

高 等 学 校 教 材

机械制造技术 基础实训

姜银方 王宏宇 主编 马伟明 曾艳明 副主编



化学工业出版社

高 等 学 校 教 材

机械制造技术基础实训

姜银方 王宏宇 主 编
马伟明 曾艳明 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书是依据教育部新颁布的“金工实习教学基本要求”，参考了目前国内各高等学校对基础工程训练的教学实践，同时结合长期积累的大量金工实习教学经验编写的。全书分工程材料及成形、切削加工、现代制造技术及综合与创新训练四个模块，共 13 个章节，内容有工程材料及热处理，铸造，锻压，焊接，非金属材料成形，切削加工基础知识，车削加工，铣削、刨削和磨削及其他加工，钳工，数控加工，特种加工，机械加工自动化和创新设计及制作训练。

本教材可作为机类和近机类各专业本科、专科金工实习教材，使用本教材时，可根据各专业的具体情况进行调整。

图书在版编目 (CIP) 数据

机械制造技术基础实训/姜银方，王宏宇主编. —北京：化学工业出版社，2006.11

高等学校教材

ISBN 978-7-5025-9713-9

I. 机… II. ①姜…②王… III. 机械制造工艺-高等学校-教材 IV. TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 144427 号

高等学校教材

机械制造技术基础实训

姜银方 王宏宇 主 编

马伟明 曾艳明 副主编

责任编辑：程树珍 陈 丽

文字编辑：陈 喆

责任校对：王素芹

封面设计：潘 峰

*

化学工业出版社出版发行

(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

购书咨询：(010)64518888

购书传真：(010)64519686

售后服务：(010)64518899

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 16 字数 418 千字

2007 年 1 月第 1 版 2007 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-5025-9713-9

定 价：26.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者，本社发行部负责退换

机械制造技术基础课程学习指导
系列教材编写委员会

主任委员：张永康

副主任委员：任乃飞 许友谊 姜银方

委 员（按汉语拼音排序）：

陈靖芯	陈 炜	崇 凯	戴国红	戴亚春	范 真
樊曙天	冯爱新	戈晓岚	姜银方	李新城	刘会霞
刘新佳	柳秉毅	骆志高	马伟明	毛卫平	乔 斌
王宏宇	王建锋	王维新	王 霄	吴 勃	吴 晶
伍建国	徐红兵	许晓静	许友谊	袁国定	张 洁
张 铮	章志荣	周建忠	朱 莉		
总 主 编：	姜银方	王维新	王 霄	许晓静	

欢迎加入化学工业出版社读者俱乐部

您可以在我们的网站 (www.cip.com.cn) 查询、购买到数千种化学、化工、机械、电气、材料、环境、生物、医药、安全、轻工等专业图书以及各类专业教材, 并可参与专业论坛讨论, 享受专业资讯服务, 享受购书优惠。欢迎您加入我们的读者俱乐部。

两种入会途径 (免费)

- ◇ 登录化学工业出版社网上书店 (www.cip.com.cn) 注册
- ◇ 填写以下会员申请表寄回 (或传真回) 化学工业出版社

四种会员级别

- ◇ 普通会员 ◇ 银卡会员 ◇ 金卡会员 ◇ VIP 会员

化学工业出版社读者俱乐部会员申请表

姓名:	性别:	学历:
邮编:	通讯地址:	
单位名称:	部门:	
您从事的专业领域:		职务:
电话:	E-mail:	

- 您希望出版社给您寄送哪些专业图书信息? (可多选)
☐ 化学 ☐ 化工 ☐ 生物 ☐ 医药 ☐ 环境 ☐ 材料 ☐ 机械 ☐ 电气 ☐ 安全 ☐ 能源 ☐ 农业
☐ 轻工 (食品/印刷/纺织/造纸) ☐ 建筑 ☐ 培训 ☐ 教材 ☐ 科普 ☐ 其他 ()
- 您希望多长时间给您寄一次书目信息?
☐ 每月 1 次 ☐ 每季度 1 次 ☐ 半年 1 次 ☐ 一年 1 次 ☐ 不用寄
- 您希望我们以哪种方式给您寄送书目? ☐ 邮寄纸介质书目 ☐ E-mail 电子书目

此表可复印, 请认真填写后发传真至 **010-64519686**, 或寄信至: 北京市东城区青年湖南街 13 号化学工业出版社发行部 读者俱乐部收 (邮编 100011)

联系方法:

热线电话: 010-64518888; 64518899 电子信箱: hy64518888@126.com

前 言

制造技术基础实训是高等院校众多专业,尤其是工科专业的一个重要的实践性环节。通过本课程的学习,能使学生了解机械制造的一般过程;熟悉典型零件常用加工方法及其所用主要设备的工作原理;了解现代制造技术在机械制造中的应用;在主要工种上应具有独立完成简单零件加工制造的实践能力;对简单零件具有初步选择加工方法和进行工艺分析的能力;通过综合训练,使理论知识和实践融合,并在此基础上进行了创新实践训练,培养学生初步的创新意识和创新设计制作能力。

