

机械制造基础与实践

主 编 张树军
副主编 刘 悦 张国斌 刘春城
主 审 王仁德



東北大學出版社
Northeastern University Press

© 张树军 2006

图书在版编目 (CIP) 数据

机械制造基础与实践 / 张树军主编. — 沈阳 : 东北大学出版社, 2006.8

ISBN 7-81102-261-3

I. 机… II. 张… III. 机械制造—高等学校—教材 IV. TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 050100 号

出 版 者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

邮编: 110004

电话: 024—83687331 (市场部) 83680267 (社务室)

传真: 024—83680180 (市场部) 83680265 (社务室)

E-mail: neuph @ neupress.com

http: // www. neupress. com

印 刷 者: 沈阳农业大学印刷厂

发 行 者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 184mm × 260mm

印 张: 19.5

字 数: 499 千字

出版时间: 2006 年 8 月第 1 版

印刷时间: 2006 年 8 月第 1 次印刷

责任编辑: 冯淑琴

责任出版: 杨华宁

封面设计: 唐敏智

责任校对: 张淑萍

定 价: 25.00 元

前 言

为满足学生工程训练教学需要,按照工程训练教学大纲的要求,学习和借鉴其他兄弟学校工程训练实习教材的教学内容,结合本校工程训练中心现有的教学资源,同时充分考虑现代机械制造业的发展状况,编写本书作为大学本科生工程训练实习教材。

本书具有如下特点:

1. 充分考虑到机械制造业发展状况,大幅度增加先进制造技术的内容。
2. 在每部分内容安排上,在基础知识、基础理论和基本技能方面广泛参阅诸多相关资料,力求概念准确、表达直观且简单易懂,体现出大学生工程训练教学性质。
3. 本书力求以东北大学工程训练中心现有教学设备为例子进行重点介绍,对该工种相关的且一般工厂常用的其他设备也进行了简单的介绍。
4. 先进制造技术部分,除介绍先进制造技术基本知识以外,相关数控系统、程序指令、机床操作等内容,主要结合东北大学工程训练中心现有的数控设备进行编写。
5. 各部分内容的典型工件、典型工艺都与学生实际操作件紧密结合。

本书由东北大学工程训练中心组织编写,第1、2、3、4章由张国斌编写,第5章由王仁德编写,第6、7、8章由刘春城编写,第9、10章由张树军编写,第11、12、13、14、15章由刘悦编写,由张树军担任主编。

本书由王生利、石庚儒、王仁德、张树魁、佟铭铎等教授进行审核,并提出许多宝贵意见,由王仁德教授担任主审。

本书的出版得到东北大学教务处的大力支持。在编写过程中,张莉同志做了大量的工作,也得到王殿宽、郑文忠、张鹏、张立君、杨玉良等同志的帮助。在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在欠妥之处,敬请读者批评指正。

编 者
2006年6月

目 录

第1章 金属材料及热处理	1
1.1 金属材料	1
1.2 热处理	11
第2章 铸 造	19
2.1 概 述	19
2.2 造型材料及造型(芯)方法	20
2.3 铸造工艺	31
2.4 熔 炼	38
2.5 铸件的浇注及后期处理	41
2.6 特种铸造及铸造方法比较	45
第3章 锻 压	50
3.1 概 述	50
3.2 锻 造	51
3.3 冲 压	63
3.4 锻压新技术新工艺简介	66
3.5 钢的火花鉴别	67
第4章 焊 接	70
4.1 概 述	70
4.2 焊条电弧焊	71
4.3 气焊与气割	81
4.4 其他常用焊接与切割方法	86
4.5 焊接缺陷与检验	91
4.6 焊接与切割新技术新工艺简介	94
第5章 切削加工基础知识	97
5.1 概 述	97
5.2 金属切削机床	98
5.3 切削刀具的基本知识	104
5.4 夹具和量具	107
5.5 工艺过程和工艺规程	107
第6章 车削加工	108
6.1 概 述	108

6.2 卧式车床	109
6.3 车削用量及其选择	110
6.4 车刀选择	111
6.5 车床附件及其使用	112
6.6 车削加工应用	117
6.7 其他类型车床	127
6.8 制定车削工艺内容、原则及典型零件车削工艺	129
6.9 先进车削技术及发展简介	135
第7章 铣削加工与齿形加工	137
7.1 概 述	137
7.2 铣 床	137
7.3 铣刀及其用途和安装	139
7.4 铣床附件及其使用	142
7.5 铣削加工	144
7.6 齿形加工方法	150
7.7 铣削技术发展简介	153
第8章 刨削加工	154
8.1 概 述	154
8.2 牛头刨床	154
8.3 刨削加工	158
8.4 其他类型刨床简介	160
8.5 典型件刨削加工	163
第9章 磨削加工	165
9.1 磨 床	165
9.2 砂 轮	167
9.3 磨削工艺	170
9.4 典型零件的磨削	172
第10章 钳 工	175
10.1 概 述	175
10.2 划 线	176
10.3 锯 削	180
10.4 锉 削	182
10.5 刮 削	186
10.6 钻孔、扩孔及铰孔	187
10.7 攻丝与套丝	190
10.8 装 配	193
10.9 典型件加工	196

