



普通高等教育“十一五”规划教材

金工实习教程

王俊勃 主编

屈银虎 张海军 副主编



科学出版社
www.sciencep.com



国家精品课程——机械制图

金工实习教程

王松海 主编

周国虎 张海军 副主编

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十一五”规划教材

金工实习教程

王俊勃 主编

屈银虎 张海军 副主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书主要介绍各种材料加工工艺基本方法以及当前工业生产中应用的新材料、新技术和新工艺。全书共分 11 章,包括机械工程材料、铸造、锻压、焊接、切削加工基础、钳工、车削加工、铣削加工、刨削加工、磨削加工和特种加工。每章后附有练习题。使用本书时,可结合实习训练的具体要求进行调整,有些内容可供学生自学。

本书可作为高等院校工科各专业进行金工实习的教材,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

金工实习教程/王俊勃主编. —北京:科学出版社,2007

(普通高等教育“十一五”规划教材)

ISBN 978-7-03-019690-3

I. 金… II. 王… III. 金属加工-实习-高等学校-教材 IV. TG-45

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 128169 号

责任编辑:余 江 于宏丽 / 责任校对:陈玉凤

责任印制:张克忠 / 封面设计:陈 敬

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京智力达印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007 年 8 月 第 一 版 开本: B5(720×1000)

2007 年 8 月第一次印刷 印张: 15

印数: 1—4 500 字数: 291 000

定价: 21.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新伟〉)

前 言

本书是为适应 21 世纪人才培养需求并遵循金工实习教学改革精神,结合现代工业生产实际,在总结近年来的探索、改革和实践经验的基础上编写而成。

本书在内容上为兼顾实习实践和课堂教学,对传统加工内容进行了精选,以各种工艺基本方法的介绍为主,简明扼要地对当前工业生产中应用的新材料、新技术、新工艺作了介绍。本书除绪论外,共分 11 章,包括机械工程材料、铸造、锻压、焊接、切削加工基础、钳工、车削加工、铣削加工、刨削加工、磨削加工和特种加工。每章后都附大量的练习题。

本书可作为高等院校工科各专业进行金工实习的教材,也可供有关工程技术人员参考。使用本书时,可结合实习训练的具体要求进行调整,有些内容可供学生自学。

本书由王俊勃担任主编,屈银虎、张海军担任副主编,参加本书编写的有:西安工程大学王俊勃(绪论,第 1 章)、屈银虎(第 2、3 章),天津商业大学张海军(第 5、9、10 章),西安工程大学贺辛亥(第 7、8、11 章)、南宏正(第 6 章)、付翀(第 4 章)。

在本书编写过程中,天津商业大学杨传民教授,西安工程大学詹爱嫦副教授、郑武申高工、阚佩工程师提供了宝贵意见,同时还得到西安工程大学研究生张力、马亚明、胡大方和金工实习中心同仁的大力支持和热忱帮助,在此一并表示衷心的感谢。

本书编写力求适应高等教育的改革和发展,但由于编者水平有限,难免存在不足之处,敬请读者批评指正。

作 者

2007 年 5 月

目 录

前言

绪论	1
第 1 章 机械工程材料	3
1.1 材料的力学性能	3
1.2 机械工程材料的分类及应用	5
1.3 材料的选用	19
习题	22
第 2 章 铸造	23
2.1 铸型	24
2.2 金属的熔炼和浇注	36
2.3 铸件的落砂、清理及缺陷分析	39
2.4 特种铸造	40
习题	48
第 3 章 锻压	51
3.1 坯料的加热和锻件的冷却	51
3.2 自由锻造	55
3.3 模锻和胎模锻	60
3.4 板料冲压	61
3.5 特种锻压	65
习题	68
第 4 章 焊接	70
4.1 手工电弧焊	71
4.2 气焊与气割	78
4.3 其他焊接方法	81
4.4 焊接缺陷及质量检验	87
习题	89
第 5 章 切削加工基础	90
5.1 切削运动与切削用量	90
5.2 零件的加工质量	92
5.3 刀具材料	94
5.4 量具	95