本书参考了目前国内部分高等学校对基础工程训练的教学要求,同时结合长期积累的大量教学经验以及本科教学水平评估工作的成功实践,为适应全面学分制教与学的要求搭建了一个良好的基础工程训练平台。本书在编写过程中注意与工程材料及机械制造基础课的分工与配合,并注意单工种的工艺分析。全书分工程材料及成形、切削加工、现代制造技术及综合与创新训练四个模块,共13个章节。每个模块的每个章节选取了生产中应用的实例,结合生产实践,以教学要求为基础,以培养实际动手能力为主线,以训练学生的创新意识和创新能力为目标。本书特别加强了“创新设计及制作训练”一章的编写工作,采用大量的实例,从创新思维、创新原理、常用创新技法、创新制作的基础知识、创新训练实施的过程、创新训练实施的内容等方面进行了论述和指导。为了加强学生的自主实践能力,本书还配有《机械制造技术基础实训指导书》。

本书由江苏大学姜银方、王宏宇任主编,马伟明、曾艳明任副主编,参加编写工作的有顾佩兰、许乔宝、贾明权、李美兰、张应龙、王维新、吴勃、叶益民、马鹏飞、李路娜等。全书由姜银方负责统稿和定稿。本书由戈晓岚教授主审。

限于编者的水平和经验,书中难免有不足之处,敬请广大读者批评指正,以便再版时修正和完善。

编者

2006年9月

目 录

1 工程材料及热处理	1	2.3 金属的熔炼、浇注、清理	30
1.1 概述	1	2.3.1 铸铁的熔炼	30
1.2 金属材料	1	2.3.2 铸造铝合金熔炼	32
1.2.1 常用金属材料	2	2.3.3 铸件的浇注、落砂和清理	32
1.2.2 金属材料的性能	4	2.4 特种铸造方法	33
1.3 钢的热处理	4	2.4.1 消失模铸造	33
1.3.1 钢的热处理概述	4	2.4.2 熔模铸造	35
1.3.2 钢的退火和正火	5	2.4.3 金属型铸造	36
1.3.3 钢的淬火和回火	5	2.4.4 压力铸造	37
1.3.4 表面热处理	6	2.4.5 离心铸造	37
1.3.5 金属表面氧化处理	7	2.5 铸造缺陷分析	37
1.3.6 热处理常用设备	7	复习思考题	40
1.3.7 热处理常见缺陷	8	3 锻压	41
1.4 非金属材料	9	3.1 概述	41
1.4.1 高分子材料	9	3.2 金属的加热与锻件的冷却	42
1.4.2 陶瓷材料	10	3.2.1 锻造加热设备	42
1.4.3 复合材料	10	3.2.2 锻造温度范围的确定	43
1.5 工程材料应用举例	11	3.2.3 坯料加热缺陷	43
1.6 典型零件热处理工艺分析	13	3.2.4 锻件冷却	44
1.6.1 热处理技术条件	13	3.2.5 锻后热处理	44
1.6.2 热处理工序位置	13	3.3 自由锻造	44
1.6.3 典型零件的热处理工序 分析	14	3.3.1 自由锻的主要设备	44
复习思考题	15	3.3.2 自由锻的基本工序及其 操作	46
2 铸造	16	3.3.3 自由锻件常见缺陷及产生 原因	49
2.1 概述	16	3.4 模锻	49
2.1.1 铸造工艺特点	16	3.4.1 胎模锻	49
2.1.2 砂型铸造生产过程	17	3.4.2 锤上模锻	50
2.2 造型与制芯	17	3.5 锻件的缺陷分析	51
2.2.1 铸型的组成	17	3.5.1 自由锻件工艺缺陷分析	51
2.2.2 型(芯)砂	17	3.5.2 模锻件的工艺缺陷分析	52
2.2.3 模样	19	3.6 板料冲压	52
2.2.4 手工造型	20	3.6.1 板料冲压	52
2.2.5 机器造型	23	3.6.2 冲压设备及冲模	52
2.2.6 制芯	25	3.6.3 板料冲压的基本工序	53
2.2.7 浇注位置和分型面	27	3.7 其他锻压加工方法	54
2.2.8 浇注系统	29	3.7.1 精密模锻	54
2.2.9 冒口和冷铁	30		