第 11 章 数控加工技术基础	199
11.1 数控机床的组成与工作原理.....	199
11.2 数控机床的分类.....	201
11.3 数控加工.....	204
11.4 数控机床的发展方向.....	206
11.5 数控机床的坐标系统.....	206
11.6 数控程序常用指令及格式.....	209
11.7 刀具补偿指令.....	211
11.8 数控编程方法.....	213
第 12 章 数控车床	215
12.1 数空车床概述.....	215
12.2 编程基础.....	217
12.3 常用编程指令的含义与格式.....	220
12.4 综合实例.....	230
12.5 CK6136 车床操作面板说明及操作	233
第 13 章 数控铣床	239
13.1 数控铣床的概述.....	239
13.2 数控铣床编程基础.....	242
13.3 编程实例.....	248
13.4 数控铣床的操作.....	252
第 14 章 加工中心	259
14.1 加工中心概述.....	259
14.2 SIEMENS 840D 数控系统基本编程指令	261
14.3 TH5680 (西门子 840D 数控系统) 加工中心的基本操作	271
14.4 加工中心常用刀具及辅助工具.....	280
第 15 章 数控电火花线切割机床	285
15.1 电火花加工的基本原理.....	285
15.2 数控电火花线切割原理.....	286
15.3 数控线切割加工的程序编制.....	291
15.4 YH 线切割自动编程系统	296
15.5 线切割机床的基本操作.....	302
参考文献.....	304

第 1 章 金属材料及热处理

材料是社会发展与进步的物质基础。人类从石器时代、青铜器时代、铁器时代发展到现代,都与新材料的出现息息相关。尤其在当代,材料、能源、信息已成为现代技术的三大支柱。而与现代技术密不可分的当属工程材料。

工程材料是指制造工程结构、机械零件及各种工具的材料。工程材料按用途可分为结构材料和功能材料;按化学成分可分为金属材料、非金属材料、复合材料。结构材料是指工程上要求强度、硬度、塑性、韧性等力学性能的材料;功能材料是指工程上要求具有电、光、声、磁、热等功能及效应的材料;金属材料指纯金属及其合金;非金属材料广义上指金属材料以外的所有材料,这里主要指有机高分子材料(如塑料、橡胶、合成纤维等)和无机陶瓷材料;复合材料是指两种或两种以上不同材料的组合材料。由于金属材料具有良好的力学性能、物理性能、化学性能及工艺性能,因此金属材料是目前应用最广泛的工程材料。

1.1 金属材料

1.1.1 金属材料的性能

金属材料的性能包括使用性能和工艺性能,使用性能包括力学性能、物理性能、化学性能。

1. 力学性能

金属材料在外力作用时所表现出来的性能称为力学性能,又称为机械性能,如强度、硬度、塑性、韧性和疲劳强度等。材料的力学性能是设计零件及选择材料的主要依据。

(1) 强度

金属材料在外力的作用下抵抗变形和断裂的能力,称为强度。材料的强度越高,其所能承受的外力也越大。按照外力作用的性质不同,强度可分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度等。工程上表示材料强度的常用指标有屈服强度(屈服极限)和抗拉强度(断裂强度)。屈服强度就是金属材料发生屈服现象时的屈服极限,通常用 σ_s 表示;抗拉强度就是金属材料在拉断前所能承受的最大应力,通常用 σ_b 表示。屈服强度和抗拉强度可用拉伸试验测定。图 1.1(a)所示是标准的拉伸试样,把它装夹在拉伸试验机的两个夹头上,缓慢加载,试样逐渐伸长,直至拉断为止,如图 1.1(c)所示。在拉伸过程中,试验机自动绘出以拉力 F 为纵坐标,以试样伸长量 ΔL 为横坐标的拉伸曲线。低碳钢的拉伸曲线如图 1.2 所示。

材料受外力作用时,其内部也产生了抵抗力;材料单位横截面积上的抵抗力称为应力,通常用 σ 表示,单位为 Pa。应力用下式计算:

$$\sigma = F/S \quad \text{Pa}$$

式中 F ——材料所承受的力, N;

S ——材料横截面积, m^2 。

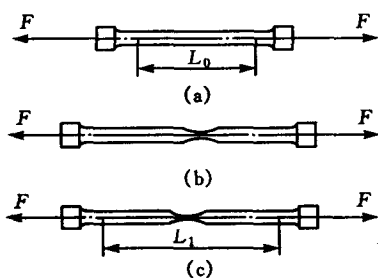


图 1.1 拉伸试样及拉伸过程

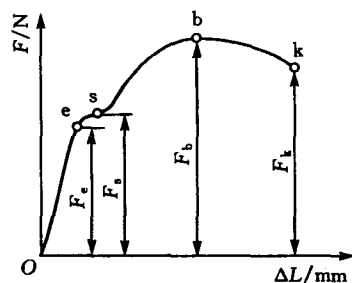


图 1.2 低碳钢的拉伸曲线

在低碳钢拉伸曲线中, Oe 段外力较小, 试样处于弹性变形阶段, 外力去除, 试样恢复原长。在 e 点试样单位面积上承受的拉力称为弹性极限, 用 σ_e 表示。弹性极限用下式计算:

$$\sigma_e = F_e / S_0 \text{ MPa}$$

式中 F_e ——试样保持弹性时所承受的最大拉力, N;

S_0 ——试样原始横截面积, mm^2 。

当外力超过 F_e 后, 试样除了发生弹性变形外, 还发生塑性变形, 即试样的部分变形被保留下来, 去除外力后, 试样不能恢复原长。外力达到 F_s 时, 曲线从 s 点开始进入一段很短的水平线段, 这说明拉力不增大而伸长量却在继续增加, 这种现象称为“屈服”。试样产生屈服时单位面积上所承受的力, 称为材料的屈服强度, 用 σ_s 表示。屈服强度用下式计算:

$$\sigma_s = F_s / S_0 \text{ MPa}$$

式中 F_s ——试样产生屈服现象时的拉力, N;

S_0 ——试样原始横截面积, mm^2 。

有些金属材料在拉伸曲线中没有明显的水平线段, 它的屈服极限很难测定, 通常规定产生 0.2% 塑性变形时, 试样单位面积上所承受的拉力作为屈服极限, 用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