5.5	切削过程	101
5.6	机械加工工艺过程的基本知识	103
5.7	机床基本构造与传动机构	107
5.8	数控加工基本知识	109
	习题	118
第6章	钳工	120
6.1	钳工的基本工序	120
6.2	装配	132
6.3	典型零件的工序制定	136
	习题	138
第7章	车削加工	139
7.1	车床	140
7.2	车刀及其安装	141
7.3	工件的安装及所用附件	143
7.4	车削加工基本内容	146
7.5	典型零件的加工及工艺卡制订	153
7.6	数控车床	154
7.7	数控车加工编程	156
7.8	典型零件数控车削加工	164
	习题	166
第8章	铣削加工	169
8.1	铣削运动及铣削用量	169
8.2	铣床类机床及铣镗加工中心	171
8.3	铣削工作	174
8.4	齿形加工方法	176
8.5	数控铣床	177
8.6	数控铣加工编程	179
8.7	典型零件数控铣削加工	181
8.8	加工中心简介	182
	习题	184
第9章	刨削加工	186
9.1	刨削概述	186
9.2	牛头刨床	187
9.3	其他刨削类机床	190
9.4	刨削加工	194
	习题	198

第 10 章 磨削加工	199
10.1 磨削概述.....	199
10.2 砂轮.....	201
10.3 磨床.....	204
10.4 外圆磨削方法.....	206
10.5 其他表面磨削加工.....	209
10.6 其他磨削加工工艺.....	212
习题.....	213
第 11 章 特种加工	215
11.1 特种加工概述.....	215
11.2 电火花加工.....	217
11.3 其他特种加工方法.....	220
11.4 快速成形技术.....	225
习题.....	230
参考文献.....	231

绪 论

1. “金工实习”课程的性质

(1) “金工实习”是一门实践性很强的技术基础课,是学生学习“工程材料及机械制造基础”课程与机械制造类课程的先修课程,也是使学生建立机械制造生产过程的概念,获得机械制造基本知识的奠基课程。

(2) “金工实习”以实践教学为主,学生通过独立的实践操作,在实习过程中有机地将基本工艺理论、基本工艺知识和基本工艺实践结合起来,提高学生工艺实践技能。

2. “金工实习”课程的任务

“金工实习”课程的任务可以概述如下:

(1) 使学生了解现代机械制造的一般过程和基本知识;熟悉机械零件的常用加工方法及其所用的主要设备和工具;了解新工艺、新技术、新材料在现代机械制造中的应用。

(2) 使学生对简单零件初步具有选择加工方式和进行工艺分析的能力;在主要工种方面应能独立完成简单零件的加工制造,培养学生在规定工艺实验中的实践能力。

(3) 充分利用金工实习工厂产学结合的良好条件,培养学生质量和经济观念、理论联系实际科学作风以及遵守安全技术操作、热爱劳动、爱护公物等基本素质。

3. “金工实习”课程的内容

机械制造生产过程一般包括设计→备料→毛坯加工→热处理→切削加工→热处理→装配出厂等环节,金工实习的内容就是按照机械制造生产过程的毛坯加工(主要有铸造、锻压和焊接)、切削加工(车削、铣削、刨削、磨削和钳工)、热处理(退火、正火、淬火和回火)和装配等组成。学生通过现场教学、实际操作、专题讲座、电化教学、课堂讨论、实习报告或作业以及考核等方式和手段,获得机械制造工艺的基本知识,建立机械制造生产过程的基本概念,在操作技能上受到一定的培训,在工程实践能力、创新能力和现代工程意识、科学意识、经济意识、质量意识、社会意识以及劳动观念方面受到培养和锻炼。

4. 金工实习的安全

为了保证实习能正常进行，以达到预期的要求，学生在实习中必须遵守如下规则：

(1) 实习时按规定穿戴好劳动防护用品，进厂时，不带与实习无关的书刊报纸、随身听等，不穿拖鞋、凉鞋、高跟鞋等。

(2) 遵守劳动纪律，不串岗、不迟到、不早退，有事请假。

(3) 尊重老师和师傅，处理好师生关系。

(4) 爱护国家财产，注意节约水、电、油和原材料。

(5) 实习应做到专心听讲，仔细观察，做好笔记，认真操作，不怕苦、不怕累、不怕脏。

(6) 严格遵守各实习工种的安全技术，做到文明实习，保持良好的卫生风貌。

第1章 机械工程材料

教学基本要求:

- (1) 了解金属材料常用的力学性能指标;
- (2) 了解生产中常用的洛氏硬度试验法;
- (3) 了解常用钢铁材料的牌号、性能及用途;
- (4) 了解常用热处理工艺的方法、种类、目的及应用;
- (5) 了解有色金属材料的牌号、性能及用途;
- (6) 了解非金属材料、复合材料的分类及应用;
- (7) 了解典型零件的选材依据及热处理工艺。