3.7.2 高速锤锻造	55	6.1 概述	84
3.7.3 冷锻	55	6.1.1 切削运动	84
3.7.4 辊锻和楔横轧	55	6.1.2 工件加工的三个表面	85
3.7.5 摆动碾压	55	6.2 切削要素	85
3.7.6 粉末锻造	56	6.2.1 切削用量三要素	86
3.7.7 液态模锻	56	6.2.2 切削层几何参数	86
复习思考题	56	6.3 刀具材料及其几何角度	86
4 焊接	57	6.3.1 刀具材料	87
4.1 概述	57	6.3.2 刀具的几何角度	87
4.2 手工电弧焊	58	6.3.3 车刀的刃磨	89
4.2.1 焊接电弧	58	6.4 零件的加工质量及常用量具	89
4.2.2 手工电弧焊焊接过程	59	6.4.1 加工质量概述	89
4.2.3 电焊条	59	6.4.2 常用量具	91
4.2.4 手工电弧焊设备	60	6.5 机床的组成及编号	94
4.2.5 焊条电弧焊操作技术	61	6.5.1 机床的类型和分类	94
4.2.6 焊条电弧焊工艺	62	6.5.2 机床型号及表示方法	95
4.3 气焊与气割	64	6.5.3 基本机床的结构特点	97
4.3.1 气焊	64	6.6 零件切削加工步骤安排	99
4.3.2 气割	67	复习思考题	101
4.4 其他焊接工艺方法	68	7 车削加工	102
4.4.1 常用电弧焊方法	68	7.1 概述	102
4.4.2 电阻焊	70	7.2 车床	103
4.4.3 电渣焊	71	7.2.1 卧式车床的组成	103
4.4.4 电子束焊	71	7.2.2 车床传动	104
4.4.5 激光焊	71	7.2.3 其他车床	105
4.4.6 钎焊	72	7.3 工件的安装及车床附件	106
4.5 焊接件缺陷分析	73	7.3.1 三爪自定心卡盘	106
4.5.1 焊接缺陷	73	7.3.2 四爪单动卡盘	107
4.5.2 焊接缺陷的预防	76	7.3.3 顶尖、跟刀架及中心架	108
复习思考题	76	7.3.4 心轴	108
5 非金属材料成形	77	7.3.5 花盘及弯板	109
5.1 概述	77	7.4 车刀	110
5.2 工程塑料的成形	77	7.4.1 车刀的种类	110
5.2.1 注射成形	77	7.4.2 车刀的结构形式	110
5.2.2 模压成形	79	7.4.3 车刀的安装	111
5.2.3 挤出成形	79	7.5 车床操作要点	111
5.2.4 压延成形	80	7.5.1 刻度盘及其手柄的使用	112
5.2.5 吹塑成形	80	7.5.2 车削步骤	112
5.3 其他非金属材料的成形	80	7.6 车削工艺	113
5.3.1 橡胶材料的成形	80	7.6.1 车外圆	113
5.3.2 工业陶瓷的成形	81	7.6.2 车端面 and 台阶	114
5.3.3 复合材料成形	82	7.6.3 切槽和切断	116
复习思考题	83	7.6.4 车圆柱孔	117
6 切削加工基础知识	84	7.6.5 车圆锥面	118

7.6.6 车成形面	120	9.4.1 装配的概念	161
7.6.7 车螺纹	121	9.4.2 产品装配的步骤	162
7.6.8 滚花	122	9.4.3 对装配工作的要求	162
7.7 车削综合工艺分析	123	9.4.4 典型连接件装配方法	162
7.7.1 轴类、套类零件的车削	123	9.4.5 拆卸	164
7.7.2 车削综合工艺	124	9.4.6 总装配	164
复习思考题	124	9.5 钳工工艺示例	164
8 铣削、刨削和磨削及其他加工	126	复习思考题	164
8.1 铣削加工	126	10 数控加工	166
8.1.1 概述	126	10.1 数控加工概述	166
8.1.2 铣床及其附件	126	10.1.1 数控机床的组成	166
8.1.3 铣刀及其装夹	130	10.1.2 数控机床的工作过程	167
8.1.4 铣削工艺	131	10.1.3 数控机床的分类	168
8.1.5 铣削综合工艺举例	134	10.2 数控编程	169
8.2 刨削加工	136	10.2.1 数控机床编程的步骤	170
8.2.1 刨削概述	136	10.2.2 数控机床编程的几种 方法	171
8.2.2 刨削机床	136	10.2.3 数控机床坐标系	171
8.2.3 刨刀及刨削的应用	139	10.2.4 数控编程的特征点	173
8.2.4 刨削综合工艺举例	140	10.2.5 程序结构	174
8.3 磨削加工	140	10.2.6 常用编程指令	174
8.3.1 磨削的特点及应用	140	10.3 数控车床	179
8.3.2 砂轮的组成、特性及 选用	141	10.3.1 数控车床的布局 and 结构 特点	179
8.3.3 砂轮的检查、平衡、安装 和修整	141	10.3.2 数控车床的编程	180
8.3.4 磨床的分类及主要功用	142	10.3.3 数控车床编程实例	182
8.3.5 磨削运动与磨削用量	142	10.4 数控铣床	184
8.3.6 磨削方法	143	10.4.1 数控铣床基本构成	184
8.3.7 磨削综合工艺举例	144	10.4.2 数控铣床的编程	185
8.4 镗削、齿形加工方法	144	10.4.3 数控铣床典型加工零件	189
8.4.1 镗削加工	144	10.5 加工中心	190
8.4.2 齿轮齿形加工	145	10.5.1 加工中心特点	190
复习思考题	147	10.5.2 基本结构	191
9 钳工	148	10.5.3 加工中心的编程	191
9.1 概述	148	复习思考题	192
9.2 钳工常用的设备和工具	148	11 特种加工	193
9.3 钳工的基本操作	149	11.1 概述	193
9.3.1 划线	149	11.2 电火花成形加工	194
9.3.2 锯切	152	11.2.1 电火花成形加工概述	194
9.3.3 锉削	154	11.2.2 电火花成形加工机床的 一般组成	194
9.3.4 钻孔、扩孔、铰孔和 铰孔	156	11.2.3 数控电火花加工的工艺 分析	196
9.3.5 攻螺纹和套螺纹	159	11.3 电火花线切割加工	197
9.4 装配与拆卸	161		