试样屈服后, 开始产生明显的塑性变形。当拉力超过 F_s 后, 随着拉力的增大, 塑性变形明显增大。当拉力增大到 F_b 时, 试样局部开始变细, 产生“缩颈”, 如图 1.1(b) 所示, 试样承受的拉力达到最高点。随着试样横截面积的减小, 试样继续变形所需要的拉力也在减小, 当拉力达到 F_k 时, 试样在缩颈处被拉断。试样在 b 点时单位面积上所承受的拉力称为抗拉强度, 用 σ_b 表示。抗拉强度可用下式计算:

$$\sigma_b = F_b / S_0 \text{ MPa}$$

式中 F_b ——试样在拉断前承受的最大拉力, N;

S_0 ——试样原始横截面积, mm^2 。

屈服强度、抗拉强度和弹性极限的单位都是 MPa, 它们是机械设计和合理选材的重要依据。

(2) 硬度

材料抵抗硬的物体压入表面的能力称为硬度, 其大小可用仪器来测定。根据测定方法的不同可分为布氏硬度(用 HB 表示)、洛氏硬度(用 HR 表示)、肖氏硬度(用 HS 表示)和维氏硬度(用 HV 表示)等, 实际中使用最多的是布氏硬度和洛氏硬度。

① 布氏硬度。布氏硬度的测定方法是(见图 1.3): 用直径为 D 的淬火钢球或硬质合金

钢球，在规定的载荷 F 作用下压入试样表面，保持一定时间后，卸除载荷，取下试样，用读数显微镜测出表面压痕直径 d ；根据压痕直径、压头直径及所用载荷查表，可求出布氏硬度值。钢球直径规格为 2.5mm、5.0mm 和 10.0 mm 三种，载荷的大小可以从 153~30000N 范围按等级选取，载荷保持时间一般为 10s、30s 或 60s。常用的压头直径为 10.0 mm、载荷为 3000N。布氏硬度不能测试太硬的材料，一般在 450HB 以上就不能使用。因压痕面积较大，故 HB 值的代表性较全面，且数据的重复性很好，但不适合成品检验。

布氏硬度值为压痕单位球面积上承受的载荷，单位为 N/mm^2 (但一般都不写出)。用淬火钢球做压头时，用 HBS 表示，适用于硬度小于 450HBS 的退火钢、灰铸铁、有色金属等；用硬质合金钢球做压头时，用 HBW 表示，适用于硬度小于 650HBW 的淬火钢等。

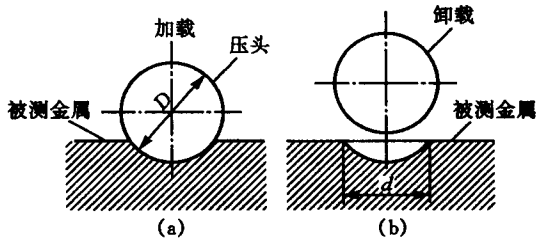


图 1.3 布氏硬度测定法

② 洛氏硬度。洛氏硬度的测定是用顶角为 120° 的金刚石圆锥或直径为 1.588mm 的淬火钢球作压头，以相应的载荷压入试样表面，由压痕深度确定其硬度值；压痕越浅，硬度越高。洛氏硬度可从硬度计读数装置直接读出。图 1.4 是洛氏硬度 HRC 测定过程的示意图。测量时先加 10kg 的初载荷，使压头与工件的表面接触良好，同时将硬度计上的刻度盘指针对准零 (图 1.4a)，再加上 140kg 的主载荷，使金刚石圆锥压入工件表面 (图 1.4b)，停留一定时间后将主载荷卸去，材料会回弹少许 (图 1.4c)。此时的压痕深度 $h(h_3 - h_1)$ ，就是测量硬度的依据。为方便起见，将洛氏硬度值定义为 $\text{HRC} = 100 - h/0.002$ (表盘上每一格相当于 0.002mm 深度)。实际测量时，这一数值可以由刻度盘上直接读出，非常方便。

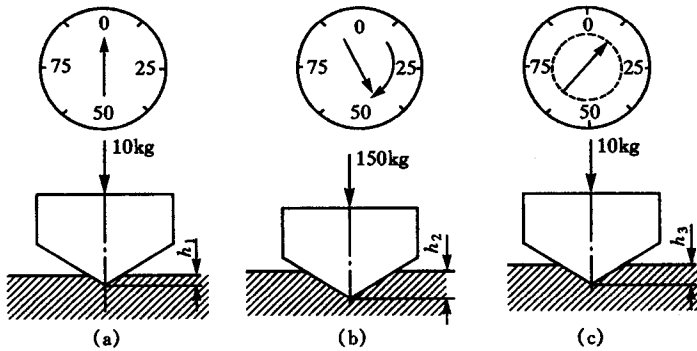


图 1.4 洛氏硬度测量过程示意图

洛氏硬度有三种常用标注，分别以 HRC、HRB、HRA 表示，硬度值数字在字母前面，如 60HRC。三种洛氏硬度的符号、试验条件和应用范围如表 1.1 所示。

由于硬度反映金属材料在局部范围内抵抗弹性变形、塑性变形和断裂的能力，所以硬度和强度之间有一定的关系。一般金属材料的硬度越高，其耐磨性越好、强度也越高。实际中常通过测定硬度来粗略地判断材料的强度。在经验上，有下列数据可供参考：

低碳钢	$\sigma_b = 0.36\text{HB}$;	高碳钢	$\sigma_b = 0.34\text{HB}$;
调质合金钢	$\sigma_b = 0.33\text{HB}$;	灰铸铁	$\sigma_b = 0.1 \text{ HB}$.

