设备、医疗用具等常采用不锈钢来制造,而内燃机排气阀和电站设备的一些零件则常选用耐热钢来制造。

#### 3. 金属材料的工艺性能

工艺性能是金属材料物理性能、化学性能和力学性能在加工过程中的综合反映,是指是否易于进行冷、热加工的性能。按工艺方法的不同,可分为铸造性能、锻造性能、焊接性能、热处理性能和切削加工性等。

(1) 铸造性能。铸造性能是指金属在铸造成型过程中,获得外形准确、内部健全铸件的能力,它是铸造成型中重要的工艺性能。铸造性主要包括流动性、收缩性和偏析。流动性是指液态金属充满铸模的能力;收缩性是指铸件凝固时,体积收缩的程度;偏析是指金属在冷却凝固过程中,因结晶先后差异而造成金属内部化学成分和组织的不均匀性。

(2) 锻造性能。锻造性能是指金属在锻造过程中经受塑性变形而不开裂的能力,它包括在热态或冷态下能够进行锤锻、轧制、拉伸和挤压等加工。可锻性的好坏主要与金属材料的化学成分有关。常用塑性和变形抗力两个指标来综合衡量。塑性越好,变形抗力越小,则金属的锻压性能越好;反之,锻压性能差。

(3) 焊接性能。焊接性能是指金属材料在一定的施工条件下焊接成按规定设计要求的构件,并满足预定工作要求的能力。它包括两个方面的内容:一是接合性能,即在一定的焊接工艺条件下,形成焊接缺陷的敏感性;二是使用性能,即在一定的焊接工艺条件下,焊接接头对使用要求的适应性。

(4) 热处理性能。热处理性能是指金属对各种热处理工艺的适应性,主要内容包括淬透



性、淬硬性、回火稳定性以及变形和开裂等。在本章中还会详细介绍。

(5) 切削加工性能。切削加工性能指用刀具对金属进行切削加工时的难易程度。切削加工性好坏常用加工后工件的表面粗糙度、允许的切削速度以及刀具的磨损程度来衡量。它与金属材料的化学成分、力学性能、导热性及加工硬化程度等诸多因素有关,通常用硬度和韧性作为切削加工性好坏的大致判断。一般来说,金属材料的硬度愈高就愈难切削,硬度虽不高但韧性大,切削也较困难。对一般钢材来说,硬度在 230HBS 左右时,切削加工性较好。

## 1.2 铁碳合金简介及其显微组织观察

### 1.2.1 铁碳合金及其分类

碳钢和铸铁是工业中应用范围最广的金属材料,它们都是以铁和碳为基本组元的合金,通常称之为铁碳合金,铁是铁碳合金中的基本成分。

#### 1. 钢及其分类

含碳量为 0.0218%~2.11% 的铁碳合金称为钢,一般将含碳量小于 0.25% 的钢称为低碳钢,含碳量为 0.25%~0.60% 的钢称为中碳钢,含碳量大于 0.60% 的钢称为高碳钢。含碳量大于 2.11% 的铁碳合金称为铸铁。合金钢是为了改善和提高碳素钢的性能或使之获得某些特殊性能,在碳素钢的基础上,特意加入某些合金元素而得到的以铁为基础的多元合金。合金钢的性能比碳素钢更加优良,因此合金钢的用量逐年增大。

(1) 碳素钢。碳素钢(简称碳钢)是以铁和碳为主要组成元素的铁碳合金。碳素钢中常含有硅、锰、硫、磷等杂质成分。由于这类钢容易冶炼、价格低廉、工艺性好,在机械制造业中得到了广泛的应用。

碳素钢可以分为碳素结构钢、优质碳素结构钢和碳素工具钢。现分述如下:

① 碳素结构钢。碳素结构钢的含碳量小于 0.38%,而以含碳量小于 0.25% 的最为常用,即以低碳钢为主。这类钢中,尽管硫、磷等有害杂质的含量较高,但性能上仍能满足一般工程结构、建筑结构以及一般机件的使用要求,价格低廉,在国民经济各个部门中得到了广泛应用。

Q235 是用途最广的碳素结构钢,属于低碳钢,通常热轧成钢板、型钢、钢管、钢筋等。因其铁素体含量多,故其塑性、韧性优良。常用来制造建筑构件、车辆、不重要的轴类、螺钉、螺母、冲压件、锻件和焊接件等。Q235-C、Q235-D 还可用于较重要的焊接结构。