11.3.1 电火花成形加工概述	197	设计	214
11.3.2 电火花线切割机床的组成	200	12.5 工业机器人	214
11.3.3 数控电火花线切割机床的编程	201	12.6 柔性制造系统	214
11.3.4 数控电火花线切割加工的工艺分析与实例	202	12.7 计算机集成制造系统	216
11.4 超声加工	204	复习思考题	217
11.4.1 超声波加工的原理及特点	204	13 创新设计及制作训练	218
11.4.2 超声波加工的应用范围	205	13.1 创新设计及制作训练概述	218
11.5 激光加工	207	13.1.1 创新设计的概念及特点	218
11.5.1 激光加工的原理与特点	207	13.1.2 机械创新设计的过程	218
11.5.2 激光加工机的组成	208	13.1.3 机械创新制作过程	220
11.5.3 激光在材料加工中的应用	209	13.2 创新设计的基础知识	220
复习思考题	210	13.2.1 创新思维	220
12 机械加工自动化	211	13.2.2 创新原理	221
12.1 概述	211	13.2.3 常用创新技法	223
12.2 高效机床及自动线	211	13.3 创新制作的基础知识	225
12.2.1 组合机床	211	13.3.1 毛坯的选择	225
12.2.2 组合机床自动线	212	13.3.2 加工方法选择及经济性分析	226
12.3 成组技术	212	13.3.3 典型零件的成形工艺过程分析	229
12.4 CAD/CAM/CAPP	213	13.4 创新设计及制作训练的实施	232
12.4.1 计算机辅助设计	213	13.4.1 创新训练实施的过程	232
12.4.2 计算机辅助制造	213	13.4.2 创新训练实施的内容	233
12.4.3 计算机辅助工艺过程		13.4.3 创新设计及制作典型示例	236
		复习思考题	241
		参考文献	242

1 工程材料及热处理

教学提示：学生应了解工程材料的分类、牌号和应用；了解热处理的目的和作用，常用的热处理方法和工艺过程，热处理生产常用设备的大致结构和使用方法；了解热处理在零件制造中的工序位置和作用。

热处理是将固态金属或合金，采用适当加热、保温和冷却，改变其表面或内部的组织结构，以获得所需要的组织结构与性能的一种工艺方法。其主要目的是消除毛坯缺陷，挖掘材料的力学潜力以及改善和提高零件和工模具的加工、使用性能，提高产品质量，延长使用寿命。设计某种零件时，选择的材料必须满足使用性能（主要是力学性能）、工艺性能和经济性能。能否满足使用性能、工艺性能，可以选用适当的热处理方法。

1.1 概述

翻开人类进化史，不难发现，材料的开发、使用和完善贯穿其始终。从天然材料的使用到陶器和青铜器制造，从钢铁冶炼到材料合成，人类成功地生产出满足自身需求的材料，进而使自身走出深山、洞穴，奔向茫茫平原、辽阔海洋，飞向广袤太空。

人类社会的发展历史证明，材料是人类生产与生活的物质基础，是社会进步的先导。当今社会材料、信息和能源技术已构成了人类现代社会大厦的三大支柱，而且能源和信息的发展都离不开材料。所以，世界各国都把研究、开发新材料放在突出的地位。

材料是人类社会可接受、能经济地制造有用器件（或物品）的固体物质。工程材料是在各工程领域中使用的材料。工程上使用的材料种类繁多，有许多不同的分类方法。按化学成分、结合键的特点，可将工程材料分为金属材料、非金属材料 and 复合材料三大类，见表 1.1。

表 1.1 工程材料的分类举例

金属材料		非金属材料			复合材料
黑色金属材料	有色金属材料	无机非金属材料	有机高分子材料		
碳素钢、合金钢、铸铁等	铝、镁、铜、锌及其合金等	水泥、陶瓷、玻璃	合成高分子（塑料、合成纤维、合成橡胶）	天然高分子（木材、纸、纤维、皮革）	金属基复合材料、塑料基复合材料、橡胶基复合材料、陶瓷基复合材料等

金属材料可分为黑色金属材料和有色金属材料，黑色金属材料主要是铁基金属合金，包括碳素钢、合金钢、铸铁等。有色金属材料包括轻金属及其合金、重金属及其合金等。而非金属材料可分为陶瓷等无机非金属材料 and 有机高分子材料。有机高分子材料包括塑料、橡胶、合成纤维等。由上述两种或两种以上成分不同的材料经人工合成后，获得优于组成材料特性的材料，称为复合材料。

1.2 金属材料

金属材料是人们最为熟悉的一种材料，机械制造、交通运输、建筑、航天航空、国防与

科学技术等各个领域都需要使用大量的金属材料，因此金属材料在现代工农业生产中占有极其重要的地位。

金属材料的品种繁多，工程上常用的金属材料主要有钢铁及有色金属等。

金属材料中使用最多的是钢铁，钢铁是世界上的头号金属材料，年产量高达数亿吨。钢铁材料广泛用于工农业生产及国民经济各部门。例如，各种机器设备上大量使用的轴、齿轮、弹簧，建筑上使用的钢筋、钢板，以及交通运输中的车辆、铁轨、船舶等都要使用钢铁材料。通常所说的钢铁是钢与铁的总称。实际上钢铁是以铁为基体的铁碳合金，当碳的质量分数大于 2.11% 时称为铁，当碳的质量分数小于 2.11% 时称为钢。

为了改善钢的性能，人们常在钢中加入硅、锰、铬、镍、钨、钼、钒等合金元素，它们各有各的作用，有的提高强度，有的提高耐磨性，有的提高抗腐蚀性能等。合金钢种类很多，按照它们的性能与用途不同，合金钢可分为合金结构钢、合金工具钢、不锈钢、耐热钢、超高强度钢等。

有色金属包括铝、铜、钛、镁、锌、铅及其合金等，虽然它们的产量及使用量不如钢铁材料多，但由于它们具有某些独特的性能和优点，从而使其成为当代工业技术中不可缺少的材料。