表 1.1 三种洛氏硬度的符号、试验条件及应用范围

符 号	压 头	载荷/N	硬度值有效范围	应用范围
HRC	120° 金钢石圆锥	1470	17~70HRC, 相当于 211HBS 以上	淬火钢, 调质
HRB	φ1.588 淬火钢球	980	20~100HRB, 相当于 72~230HBS	退火钢, 灰铸铁, 有色金属
HRA	120° 金钢石圆锥	588	70~86HRA, 相当于 360HBS 以上	硬质合金, 表面淬火钢

(3) 塑性

材料在外力作用下产生塑性变形而不破坏的能力称为塑性。常用的塑性指标有伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 。它们在标准试样的拉伸试验中可同时测出, 可用下式计算:

$$\delta = (L_1 - L_0) / L_0 \times 100\% \quad \psi = (S_0 - S_1) / S_0 \times 100\%$$

式中 L_0 ——试样原始标距长度, mm;

L_1 ——试样拉断后标距长度, mm;

S_0 ——试样原始横截面积, mm^2 ;

S_1 ——试样断裂处的横截面积, mm^2 。

伸长率 δ 的大小与试样尺寸有关。用标距长度等于 10 倍直径的试样测得的伸长率记为 δ_{10} 或 δ , 用标距长度等于 5 倍直径的短试样测得的伸长率记为 δ_5 。通常 δ_5 大于 δ_{10} 。 δ 和 ψ 愈大, 材料的塑性愈好。虽然塑性不直接用于设计计算, 但很多零件要求材料具有一定的塑性, 以保证零件工作的安全性。要进行锻压加工的材料必须具有足够的塑性; 铸铁的塑性几乎等于零, 所以铸铁不能进行锻造等压力加工。

(4) 韧性

韧性是指材料在塑性变形和断裂的全过程中吸收能量的能力, 它是材料强度和塑性的综合表现。常用韧性指标有冲击韧度和断裂韧度。

金属材料在冲击载荷作用下抵抗断裂破坏的能力称为冲击韧度, 它是一个动载性能。冲击韧度大小用冲击值来衡量, 冲击值的测定是用带缺口的标准试样在冲击试验机上进行的(如图 1.5)。冲击韧度可用下式计算:

$$\alpha_k = A_k / S$$

式中 α_k ——冲击韧度(冲击值), J/m^2 ;

A_k ——冲断所消耗的功, J;

S ——试样缺口处的截面积, m^2 。

对于脆性材料(如铸铁、淬火钢等)的冲击试验, 试样一般不开缺口。冲击值的大小与试样形状、表面粗糙度、内部组织、试验温度等很多因素有关, 因此冲击值一般只能作为选择材料的参考, 不直接用于强度计算。

断裂韧度是指材料抵抗裂纹失稳扩展的能力, 单位为 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 。

(5) 疲劳强度

金属材料在交变应力作用时, 抵抗疲劳断裂破坏的能力称为疲劳强度。

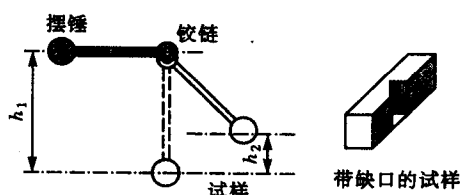


图 1.5 冲击实验与试样

很多零件往往受到大小和方向不断变化的工作载荷(称为疲劳载荷)的作用,例如旋转的轴类零件、齿轮等,他们发生突然断裂时的应力往往大大低于该材料的强度极限,这种断裂称为疲劳断裂。据统计有80%以上的机械零件的损坏都是由金属疲劳引起的。金属疲劳具有隐蔽性和突发性。

金属材料所承受的疲劳应力(σ)与其断裂前的应力循环次数(N),具有如图1.6所示的疲劳曲线关系。当应力下降到某值之后,疲劳曲线成为水平线,这表示该材料可经受无数次应力循环而不发生疲劳断裂,这个应力值称为疲劳极限或疲劳强度,亦即金属材料在无数次循环载荷作用下不致引起断裂的最大应力。当应力对称循环时,疲劳强度以符号 σ_{-1} 表示。

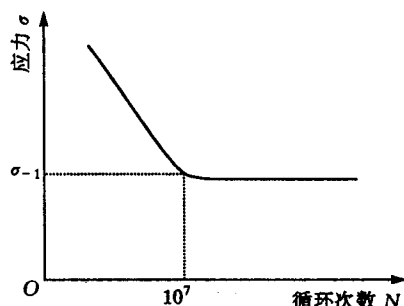


图 1.6 疲劳曲线

由于实际测试时不可能做到无数次应力循环,故规定各种金属材料应有一定的应力循环基数,如钢材以 10^7 为基数,既钢材的应力循环次数达到 10^7 仍不发生疲劳断裂,就认为不会再发生疲劳断裂了。对于非铁合金和某些超高强度钢,则常取 10^8 为基数。产生疲劳断裂的原因,一般认为是由于材料含有杂质、表面划痕及其他能引起应力集中的缺陷,导致产生微裂纹,这种微裂纹随应力循环次数增加而逐渐扩展,致使零件有效截面逐步缩减,直至不能承受所加载荷而突然断裂。

2. 物理性能

金属材料的物理性能有密度、熔点、热膨胀性、导热性、导电性和磁性等。不同的机械零件有不同的要求,因此对其物理性能的要求也有所不同。如设计电机、电器零件时,要考虑材料的导电性;设计飞机零件时,要考虑材料的密度;设计热交换器零件时,要考虑材料的导热性等等。金属材料的物理性能有时对加工工艺也有一定的影响,如高素钢的导热性差,锻造时加热宜应用低的升温速度。

3. 化学性能

金属材料的化学性能是指其在室温或高温时抵抗各种介质侵蚀的能力,主要有耐酸性、耐碱性、抗氧化性等。在腐蚀介质中或在高温下工作的零件,比在空气中或室温下的腐蚀更加强烈,因此设计这类零件或构件时,应特别考虑金属材料的化学性能,如化工设备、医疗器材等通常采用不锈钢制造;内燃机和发电设备的一些零件通常采用耐热钢制造。

4. 工艺性能

制造机械零件时,金属材料要经过铸造、锻造、焊接及切削加工等工艺过程。金属材料的工艺性能是指适应进行这些加工工艺要求的能力,也是其力学性能在这些加工过程中的综合反映。工艺性能按工艺方法可分为:铸造性、锻压性、焊接性、热处理性和切削加工性等。