1.1 材料的力学性能

材料的力学性能指材料抵抗外加载荷引起的变形和断裂的能力,是设计零件及选择材料的重要依据。常用的力学性能指标有强度、塑性、硬度、冲击韧度等。

1. 强度

强度是指材料在静载荷的作用下抵抗变形和断裂的能力。强度指标一般用单位面积所能承受的载荷(应力)表示,符号为 σ ,单位为MPa。工程中常用的强度指标有屈服强度和抗拉强度。屈服强度是指材料刚开始产生塑性变形时的最低应力值,用 σ_s 表示;抗拉强度是指材料在破坏前所能承受的最大应力值,用 σ_b 表示。它们是零件设计时的主要依据,也是评定材料强度的重要指标。

2. 塑性

塑性是指材料在静载荷的作用下产生塑性变形而不被破坏的能力。工程中常用的塑性指标有伸长率 δ 和断面收缩率 ψ ,伸长率和断面收缩率越大,材料的塑性越好。良好的塑性是材料进行成形加工的必要条件,也是保证零件工作安全、不发生突然脆断的必要条件。

3. 硬度

硬度是指材料表面抵抗更硬物体压入的能力。由于可根据测得的硬度值估算出近似的强度值,从而了解材料的力学性能及工艺性能,因此,硬度试验作为一

种常用的检测手段，在生产中得到了广泛的应用。硬度的测试方法很多，生产中常用的硬度测试方法有布氏硬度试验法和洛氏硬度试验法两种。

布氏硬度试验法是用直径为 D 的淬火钢球或硬质合金球作为压头，在载荷 P 的作用下压入被测试材料的表面，保持一定时间后卸载，测量材料表面形成的压痕直径 d ，以压痕的单位面积所承受的平均压力作为被测试材料的布氏硬度值。布氏硬度指标有 HBS 和 HBW 两种，前者压头为淬火钢球，适用于布氏硬度值低于 450 的材料；后者压头为硬质合金，适用于布氏硬度值为 450~650 的材料。

布氏硬度试验法试验结果较精确、稳定，常用于测定退火、正火、调质钢及铸铁、有色金属和非金属材料的硬度，因其压痕较大，故不宜测试成品或薄片金属的硬度。

洛氏硬度试验法是用一锥顶角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为 1.588mm 的淬火钢球为压头，在规定载荷作用下压入被测试材料表面，根据压痕的深度直接在硬度指示盘上读出硬度值。常用的洛氏硬度指标有 HRA、HRB、HRC 三种，如表 1-1 所示。

表 1-1 洛氏硬度试验规范

符号	压头	载荷/N	测量范围	应用范围
HRA	120° 金刚石圆锥体	600	60~85	硬质合金、表面硬化钢、淬火工具钢
HRB	1.588 mm 钢球	1000	25~100	有色金属、可锻铸铁、退火或正火钢
HRC	120° 金刚石圆锥体	1500	20~67	淬火钢、调质钢

洛氏硬度试验法操作迅速简便、压痕小，可以直接测定较薄件和成品的硬度，且硬度测试范围较广。但因压痕较小、准确度较差，故须在零件的不同部位测量数点，取其平均值。

洛氏硬度试验机结构示意图如图 1-1 所示。其基本操作程序如下：

- (1) 将试样置于试样台上，顺时针方向转动升降丝杠手轮，使试样与压头缓慢接触，直至表盘小指针指到“0”，然后将表盘指针调零。
- (2) 按动按钮或转动手柄，加主载荷。当表盘大指针反转停止后，再反向旋转手柄，卸除主载荷，此时表盘大指针即指示出该试样的硬度值。
- (3) 逆时针转动手轮，取下试样。

4. 冲击韧度

材料在冲击载荷的作用下抵抗断裂破坏的能力称为冲击韧度。通常情况下，我们常采用一次冲击弯曲试验来测定材料在冲击断裂中吸收的功 A_k ，然后根据相同试验条件下材料 A_k 值的大小来评定材料冲击韧度的好坏。一般将 A_k 值低的材料称为脆性材料， A_k 值高的材料称为韧性材料。