由于金属材料的历史悠久，因而在材料的研究、制备、加工、使用等方面已经形成了一套完整的系统，拥有了一整套成熟的生产技术和巨大的生产能力，并且经受了在长期使用过程中各种环境的考验，具有稳定可靠的质量，以及其他任何材料不能完全替代的优越性能。金属材料的另一个突出优点是性能价格比高，在所有的材料中，除了水泥和木材外，钢铁是最便宜的材料，它的使用可谓量大面广。由于金属材料具有这些成熟稳定的工艺、大规模的现代装备以及高的性能价格比，因而具有强大的生命力，在国民经济中占有首屈一指的重要位置。

此外，为了适应科学技术的高速发展，人们还在不断推陈出新，进一步发展新型的、高性能的金属材料，比如超高强度钢、高温合金、形状记忆合金、高性能磁性材料、储氢合金等。

1.2.1 常用金属材料

(1) 碳素钢

碳素钢是指碳的质量分数小于 2.11% 和含有少量硅、锰、硫、磷等杂质元素所组成的铁碳合金，简称碳钢。其中锰、硅是有益元素，对钢有一定强化作用；硫、磷是有害元素，分别增加钢的热脆性和冷脆性，应严格控制。碳钢的价格低廉、工艺性能良好，在机械制造中应用广泛。常用碳钢的牌号、应用及说明见表 1.2。

(2) 合金钢

为了改善和提高钢的性能，在碳钢的基础上加入其他合金元素的钢称为合金钢。常用的合金元素有硅、锰、铬、镍、钨、钼、钒、稀土元素等。合金钢还具有如耐低温、耐腐蚀、高磁性、高耐磨性等良好的特殊性能，它在工具或力学性能、工艺性能要求高的、形状复杂的大截面零件或有特殊性能要求的零件方面，得到了广泛应用。合金钢的牌号、性能及用途见表 1.3。

(3) 铸铁

碳的质量分数大于 2.11% 的铁碳合金称为铸铁。由于铸铁含有的碳和杂质较多，其力学性能比钢差，不能锻造。但铸铁具有优良的铸造性、减振性、耐磨性等特点，加之价格低廉、生产设备和工艺简单，是机械制造中应用最多的金属材料。据资料表明，铸铁件占机器总质量的 45%~90%。常用铸铁的牌号、应用及说明见表 1.4。

表 1.2 碳钢的牌号、应用及说明

名称	牌 号	应 用 举 例	说 明
碳素结构钢	Q215A 级	承受载荷不大的金属结构件,如薄板、铆钉、垫圈、地脚螺栓及焊接件等	碳素钢的牌号是由代表钢材屈服点的字母 Q、屈服点值、质量等级符号、脱氧方法四个部分组成。其中质量等级共分四级,分别以 A、B、C、D 表示
	Q235A 级	金属结构件、钢板、钢筋、型钢、螺母、连杆、拉杆等,Q235C、Q235D 可用作重要的焊接件	
优质碳素结构钢	15	强度低,塑性好,一般用于制造受力不大的冲压件,如螺栓、螺母、垫圈等。经过渗碳处理或氰化处理可用作表面要求耐磨、耐腐蚀的机械零件,如凸轮、滑块等	牌号的两位数字表示平均含碳量的万分数,45 号钢即表示平均碳的质量分数为 0.45%。含锰量较高的钢,须加注化学元素符号“Mn”
	45	综合力学性能和切削加工性均较好,用于强度要求较高的零件,如曲轴、传动轴、齿轮、连杆等	
碳素铸钢	ZG200—400	有良好的塑性、韧性和焊接性能,用于受力不大、要求韧性好的各种机械零件,如机座、变速箱壳等	“ZG”代表铸钢。其后面第一组数字为屈服点(MPa);第二组数字为抗拉强度(MPa)。ZG200—400 表示屈服强度为 200MPa,抗拉强度为 400MPa 的碳素铸钢

表 1.3 合金钢的牌号、性能及用途

种 类	牌 号	性 能 及 用 途
普通低合金结构钢	9Mn2,10MnSiCu,16Mn,15MnTi	强度较高,塑性良好,具有焊接性和耐蚀性,用于建造桥梁、车辆、船舶、锅炉、高压容器、电视塔等
渗碳钢	20CrMnTi,20Mn2V,20Mn2TiB	心部的强度较高,用于制造重要的或承受重载荷的大型渗碳零件
调质钢	40Cr,40Mn2,30CrMo,40CrMnSi	具有良好的综合力学性能(高的强度和足够的韧性),用于制造一些复杂的重要机器零件
弹簧钢	65Mn,60Si2Mn,60Si2CrVA	淬透性较好,热处理后组织可得到强化,用于制造承受重载荷的弹簧
滚动轴承钢	GCr9,GCr15,GCr15SiMn	用于制造滚动轴承的滚珠、套圈