铸造性指金属能否用铸造方法制成优良铸件的性能,包括金属的液态流动性、冷却时的收缩率和偏析倾向等;锻压性指金属能否用锻压方法制成优良锻压件的性能,它与金属的塑性及塑性变形抗力等因素有关;焊接性指金属是否容易用一定的焊接方法制成优良焊接接头的性能,优良焊接头指无裂缝、无气孔等缺陷,并具有一定的机械性能;热处理性指金属能否通过热处理改变其组织和提高其性能的能力,一般包括淬硬性、淬透性等,它与金属的成

份等因素有关；切削加工性指金属是否容易被刀具切削的性能，金属切削加工性能好，刀具磨损小，切削用量大，表面粗糙度低。

良好的工艺性能有利于零件的加工成形，并能达到保证质量和降低成本的目的。因此在设计零件和选择工艺方法时，必须充分考虑金属材料的工艺性能。图 1.7 为碳钢的成分、组织、性能间的关系示意图。

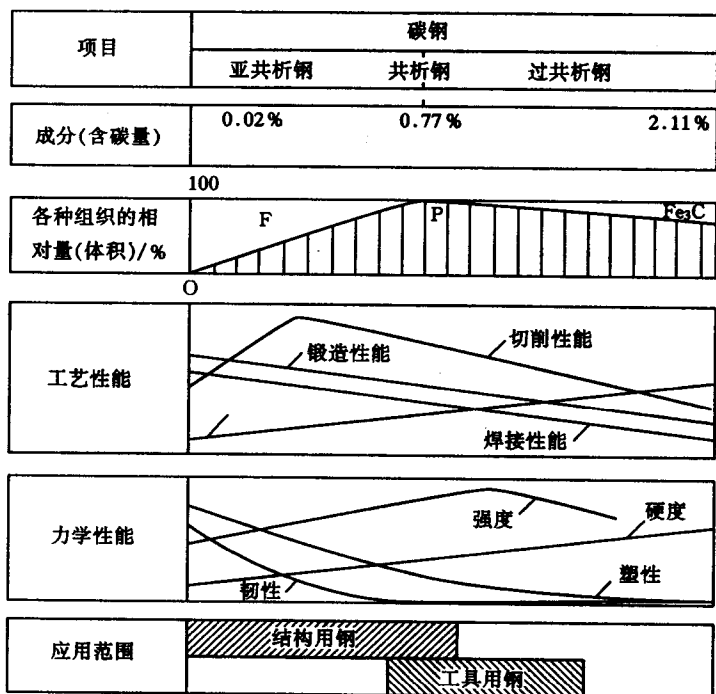


图 1.7 碳钢的成分、组织、性能间的关系示意图

F—铁素体；Fe₃C—渗碳体；P—珠光体

1.1.2 常用金属材料

金属材料分为黑色金属材料和有色金属材料两大类。黑色金属材料即钢铁材料，是以铁碳为主要成分的合金；有色金属材料是指钢铁材料以外的金属材料，如铝及铝合金，铜及铜合金等。

1. 钢

根据钢的成分不同，钢可分为碳素钢和合金钢。

(1) 碳素钢

碳素钢是化学成分以含铁和碳为主(碳质量分数大于 0.03%，小于 2.11%)，并含有少量的硅、锰、硫、磷等杂质元素的铁碳合金，简称碳钢。其中硅、锰是有益元素，对钢有一定的强化作用；硫、磷是有害元素，分别增加钢的热脆性和冷脆性。

① 碳钢的分类。

a. 按碳钢中碳的质量分数分为三类：

低碳钢： $w(C) \leq 0.25\%$ ；如 10、15、Q235-A；

中碳钢： $w(C)=0.25\% \sim 0.6\%$ ，如 35、45、Q275；

高碳钢： $w(C)>0.6\%$ ，如 70、75、T8、T10A。

b. 按碳钢的质量即碳钢中有害杂质 S、P 的质量分数分为三类：

普通碳素钢： $w(S) \leq 0.050\%$ ， $w(P) \leq 0.045\%$ ，如 Q195、Q235-A；

优质碳素钢： $w(S) \leq 0.035\%$ ， $w(P) \leq 0.035\%$ ，如 15、45、T8；

高级优质碳素钢： $w(S) \leq 0.020\%$ ， $w(P) \leq 0.030\%$ ，如 T10A。

c. 按碳钢的用途分为两类：

碳素结构钢：指用于制造机械零件和各种工程构件的碳钢，这类碳钢属于低碳钢和中碳钢，质量上有普通碳素钢和优质碳素钢；

碳素工具钢：指主要用于制造各种刀具、模具、量具的碳钢，这类钢属于高碳钢，质量上有优质碳素钢和高级优质碳素钢。

② 常用碳素钢的种类、牌号和用途。由于碳素钢冶炼容易，价格低廉，工艺性能良好，因此是工业上应用最广泛的金属材料。常用碳素钢的种类、牌号和用途见表 1.2。

表 1.2 碳素钢的种类、牌号和用途

种 类	普通碳素结构钢	优质碳素结构钢	碳素工具钢	铸造碳钢
牌 号	Q195, Q215-A, Q235-C, Q255-B, Q235A-F	08F, 15, 20, 35, 45, 60, 45Mn, 65Mn	T7, T8, T10, T10A, T12, T13	ZG200-400, ZG270-500, ZG340-640
牌 号 意 义	“Q”表示屈服点；数值表示最小屈服值；“A”表示质量等级，分 A、B、C、D 四级，依次提高；“F”表示沸腾钢	两位数字表示钢中碳的平均质量分数的万分之几；锰的质量分数在 0.7%~1.2% 时加 Mn 表示	“T”表示碳素工具钢；其后的数字表示碳的质量分数的千分之几；“A”表示高级优质	“ZG”表示铸钢；前 3 位数字表示最小屈服强度值，后 3 位数字表示最小抗拉强度值；强度越高，碳的质量分数越高（一般为 0.2%~0.6%）
用 途 举 例	建筑结构件、螺栓、小轴、销子、键、连杆、法兰盘、锻件坯料等	冲压件、焊接件、轴、齿轮、活塞销、套筒、蜗杆、弹簧等	冲头、錾子、锉刀、板牙、圆锯片、丝锥、钻头、镗刀、量规等	机座、箱体、连杆、齿轮、棘轮等