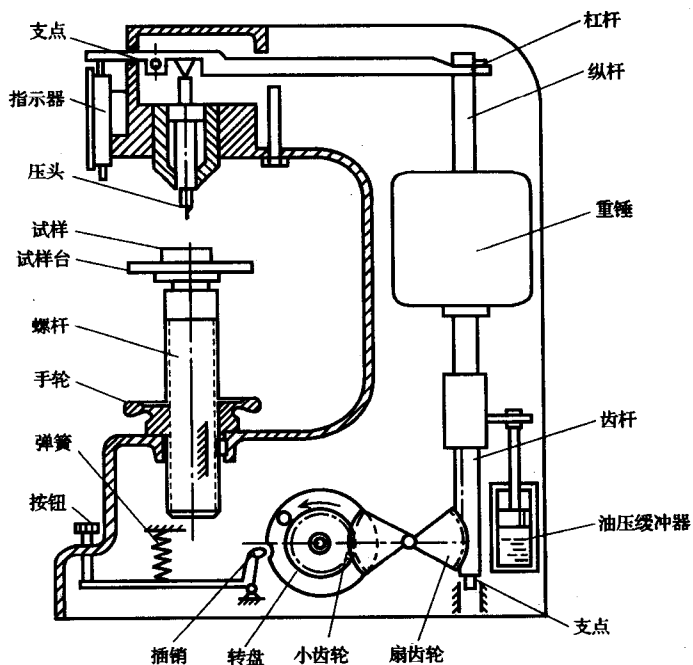
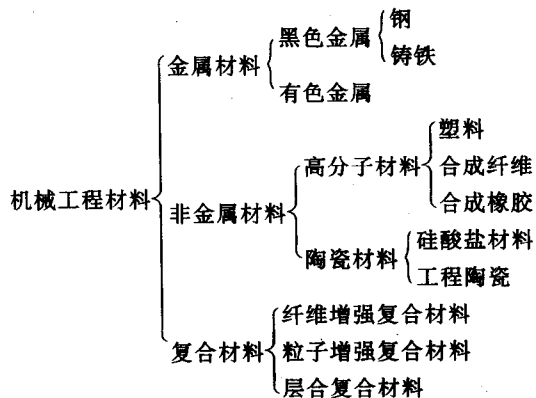


图 1-1 HR-150 型洛氏硬度计机构示意图

1.2 机械工程材料的分类及应用

1.2.1 机械工程材料的分类

常用的机械工程材料可分为以下类型：



1.2.2 常用钢铁材料简介

1. 钢

工业上将含碳质量分数小于 2.11% ($\omega_c < 2.11\%$) 的铁碳合金称为钢。钢具有良好的使用性能和工艺性能, 因此获得了广泛的应用。

1) 钢的分类

钢的分类方法很多, 常用的分类方法有以下几种。

(1) 按化学成分分。

碳素钢: 低碳钢 ($\omega_c < 0.25\%$)、中碳钢 (ω_c 为 $0.25\% \sim 0.60\%$)、高碳钢 ($\omega_c > 0.60\%$);

合金钢: 低合金钢 (含合金元素质量分数小于 5%, 即 $\omega_{Me} < 5\%$)、中合金钢 (ω_{Me} 为 $5\% \sim 10\%$)、高合金钢 ($\omega_{Me} > 10\%$)。

(2) 按用途分。

结构钢: 可分为工程结构用钢和机器零件用钢;

工具钢: 用于制作各类工具, 包括刃具钢、量具钢和模具钢;

特殊性能钢: 可分为不锈钢、耐热钢和耐磨钢等。

(3) 按质量分 (按杂质元素硫 S 和磷 P 的含量来分)。

普通质量钢 ($\omega_s \leq 0.05\%$, $\omega_p \leq 0.045\%$)、优质钢 ($\omega_{s,p} \leq 0.035\%$)、高级优质钢 ($\omega_s \leq 0.02\%$, $\omega_p \leq 0.03\%$)。

2) 钢的牌号、性能及用途

(1) 碳钢。

① 碳素结构钢: 碳素结构钢的牌号表示方法通常由屈服点“屈”字汉语拼音第一个字母 (Q)、屈服点数值、质量等级符号 (A、B、C、D 四种, 其质量等级依次增高) 及脱氧方法符号 (F—沸腾钢、Z—镇静钢、b—半镇静钢、TZ—特殊镇静钢) 等四部分按顺序组成, 如 Q235-A·F 表示屈服点为 235MPa、质量为 A 级的沸腾钢。碳素结构钢一般以热轧空冷状态供应, 主要用来制造各种型钢、薄板、冲压件或焊接结构件以及一些力学性能要求不高的机器零件。