表 1.4 铸铁的牌号、应用及说明

名称	牌 号	应 用 举 例	说 明
灰铸铁	HT150	用于制造端盖、泵体、轴承座、阀壳、管子及管路附件、手轮;一般机床底座、床身、滑座、工作台等	“HT”为“灰铁”两字汉语拼音的字头,后面的一组数字表示 $\phi 30$ 试样的最低抗拉强度。如 HT200 表示灰口铸铁的抗拉强度为 200MPa
	HT200	承受较大载荷和较重要的零件,如汽缸、齿轮、底座、飞轮、床身等	
球墨铸铁	QT400—18	广泛用于机械制造业中受磨损和受冲击的零件,如曲轴(一般用 QT500—7)、齿轮(一般用 T450—10)、汽缸套、活塞环、摩擦片、中低压阀门、千斤顶座、轴承座等	“QT”是球墨铸铁的代号,它后面的数字表示最低抗拉强度和最低伸长率。如 QT500—7 即表示球墨铸铁的抗拉强度为 500MPa,伸长率为 7%
	QT450—10		
	QT500—7		
	QT800—2		
可锻铸铁	KTH300—06	用于受冲击、振动等零件,如汽车零件、机床附件(如扳手)、各种管接头、低压阀门、农具等	“KTH”、“KTZ”分别是黑心和珠光体可锻铸铁的代号,它们后面的数字分别代表最低抗拉强度和最低伸长率
	KTH330—08		
	KTZ450—06		

(4) 有色金属及其合金

有色金属的种类繁多,虽然其产量和使用不及黑色金属,但是由于它具有某些特殊性能,故已成为现代工业中不可缺少的材料。常用有色金属及其合金的牌号、应用举例及说明见表 1.5。

表 1.5 有色金属及其合金的牌号、应用举例及说明

名称	牌号	应用举例	说明
纯铜	T1	电线、导电螺钉、储藏器及各种管道等	纯铜分 T1~T4 四种。如 T1(一号铜)铜的质量分数为 99.95%,T4 含铜量为 99.50%
黄铜	H62	散热器、垫圈、弹簧、各种网、螺钉及其他零件等	“H”表示黄铜,后面数字表示铜的质量分数,如 62 表示铜的质量分数为 60.5%~63.5%
纯铝	1070A 1060 1050A	电缆、电器零件、装饰件及日常生活用品等	铝的质量分数为 99.7%~98%
铸铝合金	ZL102	耐磨性中上等,用于制造负荷不大的薄壁零件等	“Z”表示铸,“L”表示铝,后面数字表示顺序号。ZL102 表示 Al-Si 系 02 号合金

1.2.2 金属材料的性能

金属材料的性能分为使用性能和工艺性能,见表 1.6。

表 1.6 金属材料的性能

性能名称			性能内容
使用性能	物理性能		包括密度、熔点、导电性、导热性、磁性等
	化学性能		金属材料抵抗各种介质的侵蚀能力,如抗腐蚀性能等
	力学性能	强度	在外力作用下材料抵抗变形和破坏的能力,分为抗拉强度 σ_b 、抗压强度 σ_{bc} 、抗弯强度 σ_{bb} 、抗剪强度 σ_c ,单位均为 MPa
		硬度	衡量材料软硬程度的指标,较常用的硬度测定方法有布氏硬度(HBS、HBW)、洛氏硬度(HR)和维氏硬度(HV)等
		塑性	在外力作用下材料产生永久变形而不发生破坏的能力。常用指标是伸长率 $\delta(\%)$ 和断面收缩率 $\psi(\%)$, δ 和 ψ 愈大,材料塑性愈好
		冲击韧性	材料抵抗冲击力的能力。常把各种材料受到冲击破坏时消耗能量的数值作为冲击韧性的指标,用 $\alpha_k(\text{J}/\text{cm})$ 表示。冲击韧度值主要取决于塑性、硬度,尤其是温度对冲击韧度值的影响具有更重要的意义
		疲劳强度	材料在多次交变载荷作用下,不致引起断裂的最大应力
工艺性能		包括热处理工艺性能、铸造性能、锻造性能、焊接性能、切削加工性能等	

1.3 钢的热处理

1.3.1 钢的热处理概述

热处理是将固态金属或合金,采用适当方式进行加热、保温和冷却,改变其表面或内部的组织结构,以获得所需要的组织结构与性能的一种工艺方法。

在热处理时,由于零件的成分、形状、大小、工艺性能及使用性能不同,因此采用不同的加热速度、加热温度、保温时间以及冷却速度。常用的热处理方法有普通热处理(退火、正火、淬火和回火,如图 1.1 所示),表面热处理(表面淬火、化学热处理)和特殊热处理等。

热处理分预备热处理和最终热处理两种。预备热处理的目的是为了消除前道工序所遗留的缺陷和为后继加工准备条件;最终热处理则在于满足零件的使用性能要求。各种热处理方法根据加工目的,穿插在各冷热加工工艺中进行。

1.3.2 钢的退火和正火

(1) 退火

退火是将金属或合金加热到某一温度（对碳素钢而言为 $740\sim 880^{\circ}\text{C}$ ），保温一定时间，然后随炉冷却或埋入导热性差的介质中缓慢冷却的一种工艺方法。退火主要目的是降低材料硬度，改善其切削加工性能，细化材料内部晶粒，均匀组织及消除毛坯在成形（锻造、铸造、焊接）过程中所造成的内应力，为后续的机械加工和热处理做好准备。常用的退火方法有消除碳钢铸件缺陷的完全退火、改善高碳钢切削加工性能的球化退火和去除大型铸锻件应力的去应力退火等。

(2) 正火

正火是将金属或合金加热到某一温度（对碳素钢而言为 $760\sim 920^{\circ}\text{C}$ ），保温一定时间，然后出炉，在空气中冷却的一种工艺方法。由于正火的冷却速度稍快于退火，经正火后的工件，其强度和硬度较退火工件要高，而塑性、韧性略有下降。此外由于正火采用空冷，消除内应力不如退火工艺彻底。但有些塑性和韧性较好、硬度低的材料（如低碳钢），可以通过正火处理代替退火处理，提高工件硬度，改善其切削加工性能，这对于缩短生产周期、提高劳动生产率及加热炉使用率均有较好的实用意义。对某些使用要求不太高的工件，可通过正火，提高它的强度、硬度，并作为工件的最终热处理。