(2) 合金钢

为了改善和提高碳钢的性能，在碳钢的基础上有目的地加入一定量的其他合金元素的钢称为合金钢。常用合金元素有硅、锰、镍、铬、铜、钒、钛、稀土元素等，把它们加入到钢中，可提高钢的力学性能，改善钢的热处理性能，或者使钢具有耐腐蚀、耐热、耐磨、高磁性等特殊性能。

① 合金钢的分类。

a. 按合金元素质量分数的多少可分为：

低合金钢：含合金元素总量 $\leq 5\%$ ；

中合金钢：含合金元素总量为 5%~10%；

高合金钢：含合金元素总量 $\geq 10\%$ 。

b. 按合金钢质量即合金钢中含有害杂质 S、P 的质量分数可分为：

普通低合金结构钢： $w(S) \leq 0.050\%$ ， $w(P) \leq 0.045\%$ （如低合金高强度结构钢）；

优质合金钢： $w(S) \leq 0.035\%$ ， $w(P) \leq 0.035\%$ （如低、中合金结构钢）；

高级优质合金钢： $w(S) \leq 0.030\%$ ， $w(P) \leq 0.030\%$ （如滚动轴承钢、高合金钢、合金工具钢）。

c. 按合金钢的用途可分为:

合金结构钢: 含低合金高强度结构钢和低、中合金结构钢(如渗碳钢、调质钢、弹簧钢、滚动轴承钢);

合金工具钢: 含刀具钢、量具钢、模具钢;

特殊性能钢: 含不锈钢、耐热钢、耐酸钢、耐磨钢等。

② 合金钢的种类、牌号和用途。合金钢的合金成分及质量分数不同, 其具有的强度、塑性等机械性能也不同。一般情况下, 合金钢的合金含量越高, 其机械性能也越好。但随着合金含量的增高, 合金钢的成本也增高。因此设计零件及选择材料时, 在满足机械性能和工艺性能要求的前提下, 应尽量选择成本低廉的材料。常用合金钢的种类、牌号和用途见表 1.3。

表 1.3

合金钢的种类、牌号和用途

种类名称	低合金高强度结构钢	合金结构钢				合金工具钢				特殊用途钢				铸造合金钢		
		渗碳钢	调质钢	弹簧钢	滚动轴承钢	量具刀具钢	冷作模具钢	热作模具钢	高速钢	不锈钢	耐热钢	耐酸钢	高温合金	耐磨铸钢	耐热铸钢	耐酸铸钢
牌号	Q295, Q345, Q390-A, Q420	20Cr, 20CrMnTi; 40Cr, 25Cr2MoVA; 65Mn, 60Si2Mn, GCr9, GCr15SiMo				9SiCr, CrWMn; Cr12, Cr12MoV; 5CrNiMo, 5CrMnMo; W18Cr4V, W9Mo3Cr4V				1Cr18Ni9Ti; 4Cr10Si2Mo; 2Cr13; GH33				ZGMn13-2; ZG4Cr22Ni4N; ZG1Cr18Ni9Ti		
牌号意义	“Q”表示屈服点; 数值表示最小屈服值; “A”表示质量等级, 分 A、B、C、D、E 五级, 依次提高	前面的数字表示碳的质量分数的万分之几, 元素符号及其后数字表示该元素平均质量分数的百分之几, 小于 1.5% 时不标数字; 为 1.5%~2.49%、2.5%~3.49%……时, 相应地标以 2、3%……; “A”表示高级优质; 滚动轴承钢前加“G”, 铬含量用千分之几				首位数字表示钢中碳的平均质量分数的千分之几, $\geq 1.0\%$ 时不标出; 元素符号及其后数字表示方法与合金结构钢相同; 高速钢碳质量分数不标出, 其他与合金结构钢相同; 合金工具钢都是高级优质钢, 故不标“A”				前面的数字表示碳的质量分数的千分之几, $w(C) \leq 0.03\%$ 时, 用“00”表示, $w(C) \leq 0.08\%$ 时, 用“0”表示; 元素符号及其后数字表示方法与合金结构钢相同; 专用钢牌号的表示方法与钢种相关, 有特殊的命名方法, 详见国家标准				“ZG”表示铸钢, ZG 后面的数字表示铸钢的名义万分碳质量分数; 元素符号及其后数字表示方法与合金结构钢相同		
用途举例	车辆、桥梁、锅炉、高压容器等	齿轮、曲轴、连杆、高强度螺栓、各种弹簧、轴承滚珠及套圈等				各种量具、丝锥、板牙、冷作模具、热作模具、高速切削刀具等				医疗器械、汽轮机零件、化工设备、航空发动机零件等				石油、化工设备中的泵体、阀体及零件等		

2. 铸铁

铸铁是碳质量分数大于 2.11%、小于 6.69% (通常为 2.8%~3.5%) 的铁碳合金, 此外还含有硅、锰等合金元素及硫、磷等杂质。铸铁的抗拉强度低, 塑性和韧性差, 但铸铁具有优良的耐磨性、减震性、铸造性能和切削加工性, 而且生产方法简单, 成本低廉, 因此大量用于机器设备制造中, 通常占机械设备总质量的 30%~80%。