② 优质碳素结构钢。优质碳素结构钢的硫、磷含量较低( $\leq 0.035\%$ ),主要用来制造较为重要的机件。

08、10、15、20、25 等牌号属于低碳钢,其塑性好,易于拉拔、冲压、挤压、锻造和焊接。其中 20 钢用途最广,常用来制造螺钉、螺母、垫圈、冲压件以及焊接件,有时也用于制造渗碳件。

30、35、40、45、50、55 等牌号属于中碳钢,其中以 45 钢最为典型,它不仅强度、硬度较高,且兼有较好的塑性和韧性,即综合性能优良。45 钢在机械结构中用途最广,常用来制造轴、丝杠、齿轮、连杆、套筒、键、重要螺钉和螺母等。

60、65、70、75 等牌号属于高碳钢。它们经过淬火、回火后,不仅强度、硬度提高,且弹性优良,常用来制造小弹簧、发条、钢丝绳、轧辊等。

③碳素工具钢。碳素工具钢的含碳量高达 0.7%~1.35%，大多属于共析和过共析钢，它们淬火后有高的硬度(>60HRC)和良好的耐磨性，常用来制造锻工、木工、钳工工具和小型模具。

碳素工具钢较合金工具钢价格便宜，但淬透性和红硬性差。由于淬透性差，只能在水类淬火介质中才能淬硬，且工件不宜过大和复杂。因耐热性差，淬火后工件的工作温度应小于 250℃，否则硬度将迅速下降。

常用的碳素工具钢为 T8、T10、T10A 和 T12 等牌号。其中，T8 属于共析钢，在上述牌号中韧性最好，多用于制造承受冲击的工具，如錾子、锻工工具等；T10、T10A 硬度较高，且仍有一定韧性，常用来制造钢锯条、小冲模等；T12 硬度最高，耐磨性好，但脆性大，适用于制造不承受冲击的耐磨工具，如钢锉、刮刀等。

(2) 合金钢。合金钢是指在碳素钢中加入一种或数种合金元素的钢。常用的合金元素有 Mn、Si、Cr、Ni、Mo、W、V、Ti 等。合金钢种类繁多，工业上常按合金钢的用途将其分为合金结构钢、合金工具钢、特殊性能钢等。

①合金结构钢。合金结构钢比碳素钢具有更好的力学性能，特别是热处理性能优良，因此便于制造尺寸较大、形状复杂或要求淬火变形小的零件。

合金结构钢的牌号通常是以“数字+元素符号+数字”的方法来表示。牌号中起首的两位数字表示钢的平均含碳量的万分数，元素符号及其后的数字表示所含合金元素及其平均含量的百分数。若合金元素含量小于 1.5%，则不标其含量。高级优质钢在牌号尾部增加符号“A”，如 16Mn、20Cr、40Mn2、30CrMnSi、38CrMoAlA 等。

②合金工具钢。合金工具钢主要用来制造刀具、模具和量具。其合金元素的主要作用是增加钢的淬透性、耐磨性和红硬性。与碳素工具钢相比，它适合制造形状复杂、尺寸较大、切削速度较高或工作温度较高的工具和模具。

9SiCr、9Mn2V 是常用的低合金刀具钢，主要用来制造丝锥、板牙等切削速度不高的工具和小模具。W18Cr4V 是典型的高速工具钢，其合金元素含量甚高。用这种钢制成的钻头、铣刀或拉刀，切削温度高达 600℃，故可采用较高的切削速度进行切削。

③特殊性能钢。它包括不锈钢、耐热钢、耐磨钢等。其中不锈钢在食品、化工、石油、医药工业中得到了广泛的应用。常用不锈钢的牌号有 2Cr13、1Cr18Ni9、10Cr18Ni11Ti 等。

## 2. 铸铁

铸铁是以铁和碳为主的合金，其碳的含量大于 2.11%，此外还含有硅、锰、硫、磷等元素。虽然铸铁中硅、锰、硫、磷等杂质比钢中的含量多，抗拉强度、塑性和韧性不如钢好，但铸铁容易铸造，减震性好，易切削加工，同时铸铁生产方法简单、成本低廉。所以铸铁在工业中仍然得到广泛的应用。