1.3.3 钢的淬火和回火

(1) 淬火

淬火是将钢件加热到临界温度以上（对碳素钢而言为 $770\sim 870^{\circ}\text{C}$ ），保温一定时间，然后快速冷却，以得到高硬度组织的一种工艺方法。

淬火的主要目的是提高工件的强度和硬度，增加耐磨性。淬火是钢件强化的最经济有效的热处理工艺，几乎所有的工模具和重要零部件都需要进行淬火处理。淬火后必须继之以回火，才能获得优良综合力学性能的工件。

影响淬火质量的主要因素是淬火加热温度、冷却剂的冷却能力及工件投入冷却剂中的方式等。一般情况下，常用非合金钢的加热温度取决于钢中碳含量。淬火保温时间主要根据工件有效厚度来确定。过长的保温时间，会增加钢的氧化脱碳，过短将导致组织转变不完全。工件进行淬火冷却所使用的介质叫做淬火介质。水最便宜而且冷却能力较强，适合于尺寸不大、形状简单的碳素钢工件的淬火。浓度为 10% 的 NaCl 和 10% 的 NaOH 的水溶液与纯水相比，能提高冷却能力。油也是一种常用的淬火介质。目前工业上主要采用矿物油，如锭子油、机油、柴油等，多用于合金钢的淬火。此外还必须注意工件浸入淬火冷却剂的方式。如果浸入方式不当，会使工件因冷却不均而导致硬度不均，产生较大的内应力，发生变形，甚至产生裂纹。

(2) 回火

将淬火后的工件，重新加热到某一温度范围，保温一定时间后，冷却到室温的热处理工艺称为回火。经过淬火的钢虽有较高的硬度，但韧性、塑性较差，组织不稳定，有较大的内应力，为了降低淬火后的脆性，消除内应力和获得所需要的组织及综合力学性能，淬火后的

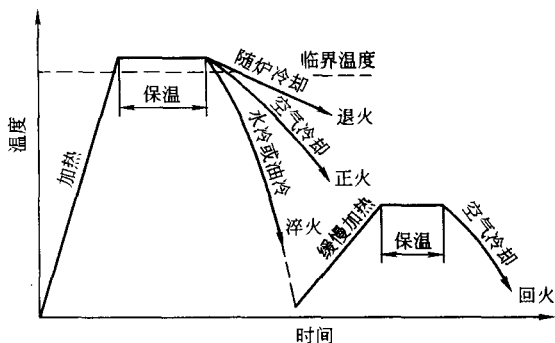


图 1.1 碳钢常用热处理方法示意图

钢都要进行回火处理。

回火操作主要是控制回火温度。回火温度越高，工作韧性越好，内应力越小，但硬度、强度下降得越多。根据回火加热温度的不同，回火常分为低温回火、中温回火和高温回火。

① 低温回火 回火温度为 $150\sim 250^{\circ}\text{C}$ 。经低温回火的工件可以减小淬火应力及脆性，保持高硬度及高耐磨性。低温回火广泛用于要求硬度高、耐磨性好的工件，如各类高碳工具钢、低合金工具钢制作的刀具，冷变形模具，量具，滚珠轴承及表面淬火件等。

② 中温回火 回火温度为 $350\sim 450^{\circ}\text{C}$ 。经中温回火的工件可以使工件内应力进一步减小，组织基本恢复正常，因而具有很高的弹性，又具有一定的韧性和强度。中温回火主要用于各类弹簧、热锻模具及某些要求较高强度的轴、轴套、刀杆的处理。

③ 高温回火 回火温度为 $500\sim 650^{\circ}\text{C}$ 。经高温回火可以使工件淬火后的内应力大部分消除，获得强度、韧性、塑性都较好的综合力学性能。生产中通常把淬火加高温回火的处理称为调质处理。对于各种重要的结构件，特别是在交变载荷下工作的零件，如连杆、螺栓、齿轮、轴等都需经调质处理后再使用。

回火决定了工件最终的使用性能，它直接影响工件的质量和寿命。

1.3.4 表面热处理

对于在动载荷和强烈摩擦条件下工作的零件，如齿轮、凸轮轴、床身导轨等，要求表面具有高硬度、高耐磨性，而心部要求有足够的塑性和韧性，这些要求很难通过选材来解决，可以采用表面热处理方法，仅对工件表面进行强化热处理，以改变表面组织和性能，而心部基本上保持处理前的组织和性能。

常用的钢的表面热处理有表面淬火及化学热处理两大类。

(1) 钢的表面淬火

表面淬火是将工件表面快速加热到淬火温度，然后迅速冷却，仅使表面层获得淬火组织的热处理方法。淬火后需进行低温回火，以降低内应力，提高表面硬化层的韧性及耐磨性能。

根据热源不同，钢的表面淬火可分为火焰加热表面淬火和感应加热表面淬火等。

火焰加热表面淬火是指应用氧-乙炔（或其他可燃气体）火焰对工件表面进行加热，随后淬火的工艺。火焰加热表面淬火设备简单，操作简便，成本低，且不受工件体积大小的限制，但因氧-乙炔火焰温度较高，工件表面易过热，且淬火层质量控制比较困难，影响了这种方法的广泛使用。

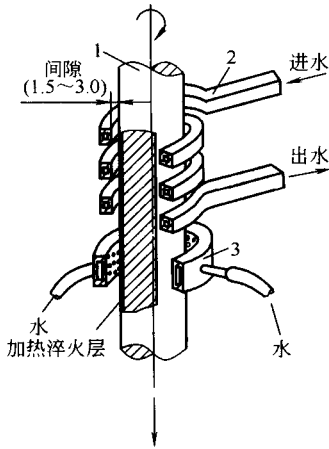


图 1.2 感应加热示意图

1—工件；2—感应器（接高频电源）；
3—淬火喷水套

感应加热表面淬火是以交变电磁场作为加热介质，利用感应电流通过工件所产生的热效应，使工件表面受到局部加热，并进行快速冷却的淬火方法。其工作原理如图 1.2 所示。把工件放入空心铜管绕成的感应器中，感应器通入一定频率的交流电，以产生交变磁场，于是工件内部就会产生频率相同、方向相反的感应电流（涡流）。由于涡流的趋肤效应，使涡流在工件截面上的分布不均匀，表面电流密度大，心部电流密度小，感应器中的电流频率越高，涡流越集中于工件的表层。由于工件表层涡流产生的热量，使工件表层迅速加热到淬火加热温度（心部温度仍然接近室温），随即快速冷却，达到表面淬火的目的。

感应加热表面淬火的加热速度快，淬火质量好，感应加

热表面淬火的淬硬层深度易于控制，淬火操作易实现机械化和自动化，但设备较为复杂，故适用于大批量生产。

(2) 化学热处理

化学热处理与其他热处理方法不同，它是利用介质中某些元素（如碳、氮、硅、铝等）的原子在高温下渗入工件表面，从而改变工件表面的成分和组织，以满足工件的特殊需要的热处理方法。通过化学热处理一般可以强化工件表面，提高零件表面的硬度、耐磨性、耐蚀性、耐热性及其他性能，而心部仍保持原有性能。常用的有渗碳、渗氮、碳氮共渗（或称氰化）以及渗金属元素（如铝、硅、硼等）。

渗碳是将钢件置于渗碳介质中加热并保温，使碳原子渗入钢件表面，增加表层碳含量及获得一定碳浓度梯度的工艺方法。适用于碳的质量分数为 0.1%~0.25% 的低碳钢或低合金钢，如 20、20Cr、20CrMnTi 等。工件渗碳后，碳的质量分数从表层到心部逐渐减少，表面层碳的质量分数可达 0.80%~1.05%，而心部仍为低碳。渗碳后再经淬火加低温回火，使表面具有高硬度、高耐磨性，而心部具有良好塑性和韧性，使零件既能承受磨损和较高的表面接触应力，同时又能承受弯曲应力及冲击载荷。渗碳用于在摩擦冲击条件下工作的零件，如汽车齿轮、活塞销等。

渗氮是在一定温度下将工件置于渗氮介质中加热、保温，使活性氮原子渗入工件表层的化学热处理工艺。零件渗氮后表面形成氮化层，氮化后不需淬火，钢件的表层硬度高达 950~1200HV，这种高硬度和高耐磨性可保持到 560~600℃ 而不降低，故氮化钢件具有很好的热稳定性，同时具有高的抗疲劳性和耐蚀性，且变形很小。由于上述特点，渗氮在机械工业中获得了广泛应用，特别适宜于许多精密零件的最终热处理，例如磨床主轴、精密机床丝杆、内燃机曲轴以及各种精密齿轮和量具等。

1.3.5 金属表面氧化处理

发黑处理是金属表面氧化处理中最常用的一种方法，它主要应用于碳素钢和低合金工具钢。以下简单介绍碱性发黑处理。

碱性发黑处理是将工件放在一定温度的强碱性溶液中进行的氧化处理。它使工件表面生成一层氧化膜（四氧化三铁），这层氧化膜组织较紧密，能牢固地与金属表面结合；依据处理条件的不同，该氧化膜可呈现亮蓝色直到亮黑色。它不仅对金属表面起防锈作用，还能增加金属表面的美观，对淬火工件来说，还能起到消除应力的作用，所以发黑处理在机械工业上得到广泛应用。

钢件表面氧化膜的形成过程是一个化学反应的过程。当工件在浓度很高的碱性和氧化剂溶液中加热时，表面开始先受到碱的微腐蚀作用，首先析出铁离子，与碱的氧化剂继续作用，生成亚铁酸钠（ Na_2FeO_2 ）和铁酸钠（ $\text{Na}_2\text{Fe}_2\text{O}_4$ ），然后再由亚铁酸钠和铁酸钠进一步作用，生成成分为四氧化三铁的致密的氧化膜。

1.3.6 热处理常用设备

热处理设备可分为主要设备和辅助设备两大类。主要设备包括热处理炉、热处理加热装置、冷却设备、测量和控制仪表等。辅助设备包括检测设备、校正设备和消防安全设备等。

(1) 热处理炉

常用的热处理炉有箱式电阻炉、井式电阻炉和盐浴炉等。

① 箱式电阻炉 是利用电流通过布置在炉膛内的电热元件发热，通过对流和辐射对工件进行加热，如图 1.3 所示。它是热处理车间应用很广泛的加热设备。适用于钢铁材料和非钢铁材料（有色金属）的退火、正火、淬火、回火及固体渗碳等的加热，具有操作简便、控