② 优质碳素结构钢: 优质碳素结构钢的牌号用两位数字表示。两位数字表示钢中平均含碳质量分数的万倍。如 45 钢, 表示平均 ω_c 为 0.45% 的优质碳素结构钢。常用的优质碳素结构钢有:

15, 20 钢, 其强度、硬度较低, 塑性好, 常用于制造冲压件或形状简单、受力较小的渗碳件;

40, 45 钢, 经适当的热处理 (如调质) 后, 具有较好的综合力学性能, 主要用于制造机床中形状简单、要求中等强度、韧性的零件, 如轴、齿轮、曲轴、螺栓和螺母等;

60, 65 钢, 经淬火加中温回火后, 具有较高的弹性极限和屈强比 (σ_s/σ_b), 常用以制造直径小于 120mm 的小型弹簧。

③ 碳素工具钢: 碳素工具钢可分为优质碳素工具钢和高级优质碳素工具钢两类。它的牌号用“T”表示, 后面的数字表示平均含碳质量分数的千倍。若为高级优质, 则需在数字后加“A”。例如, T10A 钢表示 $\omega_c=1.0\%$ 的高级优质碳素工具钢。碳素工具钢常用的牌号有 T7, T8, ..., T13, 各牌号淬火后硬度相近, 但随含碳质量分数的增加, 钢的耐磨性增加, 韧性降低。因此, T7、T8 适于制作承受一定冲击的工具, 如钳工凿子等; T9、T10、T11 适于制作冲击较小而硬度、耐磨性要求较高的小丝锥、钻头等; T12、T13 则适于制作耐磨但不承受冲击的锉刀、刮刀等。

(2) 合金钢。

为了提高钢的力学性能、工艺性能或某些特殊性能, 在冶炼中有目的地加入一些合金元素, 这种钢称为合金钢。生产中常用的合金元素有锰、硅、铬、镍、钼、钨、钒、钛等。通过合金化, 大大提高了材料的性能, 因此, 合金钢在制造机器零件、工具、模具及特殊性能工件方面, 得到了广泛的应用。常用合金钢的名称、牌号、用途如表 1-2 所示。

表 1-2 常用合金钢的名称、牌号、用途

名 称	常用牌号	用 途
低合金高强度结构钢	14MnV	船舶、桥梁、车辆、大型钢结构、起重机械
合金结构钢	20CrMnTi	汽车、拖拉机的齿轮、凸轮
	40Cr	齿轮、轴、连杆螺栓、曲轴
合金弹簧钢	60Si2Mn	汽车和拖拉机减振板簧、螺旋弹簧
滚动轴承钢	GCr15	中、小型轴承内外套圈及滚动体
量具刃具用钢	9SiCr	丝锥、板牙、冷冲模、铰刀
高速工具钢	W18Cr4V	齿轮铣刀、插齿刀
冷作模具钢	Cr12	冷作模及冲头、拉丝模、压印模、搓丝板
热作模具钢	5CrMnMo	中、小型热锻模

2. 铸铁

铸铁是含碳质量分数大于 2.11%, 主要组成元素为铁、碳、硅, 并含有较多硫、磷、锰等杂质元素的铁碳合金。由于铸铁具有良好的铸造性能、切削加工性、减振性、减磨性、低的缺口敏感性, 并且成本较低, 因此, 在机械工业中得到了广泛的应用。

1) 铸铁的分类

根据铸铁中石墨形态的不同, 铸铁常分为: 灰铸铁 (片状石墨)、球墨铸铁 (球状石墨)、蠕墨铸铁 (蠕虫状石墨) 和可锻铸铁 (团絮状石墨)。

2) 铸铁的牌号、性能及用途

(1) 灰铸铁。灰铸铁的牌号表示方法为“HT+数字”，其中“HT”是“灰铁”两字汉语拼音的缩写，三位数字表示最低抗拉强度。常用的牌号为HT100，HT150，…，HT350。灰铸铁的抗拉强度、塑性、韧性较低，但抗压强度、硬度、耐磨性较好，并具有铸铁的其他优良性能，因此，广泛应用于机床床身、手轮、箱体、底座等。

(2) 球墨铸铁。球墨铸铁的牌号表示方法为“QT+数字”，其中“QT”是“球铁”两字汉语拼音的缩写，两组数字分别表示最低抗拉强度和最小伸长率，如QT600-3。球墨铸铁通过热处理强化后力学性能有较大提高，应用范围较广，可代替中碳钢制造汽车和拖拉机中的曲轴、连杆、齿轮等。

(3) 蠕墨铸铁。蠕墨铸铁的牌号表示方法为“RuT+数字”，其中“RuT”是“蠕铁”两字汉语拼音的缩写，三位数字表示最低抗拉强度。蠕墨铸铁的强度、韧性、疲劳强度等均比灰铸铁高，但比球墨铸铁低，主要用以制造柴油机气缸套、气缸盖、阀体等。

(4) 可锻铸铁。可锻铸铁牌号表示方法为“KT+H(或B,或Z)+数字”，其中“KT”是“可铁”两字汉语拼音的缩写，后面的“H”表示黑心可锻铸铁，“B”表示白心可锻铸铁，“Z”表示珠光体可锻铸铁，其后两组数字分别表示最低抗拉强度和最小伸长率，常用的有KTH300-06等。可锻铸铁力学性能优于灰铸铁。因此，常用以制造管接头、农具及连杆类零件等。

1.2.3 钢的热处理

钢的热处理是将钢在固态下进行不同的加热、保温、冷却，通过改变材料的内部组织获得所需性能的一种工艺。热处理的主要目的是消除毛坯件的缺陷，改变钢的工艺性能和使用性能，保证零件质量，从而延长产品的使用寿命。因此，热处理在机械工业中得到了广泛的应用。据统计，机床、汽车、拖拉机的70%左右零件需要进行热处理，而刀具、量具、模具及滚动轴承则必须全部进行热处理。由于零件的成分、形状、大小、工艺性能及使用性能不同，热处理的方法及工艺参数也不同。常用的热处理方法有：普通热处理（退火、正火、淬火、回火）及表面热处理（表面淬火、化学热处理）等。各种热处理作为独立的工序，根据零件的加工工艺性及机械性能等要求，穿插于热加工和冷加工工序之间。

热处理分预先热处理和最终热处理两类。退火、正火通常作为预先热处理，目的是消除铸锻件的缺陷和内应力，改善切削加工性能，为最终热处理作组织准备；淬火加回火通常作为最终热处理，目的是改善零件的力学性能，从而延长零件的使用寿命。

1. 退火与正火

(1) 退火。将钢加热到某一温度保持一定时间,然后随炉缓慢冷却,使钢获得平衡组织的热处理方法称为退火。退火后的材料硬度较低,一般用布氏硬度试验法测试。常用的退火方法有消除中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。将钢加热到较高温度保持一定时间,然后出炉空冷的热处理方法称为正火。由于正火的冷却速度较退火快,因此,正火所获得的组织比退火细,正火件的强度、硬度较退火件高,生产周期短,操作简便。所以,在可能的情况下,应尽量采用正火取代退火。生产中,正火常用来提高低碳钢的硬度,改善其切削加工性能。对于一些使用性能要求不高的中碳钢零件,亦可采用正火代替调质(淬火+高温回火)作为最终热处理。

2. 淬火与回火

(1) 淬火。将钢加热到较高温度保持一定时间,然后在水或油中快速冷却的热处理方法称为淬火。通过淬火,材料的内部组织发生了变化,零件的硬度和耐磨性提高,但塑性、韧性下降,并产生内应力。因此,为了改善零件的性能,消除内应力,防止零件变形开裂,淬火后的零件必须及时回火。

(2) 回火。将淬火钢加热到某一温度保持一定时间,再冷却的热处理方法称为回火。回火温度不同,回火后的零件性能也不同,因此,根据零件的使用条件和使用性能要求,可将回火分为低温回火、中温回火及高温回火三大类,常用的回火方法及其应用如表 1-3 所示。

表 1-3 常用的回火方法及其应用

回火方法	回火温度/℃	力学性能	应用范围	大致硬度 HRC
低温回火	150~250	高的硬度、耐磨性	刀具、量具、冷冲模、滚动轴承等	58~64
中温回火	350~450	高的弹性、韧性	弹簧及热锻模具等	35~50
高温回火	500~650	良好综合力学性能	连杆、螺栓、齿轮及轴类	20~30

3. 碳钢的热处理工艺

(1) 加热温度的确定。碳钢普通热处理的加热温度,原则上可按表 1-3 和表 1-4 选定。但生产中,应根据工件实际情况作适当调整。常用碳钢的临界点及普通热处理的加热温度如表 1-5 所示。热处理加热温度不能过高,否则会使工件的晶粒粗大、氧化、脱碳严重,变形、开裂倾向增加。但加热温度过低,也达不到要求的效果。