铸铁中的碳以化合物渗碳体(Fe_3C)和石墨(C)等两种形式存在。根据碳在铸铁中存在形式的不同, 铸铁可分为白口铸铁(多数碳以 Fe_3C 形式存在)、灰口铸铁(多数碳以石墨形式存在)、麻口铸铁(碳以 Fe_3C 和石墨形式同时存在)。工业上普遍使用的铸铁是灰口铸铁。灰口铸铁中的碳是以石墨的形式存在的, 断口呈灰色, 故称灰口铸铁。灰口铸铁按石墨的形态分为灰铸铁、可锻铸铁、球墨铸铁和蠕墨铸铁。

(1) 灰铸铁

灰铸铁中的石墨呈片状，其铸造性能和切削加工性能很好，是工业上应用最广泛的铸铁；常用来制造各种承受压力和要求消振性好的床身、箱体及经受摩擦的导轨、缸体等；牌号由“HT”和一组数字(抗拉强度最低值)组成。

(2) 可锻铸铁

可锻铸铁又称玛铁、玛钢，是将白口铸铁经高温石墨化退火处理后得到的铸铁，其石墨呈团絮状，与灰铸铁相比，它的强度较高，并有一定的塑性和韧性，但不能锻造；主要适用于制造形状复杂，工作中承受冲击、震动、扭转载荷的薄壁零件，如汽车、拖拉机后桥壳、转向器壳和管子接头等；牌号由“KTH”、“KTZ”、“KTB”和两组数字(抗拉强度最低值和伸长率最低值)组成。

(3) 球墨铸铁

球墨铸铁中的石墨呈球状，它的强度比灰铸铁高得多，并且具有一定的塑性和韧性(优于可锻铸铁)，某些性能与中碳钢相近；它主要用于制造受力复杂、承受载荷大的零件，如曲轴、连杆、凸轮轴、齿轮等；牌号由“QT”和两组数字(抗拉强度最低值和伸长率最低值)组成。

(4) 蠕墨铸铁

蠕墨铸铁中的石墨呈蠕虫状，其力学性能介于灰铸铁与球墨铸铁之间；可用于制造经受热循环、组织致密、强度较高、形状复杂的零件，如汽缸套、进排气管、钢锭模等；牌号由“RuT”和一组数字(抗拉强度最低值)组成。

铸铁种类较多，除上面几种外，还有耐热铸铁、耐蚀铸铁、耐磨铸铁、孕育铸铁、冷硬铸铁等。常用铸铁种类、牌号和用途见表1.4。

表 1.4 常用铸铁的种类、牌号和用途

种类	灰铸铁	可锻铸铁	蠕墨铸铁	球墨铸铁	耐热铸铁
常用 牌号	HT150 HT200 HT350	KTH330-08 KTb350-04 KTZ650-02	RuT300 RuT340 RuT380	QT400-18 QT600-3 QT900-2	RTCr16 RTSi5
牌号 意义	“HT”表示灰铸铁，数字表示最小抗拉强度值	“KTH”表示黑心可锻铸铁，“KTb”表示白心可锻铸铁，“KTZ”表示珠光体可锻铸铁，数字意义同球墨铸铁	“RuT”表示蠕墨铸铁，数字表示最小抗拉强度值	“QT”表示球墨铸铁，前面数字表示最小抗拉强度值，后面数字表示最小延伸率	“RT”表示耐热铸铁，化学符号表示合金元素，数字表示合金元素质量分数的百分之几
用途 举例	底座、床身、泵体、气缸体、阀体、凸轮等	扳手、犁刀、船用电机壳、传动链条、阀门、管接头等	齿轮箱、气缸盖、活塞环、排气管等	扳手、犁刀、曲轴、连杆、机床主轴等	化工机械零件、炉底、坩埚、换热器等

3. 铝及铝合金

铝和铝合金由于其密度小，比强度(强度/密度)高，导电导热性好等特点，因此在航空、电力及日常用品中得到了广泛应用。

(1) 纯铝

纯铝的熔点为 660℃，密度为 2.72g/cm³(是铜的三分之一)；导电、导热性好，仅次于银和铜；铝在大气中有良好的耐蚀性，它的塑性好，强度低；工业纯铝的牌号有 L₁、L₂……L₆ 等，“L”是铝的汉语拼音字首，后面的数字表示纯度，数字越大，纯度越低。

(2) 铝合金

铝合金按加工方法可分为变形铝合金和铸造铝合金。变形铝合金塑性好,适于压力加工,并可通过热处理来强化(其中防锈铝合金除外)。

① 变形铝合金。变形铝合金按性能可分为防锈铝合金、硬铝合金、超硬铝合金及锻造铝合金。

a. 防锈铝合金,其性能特点是塑性好,焊接性能好,有较高的耐蚀性;常用来制作油箱、铆钉等;牌号如 LF21,其中“LF”为“铝防”的汉语拼音字首,数字为顺序号。

b. 硬铝合金,属于 Al—Cu—Mg 合金,强度高;常用来制造飞机骨架零件、铆钉等;牌号如 LY12,其中“LY”为“铝硬”的汉语拼音字首,数字为顺序号。

c. 超硬铝合金,属于 Al—Zn—Mg—Cu 合金,是目前强度最高的铝合金;常用来制造飞机大梁、起落架等;牌号如 LC4,其中“LC”为“铝超”的汉语拼音字首,数字为顺序号。

d. 锻造铝合金,属于 Al—Mg—Si—Cu 合金,锻造性能好,常用来制造飞机上的锻件;牌号如 LD5,其中“LD”为“铝锻”的汉语拼音字首,数字为顺序号。

② 铸造铝合金。铸造铝合金主要有四个系列,即 Al—Si 系、Al—Cu 系、Al—Mg 系、Al—Zn 系;它们在性能上各有特点,例如 Al—Si 系铝合金,铸造性能最好,应用最广泛,常用来制造发动机汽缸体、活塞、手电钻外壳等。铸造铝合金可以用牌号表示,也可以用代号表示,例如牌号 ZAlSi12,表示硅质量分数为 12% 的 Al—Si 系铸造铝合金;它也可用代号 ZL102 来表示,其中“ZL”是“铸铝”的汉语拼音字首,“1”为 Al—Si 系(Al—Cu 系用 2, Al—Mg 系用 3、Al—Zn 系用 4),“02”为系中的顺序号。