根据碳在铸铁中存在的形式及石墨的形态不同，铸铁分为白口铸铁、灰口铸铁、球墨铸铁、锻铁铸铁、蠕墨铸铁、合金铸铁等。

(1) 白口铸铁。铸铁中的碳以碳化物( $\text{Fe}_3\text{C}$ )的形式存在，断口呈银白色，故称白口铸铁。这是由于铸铁在冷却过程中，冷却速度太快导致碳来不及进行石墨化转变。白口铸铁的性能硬而脆，很难切削加工，很少用来铸造零件。

(2) 灰口铸铁。铸铁中的碳主要以片状石墨形式存在，断口呈灰色，故称灰口铸铁。这种铸铁的硬度和强度较低，但抗震性能好，易切削，它是铸造中用得最多的铸铁，多用于铸

造受力要求不太大的零件, 广泛应用于制作机床床身、手轮、箱体、底座等。

(3) 可锻铸铁。铸铁中的碳以团絮状石墨存在, 这种铸铁有较高的强度和塑性。所谓“可锻铸铁”, 主要是将其与灰口铸铁比较具有较好的塑性和韧性, 实际上并不能锻造, 可用于制作形状复杂、塑性和韧性要求较高、承受冲击和振动、耐蚀的薄壁铸件, 如连杆、凸轮轴、汽车、拖拉机后桥、转向机构等。

根据基体组织的不同, 可锻铸铁可分为铁素体可锻铸铁和珠光体可锻铸铁。

可锻铸铁的牌号由“KT”(“可铁”两字汉语拼音字首)和两组数字或再加字母Z组成。字母Z表示珠光体可锻铸铁。第一组数字表示最低抗拉强度值, 第二组数字表示最低伸长率。可锻铸铁常用的牌号有KT300-06、KT330-08等。

(4) 球墨铸铁。铸铁中的碳以球状石墨存在。这种铸铁的强度较高, 塑性和韧性较好, 用于制造受力复杂、载荷大的零件。

(5) 蠕墨铸铁。蠕墨铸铁中的石墨呈蠕虫状, 短而厚, 端部圆滑, 分布均匀。蠕墨铸铁的性能介于灰口铸铁和球墨铸铁之间, 热疲劳性能好, 主要用来制造柴油机汽缸套、箱体和阀体等。它是一种有发展前景的结构材料。

### 1.2.2 铁碳合金基本组织

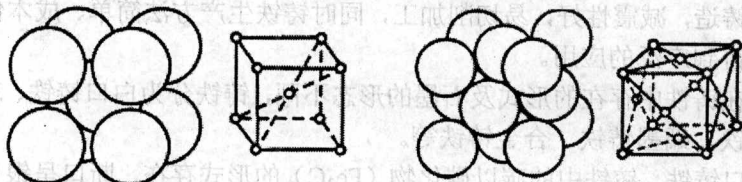
合金是由两种或两种以上金属元素或金属与非金属元素构成具有金属特性的物质。由于合金具有比纯金属更好的机械性能, 以及可以改变合金的成分和进行热处理来调整其机械性能, 因此工业上广泛地使用合金, 而不是纯金属。

组成合金的元素称为组元, 组元可以是元素, 也可以是合金中稳定的化合物(如铁碳合金中的 $\text{Fe}_3\text{C}$ )。铁碳合金的组织结构很复杂, 并随其成分、温度和冷却速度而变化。

为了形象化表示金属的内部结构, 常常用假想直线将各原子中心连接起来, 使之成为一个空间格子。在空间格子中, 每个原子中心所处的点, 称为晶格结点, 每一个结点代表原子的振动中心。这种抽象的、用于描述原子在晶体中排列形式的几何空间格架, 就叫结晶格子, 简称晶格。从晶格内取出一个完全能代表晶格特征的最小几何单元, 这个几何单元就叫晶胞。晶格是由大小、形状和位向相同的晶胞组成的, 是晶胞的重复体。纯铁的晶格有体心立方晶格和面心立方晶格两种。

(1) 体心立方晶格。体心立方晶格的晶胞是一个长、宽、高相等的立方体。在立方体的八个顶角上各有一个原子, 在立方体的中心还有一个原子, 如图1.2(a)所示。

(2) 面心立方晶胞。面心立方晶格的晶胞也是一个立方体, 除在立方体的八个顶角上各有一个原子外, 在立方体六个面的中心还各有一个原子, 如图1.2(b)所示。



(a) 体心立方晶胞

(b) 面心立方晶胞

图 1.2 纯铁的晶体结构

纯铁的同素异晶转变。大多数金属在结晶之后, 直至冷却到室温, 其晶格类型都保持不变。但铁、锡、钛、锰等金属结晶之后, 在不同温度范围内将呈现出不同的晶格。这种随着



温度的改变, 固态金属晶格也随之改变的现象, 称为同素异晶转变。如图 1.3 所示为纯铁的冷却曲线。由图可见, 冷却曲线上有三个水平平台。它的第一个水平平台 (1538℃) 表示纯铁由液态转变成固态的结晶阶段。结晶后铁的晶格是体心立方 (称为  $\delta$ -Fe)。当温度继续下降到水平平台 (1394℃) 时, 发生了同素异晶转变, 铁的晶格由体心立方转变成面心立方 (称为  $\gamma$ -Fe)。当温度继续下降到水平平台 (912℃) 时, 再次发生同素异晶转变, 又转变成体心立方 (称为  $\alpha$ -Fe)。上述的同素异晶转变对钢铁的热处理具有很大的意义, 其中极为重要的转变是:

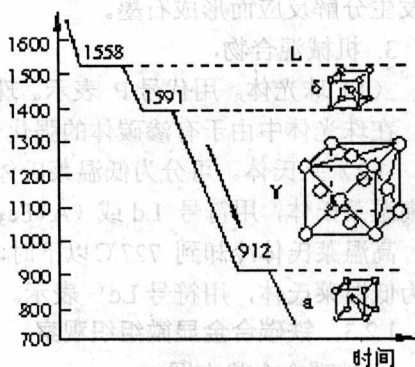
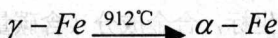


图 1.3 纯铁的同素异晶转变



同素异晶转变是在固态下原子重新排列的过程, 从广义上说也属于结晶过程。因为它也遵循晶核形成与晶核长大的结晶规律, 它的转变也是在一定的过冷度下进行。同时, 也产生结晶热效应。为了区别于由液态转变为固态的初次结晶, 常将同素异晶转变称作二次结晶或重结晶。

在铁碳合金中, 按照铁和碳相互作用形式的不同, 铁碳合金的组织可分为固溶体、金属化合物和机械混合物三种类型。

### 1. 固溶体

合金中, 二组元在液态时相互溶解, 在结晶时一组元的原子保持原有的晶格类型, 另一组元的原子均匀地分布在基体 (我们把合金中保持原有晶格类型的组元叫基体) 晶格里, 这种金属固相叫固溶体。在固溶体中, 保持原有晶格的基体金属称溶剂, 被溶解的组元称为溶质。根据溶质原子在溶剂晶格中的位置不同, 固溶体可分为置换固溶体和间隙固溶体。

形成固溶体后的合金, 因溶质原子的加入而使溶剂晶格发生歪扭 (畸变)。造成晶格畸变的原因是因为溶质原子与溶剂原子半径不同, 从而使原子间的作用力不同。晶体晶格发生畸变后, 使得晶体平面间的相互滑移变得困难, 从而提高合金抵抗塑性变形的能力。因此, 固溶体的强度和硬度比纯金属都高, 这种现象叫固溶强化。固溶强化是提高金属材料机械性能的重要方法之一。

铁碳合金中, 碳既可溶入  $\alpha$ -Fe 和  $\gamma$ -Fe, 形成不同的固溶体, 下面分别加以介绍。

(1) 铁素体。铁素体是碳溶解在  $\alpha$ -Fe 中形成的固溶体, 用代号 F 表示。其强度和硬度低, 塑性和韧性很好, 所以具有铁素体组织多的低碳钢容易进行冷变形、锻造和焊接。

(2) 奥氏体。奥氏体是碳溶解在  $\gamma$ -Fe 中形成的固溶体, 用代号 A 表示。其强度和硬度不高, 塑性优良, 所以钢在奥氏体状态下很容易进行锻造。

### 2. 金属化合物

在铁碳合金中, 化合物有金属化合物和非金属夹杂物, 金属化合物一般具有复杂的晶格, 且与构成化合物的各组元晶格皆不相同, 其性能特征是硬而脆。渗碳体是铁与碳形成的稳定化合物  $\text{Fe}_3\text{C}$ , 其含碳量为 6.69%, 质硬而脆。渗碳体是钢铁中的强化相, 它在一定条件下



可发生分解反应而形成石墨。

### 3. 机械混合物

(1) 珠光体。用代号 P 表示。珠光体是铁素体和渗碳体呈层片状交替排列的机械混合物。在珠光体中由于有渗碳体的强化作用, 因此珠光体有着良好的机械性能。

(2) 莱氏体。可分为低温莱氏体和高温莱氏体, 奥氏体和渗碳体组成的机械混合物称为高温莱氏体, 用符号 Ld 或 (A+Fe<sub>3</sub>C) 表示。高温莱氏体存在于 727℃ 以上, 属于高温组织。高温莱氏体冷却到 727℃ 以下时, 其组织转变成珠光体和渗碳体的混合物 (P+Fe<sub>3</sub>C), 称为低温莱氏体, 用符号 Ld' 表示。

### 1.2.3 铁碳合金显微组织观察

#### 1. 铁碳合金状态图

铁碳合金的结晶过程比纯铁复杂得多, 不同含碳量的铁碳合金其结晶过程差别很大, 铁碳合金的结晶过程可以用铁碳合金状态图来表示。

铁碳合金状态图是以温度为纵坐标, 合金成分 (含碳量) 为横坐标的图形, 如图 1.4 所示。图中横坐标仅标出了含碳量小于 6.69% 部分, 因为含碳量过高的铁碳合金在工业上没有实用价值。由于 Fe<sub>3</sub>C 的含碳量为 6.69%, 是个稳定的化合物, 故可作为合金的一个组元, 因此, 铁碳合金状态图实际上是 Fe—Fe<sub>3</sub>C 状态图, 它是研究不同含碳量的钢和铸铁在不同温度下组织变化规律的重要工具。实际上铁碳合金状态图相当复杂, 为便于初学者使用, 图 1.4 所示的左上角部分已进行了简化, 因为这部分的温度比较高, 并不影响其在工程上的实际应用。

由于铁碳合金的含碳量不同, 其平衡组织的结构和特点也不同, 铁碳合金可分为钢和铸铁两大类。其中钢又可分为亚共析钢 (C<0.77%)、共析钢 (C=0.77%) 和过共析钢 (C>0.77%) 三种; 铸铁又可分为亚共晶白口铁 (C=2.11%~4.3%)、共晶白口铁 (C=4.3%) 和过共晶白口铁 (C=4.3%~6.67%) 三种。铁碳合金的平衡组织如图 1.4 所示。

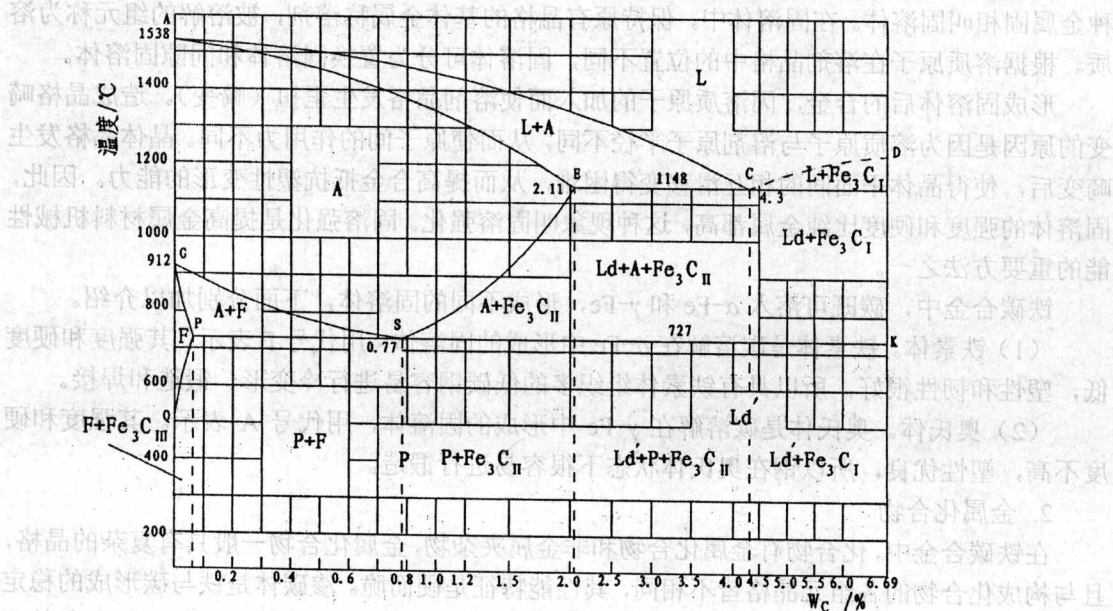


图 1.4 铁碳合金状态图