4. 铜及铜合金

(1) 纯铜

纯铜又称紫铜,密度为 8.96 m/cm^3 ,熔点为 1083°C ,具有良好的导电性、导热性、耐蚀性、塑性,容易进行冷、热加工,但其强度低,价格高。常用的工业纯铜牌号有 T_1 、 T_2 、 T_3 ,“T”为“铜”的汉语拼音字首,后面数字为顺序号,数字越大,纯度越低。

(2) 铜合金

铜合金按加工方法可分为加工铜合金和铸造铜合金,其中黄铜和青铜应用最广泛。

① 黄铜。黄铜以锌为主要合金元素的铜基合金。普通黄铜是铜锌二元合金,具有良好的耐蚀性和切削加工性,如加工黄铜 H62,“H”为“黄铜”的汉语拼音字首,数字为铜质量分数的百分数;铸造黄铜 ZCuZn38,“Z”为“铸造”的汉语拼音字首,字母和数字为元素符号及质量分数的百分数。特殊黄铜是在普通黄铜的基础上加入 Sn、Pb、Al、Si、Mn 等元素而形成的铜基合金,如加工铅黄铜 HPb59-1,铸造铅黄铜 ZCuZn33Pb2 等;这些元素的加入或提高其强度,或提高其耐磨性,或提高其切削性能等等。

② 青铜。铜与锡的合金称为青铜,其表面呈青灰色。习惯上把锌以外的其他元素为主的铜基合金称为青铜,按主加元素的不同,分别称为锡青铜、铝青铜、铅青铜、硅青铜、铍青铜等。锡青铜的耐磨性和耐蚀性高于黄铜,铝青铜的应用最广泛,铍青铜综合性能好,其牌号如加工锡青铜 QSn4-3、加工铝青铜 QAl7、加工铍青铜 QBe2、铸造锡青铜 ZCuSn10Pb5,其中“Q”为“青铜”的汉语拼音字首。

③ 白铜。白铜是以镍为主要合金元素的铜基合金。普通白铜是 Cu—Ni 二元合金,如

B19, “B”为“白铜”的汉语拼音字首, 数字为镍质量分数的百分数; 特殊白铜是在普通白铜的基础上加入少量的 Fe、Mn、Zn 等元素而得到的铜基合金, 如锰白铜 BMn3-12; 普通白铜主要用于制造精密机械、化工设备的零件等, 锰白铜是主要的电工材料, 用于制造变阻器、热电偶等。

1.2 热处理

1.2.1 概述

热处理就是将金属在固态下通过适当的加热、保温和冷却来改变金属的组织 and 性能的一种工艺方法。与铸造、锻压、焊接和切削加工等工艺不同, 热处理只改变金属的组织 and 性能, 而不改变零件的形状和尺寸。热处理的目的是改变金属的组织, 减少或消除金属的组织缺陷、提高金属的使用性能、改善金属的工艺性能、充分发挥金属材料内部潜力、保证零件质量、延长产品的使用寿命、提高经济效益。

现代机械工业对金属材料性能的要求不断提高, 因此热处理的应用越来越广泛。据统计, 机床、汽车、拖拉机中约 70% 的零件需要进行热处理; 刀具、量具、模具及滚动轴承几乎 100% 地需要进行热处理; 进行铸、锻、焊等热加工后的工件产生的内应力和表面硬化, 也需要热处理来消除。机械设备上使用最多的金属材料是钢, 需要进行热处理的最多的金属材料也是钢, 因此本书下面所讲的热处理主要针对的是钢。

热处理的工艺方法很多, 根据加热和冷却方式及介质不同, 可分为以下几种。

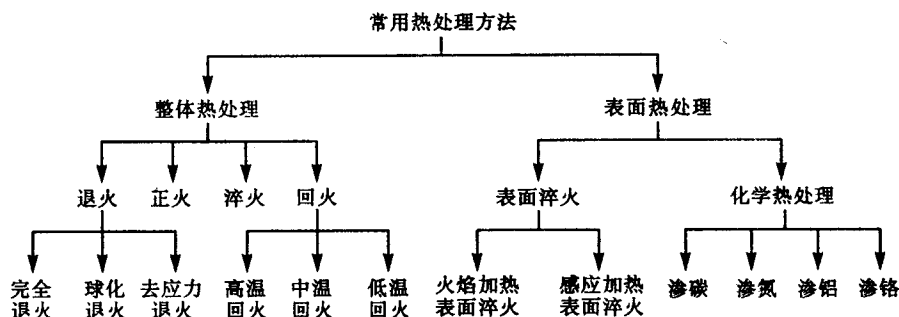


图 1.8 常用的热处理方法

根据工件的加工工艺性和力学性能等要求, 各种热处理作为独立的工序, 常穿插在零件制造过程的各个热、冷加工工序之间。根据热处理在零件制造过程的工序中的位置, 可将热处理分为预先热处理和最终热处理。退火、正火常作为预先热处理, 目的是消除铸、锻、焊等上道工序的缺陷和内应力, 改善切削加工性能; 淬火加回火常作为最终热处理, 目的是进一步改善零件的力学性能, 延长零件的使用寿命。

根据特定对象所制定的加热、保温、冷却的时间、温度及介质, 便是具体的热处理工艺。由于热处理时起主要作用的因素是温度和时间, 因此各种热处理都可以用温度—时间为坐标的热处理工艺曲线(图 1.9)来表示。

任何一种热处理的工艺过程, 都包括下列三个步骤: