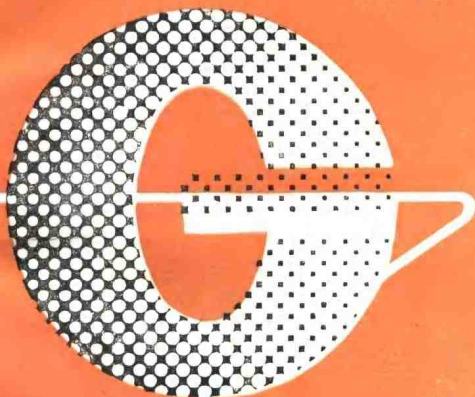


普通高等专科学校教育机电类规划教材

机械工程学

(第2版)



湘潭机电高等专科学校 丁树模 主编

机械工业出版社

普通高等专科学校教育机电类规划教材

机 械 工 程 学

第 2 版

湘潭机电高等专科学校 丁树模 主编

ND12/05



机械工业出版社

本书内容包括机械工程材料和金属热加工基础、机械传动、液压与气压传动、金属切削机床及切削加工四部分,全书突出传动这一主线,着重基本原理的阐述,并加强了与电气控制联系较为密切的内容的介绍。书中多采用简明易懂的插图,如立体图、结构示意图等,并且各章均附有复习题,便于复习思考与练习。全书严格执行了新的国家标准,并增加对科学技术新成果的介绍。

本书主要用作高等专科学校电气类专业的机械工程基础教材,各大中专院校及其它相关专业也可选用,此外还可供工厂电气技术人员参阅。

机 械 工 程 学

(第 2 版)

湘潭机电高等专科学校 丁树模 主编

★

责任编辑: 韩玉清 版式设计: 冉晓华

封面设计: 樊 霞 责任校对: 姚传新

责任印制: 王国光

★

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

邮政编码: 100037

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社北京印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

★

开本 787×1092¹/₁₆·印张 19.5·字数 477千字

1996年10月第2版第18次印刷

印数 38 391 90 300 定价: 20.50元

★

ISBN 7-111-05148-3/TB·237(课)

·购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

前 言

本书是普通高等专科学校机电类规划教材,第一版的出版时间是1984年11月,现为第2版。

本书作为高等专科学校电气工程类专业的技术基础课教材,其内容包括以下四个部分:机械工程材料与金属热加工基础,机械传动,液压与气压传动,金属切削机床及切削加工。对于“机械工程学”这一门综合性课程来说,还应包括机械制图、工程力学等更为宽广的内容,但鉴于该二门课程另有教材,本书就不再将此编入。

通过本书在教学中的使用,学生可达到如下要求:①了解机械工程材料及金属热加工基本知识;②了解机械传动中各种常用机构和通用零部件的基本结构原理、特点及应用;③初步掌握液压传动与气压传动中常用元件及典型基本回路的工作原理、特点和应用,并初步具备阅读一般液压与气动系统图的能力;④了解一般金属切削加工(车、铣、钻、刨、磨)的工艺特点,熟悉几种典型通用机床的用途、组成、运动和传动系统,了解机床中与电气控制有关的典型操纵机构工作原理,并初步具备阅读一般机床传动系统图的能力。

本书着重电气类专业所需要的机械工程基础知识的叙述,并加强了与电气控制联系较为密切的内容的介绍;书中多采用简明易懂的插图,如立体图、结构示意图等,便于学生对教材内容的理解;各章均附有复习题,便于复习思考和练习;全书严格执行了新的国家标准。本书的第2版除保持上述特色外,还在一定程度上介绍与反映了近期科学技术新成果。

本书除可作为高等专科学校工业电气自动化、电子技术、计算机应用等专业的教材外,还适用于电气类其它相关专业,工厂电气技术人员亦可参阅。

本书第1版的编写人员是王旭东、丁树模、赵春久。这次修订工作由陈文军、(第一、二章)丁树模(第三~十三章、第二十一章、附录)、赵春久(第十四~二十章)完成,丁树模为主编,赵春久为副主编,湘潭大学彭炎荣担任主审。

参与本书第2版审稿的还有刘荫青、孟群、刘跃南、胡国骏等同志,编者对他们给予的支持和帮助表示深切的谢意。

由于编者水平有限,修订过程中的调查研究工作也不够深入细致,书中难免存在不妥之处,敬希广大读者批评指正。

编 者

1996年元月

目 录

前言

第一篇 机械工程材料及金属热加工基础

第一章 机械工程材料	1	第二章 铸造、锻压与焊接	20
第一节 金属材料的主要性能	1	第一节 铸造生产	20
第二节 常用金属材料	5	第二节 锻压生产	27
第三节 钢的热处理	9	第三节 焊接生产	39
第四节 非金属工程材料	17	复习题	48
复习题	19		

第二篇 机械传动

第三章 常用机构	49	复习题	85
第一节 基本概念	49	第五章 轮系	86
第二节 平面连杆机构	51	第一节 轮系的功用和分类	86
第三节 凸轮机构	58	第二节 定轴轮系速比的计算	86
第四节 螺旋机构	63	第三节 周转轮系速比的计算	88
第五节 间歇运动机构	66	复习题	92
复习题	68	第六章 轴、轴承、联轴器、离合器、 制动器	94
第四章 常用机械传动装置	70	第一节 轴	94
第一节 带传动	70	第二节 轴承	95
第二节 链传动	73	第三节 联轴器、离合器、制动器	103
第三节 齿轮传动	74	复习题	108
第四节 蜗杆传动	83		

第三篇 液压与气压传动

第七章 液压传动概述	109	第三节 液压缸	122
第一节 液压传动的原理和组成	109	复习题	125
第二节 液压传动的优缺点	111	第九章 液压控制阀	127
第三节 液压传动的两个基本参数—— 压力、流量	112	第一节 方向阀	127
第四节 液压油的选用	114	第二节 压力阀	133
复习题	115	第三节 流量阀	139
第八章 液压泵、液压马达和 液压缸	116	第四节 比例阀、二通插装阀和 数字阀	141
第一节 液压泵	116	第五节 液压伺服阀和电液伺服阀	145
第二节 液压马达	121	复习题	149
		第十章 液压辅件	151

第一节	过滤器	151
第二节	蓄能器	152
第三节	压力计和压力计开关	153
第四节	油管和管接头	153
第五节	阀类连接板	154
第六节	油箱	155
复习题		156
第十一章	液压基本回路	157
第一节	压力控制回路	157
第二节	速度控制回路	159
第三节	多缸动作回路	164
复习题		167
第十二章	机床液压系统	169

第一节	组合机床液压滑台的 液压系统	169
第二节	C7620型卡盘多刀车床的液 压系统	172
第三节	YT32-315型万能液压机的 液压系统	174
复习题		177
第十三章	气压传动	176
第一节	气压传动的工作原理、组成及 优缺点	178
第二节	气动元件	179
第三节	气动基本回路及系统实例	189
复习题		196

第四篇 金属切削机床及切削加工

第十四章	金属切削机床及切削 加工概述	197
第一节	切削运动和切削用量	197
第二节	金属切削刀具	199
第三节	切削力、切削热和切削液	204
第四节	机床的分类与型号	205
第五节	机床传动系统的基本概念	209
复习题		211
第十五章	车床及车削加工	212
第一节	车床的加工范围和车削加工 特点	212
第二节	CA6140型卧式车床	215
第三节	其它车床简介	224
复习题		227
第十六章	铣床及铣削加工	228
第一节	铣床的加工范围和铣削加工 特点	228
第二节	X62W型卧式铣床	231
第三节	其它铣床简介	238
复习题		240
第十七章	钻床及钻削加工	241
第一节	钻床的加工范围和钻削加工 特点	241
第二节	Z3040×16型摇臂钻床	242
第三节	其它钻床及镗床简介	246
复习题		249
第十八章	刨床及刨削加工	250

第一节	刨床的加工范围和刨削加工 特点	250
第二节	B2010A型龙门刨床	251
第三节	其它刨床简介	257
复习题		259
第十九章	磨床及磨削加工	260
第一节	磨床的加工范围和磨削加工 特点	260
第二节	M7120A型平面磨床	261
第三节	其它磨床简介	267
复习题		270
第二十章	组合机床	271
第一节	组合机床概述	271
第二节	组合机床的几种通用部件	275
第三节	组合机床自动线	279
复习题		280
第二十一章	数控机床及柔性制造 系统	281
第一节	数控机床	281
第二节	柔性制造系统简介	287
复习题		289
附录		290
附表A	机构运动简图符号	290
附表B	常用液压与气动元件图形 符号	300
参考文献		306

第一篇 机械工程材料及金属热加工基础

对于机电工业产品的生产制造, 机械工程需要解决的主要问题是选用什么材料和用什么方法进行加工。本篇将从专业技术工作的需要出发, 对常用的机械工程材料和金属热加工方面的知识作一基本介绍。

第一章 机械工程材料

用以制造各种机械零件的材料统称为机械工程材料。一般将其分为两大类: 金属材料和非金属材料。在机械工业生产中, 普遍使用钢铁、铜、铝等金属材料; 此外, 工程塑料、橡胶、陶瓷等非金属材料的应用也日趋广泛, 并展示出良好的发展前景。

第一节 金属材料的主要性能

在生产实际中, 不同的材料有不同的性能和用途。同一种金属材料通过不同的热处理方法, 也可以得到不同的性能。因此, 在选择机械零件的材料时, 熟悉材料的性能是十分必要的。金属材料的性能包括力学性能、物理性能、化学性能和工艺性能。一般机械零件常以力学性能作为设计和选材的依据。

一、金属材料的力学性能

金属材料的力学性能是指金属材料在外加载荷(外力)作用下表现出来的特性。载荷按其作用形式的不同, 分为静载荷、冲击载荷和交变载荷等。因此, 金属材料表现出的抵抗外力能力的特性也各不相同。通常所研究的力学性能主要是指强度、塑性、硬度、冲击韧度和疲劳强度等。

1. 强度

强度是指材料在外力作用下抵抗破坏的能力。抵抗破坏的能力越大, 则强度越高。根据受力状况的不同, 材料的强度可分为抗拉、抗压、抗弯、抗扭和抗剪强度等。一般以抗拉强度作为最基本的强度指标。

为了测定金属材料的强度, 现广泛地采用拉伸试验。拉伸试验是将按国家标准规定的形状和尺寸制作的被测金属试棒(如图1-1a所示)装卡在材料试验机上, 对其两端施加轴向静拉力。试棒受力后开始变形, 并随着外加载荷的

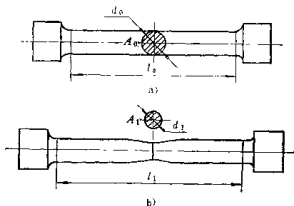


图1-1 拉伸试棒

a) 标准试棒 b) 拉伸后的试棒

增加,其变形量也增大,直至把试棒拉断。在试验过程中,试验机自动记录每一瞬间施加在试棒上的载荷 F 和试棒发生相应的伸长变形量 Δl ,并绘制出它们之间的关系曲线——拉伸曲线。

图1-2为低碳钢拉伸曲线。曲线说明:当载荷 F 小于 F_s 时,变形与载荷成正比线性关系。此时,若去除载荷,变形将立即完全消失,试棒恢复原长度,这是一种暂时变形,称为弹性变形。弹性变形反映了材料弹性的大小。通过热处理或加工硬化方法均可提高金属材料的弹性。当载荷大于 F_s 后,变形与载荷不再保持正比线性关系。此时,试棒除发生弹性变形外,还发生部分不能消失的永久变形,称为塑性变形。若去除载荷,试棒不再恢复其原来长度。当载荷继续增加到 F_s 时,拉伸曲线开始出现水平线段,它表示载荷虽未增加,但试棒仍在继续伸长,此现象称为“屈服”。引起试棒产生屈服的最小载荷 F_s 称为屈服载荷。试棒屈服以后,随着载荷的增大,塑性变形急剧增加。当载荷增大到最大值 F_b 后,试棒的某一部分急剧变细,此现象称为“缩颈”。由于缩颈处横截面积的缩小,继续变形所需的载荷减小,但变形仍继续增加,试棒很快就被拉断,如图1-1b所示。

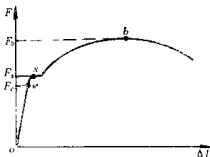


图1-2 低碳钢拉伸曲线

应当强调,屈服标志着金属材料在外力作用下发生明显的塑性永久变形, F_s 是材料出现明显塑性变形前所承受的最大载荷,缩颈的出现,预示着金属材料将要发生断裂, F_b 是材料在断裂前所承受的最大载荷。

利用拉伸曲线可以求得金属材料的强度指标。为了对不同材料的强度进行比较,强度指标以应力表示。当材料受载荷作用而不破坏时,其内部相应产生与载荷相平衡的抵抗力,称为内力,其数值大小与载荷大小相等。单位截面积上所承受的内力称为应力,即

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1-1)$$

式中 σ ——应力(N/mm²或MPa);

F ——载荷(N);

A ——试棒的横截面积(mm²)。

拉伸曲线对应于 F_s 、 F_b 的应力分别称为材料的屈服点和抗拉强度,它们是金属材料的主要强度指标。

(1) 屈服点 屈服点是指金属材料开始产生屈服时的应力,即拉伸曲线中 s 点的应力,表示为

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0} \quad (1-2)$$

式中 σ_s ——屈服点(N/mm²或MPa);

F_s ——屈服载荷(N);

A_0 ——试棒原始截面积(mm²)。

有些金属材料,如铸铁、高碳钢等,在拉伸曲线中没有明显的水平线段,它们的屈服点很难测定。通常规定,以试棒原始标距长度(l_0)部分产生0.2%塑性变形时的应力值作为条件屈服点,称为屈服强度,以 $\sigma_{0.2}$ 表示。

(2) 抗拉强度 抗拉强度是指金属材料在断裂前所能承受的最大拉应力,即拉伸曲线

中 b 点的应力, 表示为

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0} \quad (1-3)$$

式中 σ_b ——抗拉强度(N/mm²或MPa);
 F_b ——试棒能承受的最大载荷(N);
 A_0 ——试棒原始截面积(mm²)。

屈服点和抗拉强度是设计机械、选用材料的重要依据。因为机械零件不能在超过其材料 σ_s 的条件下工作, 否则会引起零件的永久变形; 机械零件更不能在超过其材料 σ_b 的条件下工作, 否则将导致零件的断裂破坏。

2. 塑性

塑性是材料在外力作用下产生塑性变形而不断裂的能力。常用的塑性指标有伸长率和断面收缩率, 分别以 δ 和 ψ 表示, 计算公式如下(参阅图1-1)

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\% \quad (1-4)$$

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中 δ 、 ψ ——分别为伸长率和断面收缩率(%);
 l_0 、 l_1 ——分别为试棒的原始标距长度和断后标距长度(mm);
 A_0 、 A_1 ——分别为试棒的原始截面积和断后截面积(mm²)。

δ 或 ψ 愈大, 表示材料的塑性愈好。良好的塑性是金属材料进行压力加工的必要条件, 机器零件也须具备一定的塑性。

3. 硬度

硬度是指金属材料抵抗更硬物体压入的能力, 它是衡量材料软硬的一个指标。材料的硬度高, 其耐磨性就好。

根据测定硬度方法的不同, 有布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度等多种硬度指标, 工业生产中常用的是布氏硬度和洛氏硬度。

(1) 布氏硬度 布氏硬度的测试原理如图1-3所示。它是以直径为 D 的淬火钢球或硬质合金球作为压头, 用规定的载荷 F 将压头垂直压入被测材料表面, 经规定的保持载荷时间后卸除载荷, 在被测材料表面留下了直径为 d 的压痕, 用读数放大镜测量出压痕直径数值, 并用此值查表, 即可得布氏硬度值。材料越软, 压痕直径越大, 则布氏硬度值越低。

布氏硬度指标用符号 HBS 表示。当用淬火钢球为压头时, 写成 HBS, 适用于测量布氏硬度值在 450 以下的金属材料; 当用硬质合金球为压头时, 写成 HBW, 适用于测量布氏硬度值在 450 以上的金属材料。硬度数值均标写在布氏

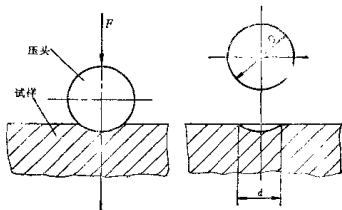


图1-3 布氏硬度的测试原理

硬度符号之前,例如230HBS、500HBW。

(2) 洛氏硬度 洛氏硬度的测试也是用规定的载荷将压头垂直压入被测材料的表面,但它是以压痕深度来确定硬度值的。洛氏硬度值可从洛氏硬度计刻度盘上直接读出。洛氏硬度用符号HR表示。为了扩大硬度的测定范围,在洛氏硬度计上,可变换不同类型的压头(金刚石圆锥压头或淬火钢球压头),并按规定施加不同的载荷,从而出现三种洛氏硬度符号: HRA、HRB和HRC。其中, HRA用于表示特硬材料(如硬质合金、渗碳钢件等), HRB用于表示较软材料(如供应状态的钢材、铜合金、铝合金等), HRC用于表示较硬材料(如一般淬火钢件)。

与布氏硬度相比,洛氏硬度测定范围较宽,测试操作简便,且由于压痕较小,几乎不损伤工件表面,故应用普遍,但硬度测定的准确性较差。布氏硬度与洛氏硬度的近似数值关系为

$$1\text{HRC} \approx 1/10\text{HBS} \quad (1-6)$$

4. 冲击韧性

以上讨论的是静载荷下的力学性能指标,但机器中有很多零件要承受冲击载荷,我们不能用金属材料在静载荷下的性能,来衡量材料抵抗冲击的能力。冲击载荷比静载荷的破坏力要大得多。在冲击载荷作用下,金属材料抵抗破坏的能力称为冲击韧性,其值以冲击韧度 α_k 来表征。 α_k 值越大,材料的韧性就越好,在受到冲击时越不容易断裂。

当用冲击试验方法测定冲击韧度时, α_k 值就等于冲断试样单位截面积所消耗的冲击吸收功的大小,数值可从冲击试验机的刻度盘上直接读出。

5. 疲劳强度

许多机器零件,如轴、齿轮、连杆、弹簧等,在工作中承受的载荷不是静止不变的,而是反复改变大小或同时改变大小和方向的交变载荷。在这种交变载荷作用下,虽然零件所受的应力比材料的抗拉强度小,甚至还低于屈服点,但经过长期使用,零件往往会突然断裂,这种现象称为疲劳破坏。

疲劳破坏的原因,一般认为是由于材料表面有划痕,或内部有夹杂物等缺陷,在交变应力的反复作用下,使材料产生了微裂纹。这种微裂纹随应力循环次数的增加而逐渐扩展,致使零件不能承受所加载荷而突然断裂。

金属材料在无限次交变应力作用下而不破坏的最大应力称为疲劳强度。当应力呈对称循环时,疲劳强度以符号 σ_{-1} 表示。实际上,无限次交变载荷的试验是永远都不能完成的,所以工程上规定,钢在经受 10^7 次、有色金属在经受 10^8 次交变应力作用下不发生破坏时的应力作为材料的疲劳强度。

二、金属材料的物理、化学性能和工艺性能

1. 物理性能

金属材料的主要物理性能包括密度、熔点、膨胀系数、导电性和导热性等。由于机械零件的用途不同,对其物理性能方面的要求也不尽相同。例如飞机零件要用密度小的铝合金制造,而电线、电缆的材料应具备良好的导电性等。

金属材料的某些物理性能对热加工工艺也有一定的影响。例如高速钢的导热性差,在锻造时应以较低的速度进行加热,以保证工件均匀受热,否则会产生裂纹;又如铸钢和铸铁的熔点不同,在铸造时选择的浇注温度也不相同等。

2. 化学性能

化学性能是金属材料在常温或高温时抵抗各种化学作用的能力。金属材料的主要化学性能是耐蚀性。为了制造能在具有腐蚀性介质中工作的设备，应采用耐蚀性好的材料。例如化工设备、医疗器械等，可采用具有抵抗空气、水、酸、碱类溶液或其它介质腐蚀能力的不锈钢制作。

3. 工艺性能

金属材料的工艺性能是指材料加工成形的难易程度。金属材料加工成为零件，常用的四种基本加工方法是：铸造、锻压、焊接和切削加工（通常称前三种加工方法为热加工，而称切削加工为冷加工）。各种加工方法对材料都有不同的工艺性能要求，将在以后有关章节中具体介绍。

第二节 常用金属材料

一、钢

生产中应用的钢种类繁多，分类方法也不尽相同。按碳的含量分，有低碳钢($w_c < 0.25\%$)、中碳钢($w_c = 0.25\% \sim 0.6\%$)和高碳钢($w_c > 0.6\%$)；按化学成分分，有碳素钢和合金钢；按质量分，有普通钢、优质钢和高级优质钢；按用途分，有结构钢、工具钢和特殊性能钢等。

(一) 结构钢

结构钢是制造一般机械零件和工程结构件所用的钢。

1. 碳素结构钢

碳素结构钢中的碳含量在 $0.06\% \sim 0.38\%$ 之间，硫磷含量较高，一般在供应状态下使用，不需进行热处理。这类钢的塑性、韧性好，适于制作钢筋、钢板等建筑用材和一般机械构件。

碳素结构钢的牌号由字母Q、数字、质量等级符号、脱氧方法符号等四部分顺序组成，如Q235-A·F，各项的具体含义是：

Q——钢材屈服点“屈”字汉语拼音首位字母；

数字——屈服点 σ_s 的数值，单位为MPa；

质量等级符号——用A、B、C、D表示四个等级，其中A级质量最差，D级质量最好；

脱氧方法符号——用F、b、Z、TZ表示，F为沸腾钢，是不脱氧钢；b为半镇静钢，是半脱氧钢；Z和TZ分别为镇静钢和特殊镇静钢，是完全脱氧钢（Z、TZ通常省略不写）。

2. 优质碳素结构钢

优质碳素结构钢是按力学性能和化学成分供应的。钢中的硫、磷等有害杂质含量较少，常用于制造比较重要的机械零件，一般要进行热处理。牌号由两位数字组成，表示钢中碳的平均万分含量，如45钢表示 $w_c = 0.45\%$ 。含锰量较高的优质碳素结构钢在牌号后面附以锰元素符号Mn，例如15Mn、20Mn等。

$w_c < 0.25\%$ 的优质碳素结构钢，其塑性、韧性很好，焊接性能优良，易于冲压加工，但强度较低，主要用于制造各种冲压件和焊接件。

$w_c = 0.3\% \sim 0.5\%$ 的优质碳素结构钢，其强度较高，塑性、韧性稍低。要求表面有高的硬度和耐磨性时，要进行表面热处理。它主要用于制造齿轮、轴类零件及重要的销子、螺栓等。

$w_c > 0.55\%$ 的优质碳素结构钢，有高的强度和良好的弹性，主要用来制造弹簧和耐磨损的零件。

3. 合金结构钢

在碳素结构钢的基础上加入一定量的合金元素，如硅、锰、铬、镍、铜、钒等，即构成合金结构钢。钢中加入适量的合金元素，改善了热处理性能，提高了强度和韧性。合金结构钢常用于制造各种重要的机械零件和工程结构件。例如，40Cr常用作传动轴的材料。

合金结构钢的牌号用“数字+元素符号+数字”表示。前面的数字表示碳的平均万分含量；元素符号表示所含合金元素的名称；后面的数字表示合金元素的平均百分含量（含量小于1.5%时不用数字表示）。例如60Si2Mn表示硅锰合金结构钢，其 $w_c = 0.6\%$ ， $w_{Si} = 2\%$ ， $w_{Mn} < 1.5\%$ 。

滚动轴承钢是制造滚动轴承的专用合金结构钢，其牌号如GCr15，前面的“G”（“滚”字汉语拼音首字母）代表钢的种类，后面的数字表示合金元素的平均千分含量，即含铬1.5%。

（二）工具钢

工具钢是用来制造各种刀具、量具和模具的材料。它应满足工具在硬度、耐磨性、强度和韧性等方面的要求。例如，在金属切削过程中，随温度的升高，机床刀具不仅要求在常温时有高的硬度，而且要求在高温时仍保持切削所需硬度的性能，即热硬性。

1. 碳素工具钢

碳素工具钢 $w_c = 0.7\% \sim 1.3\%$ 的高碳钢。牌号用“T”表示钢的种类，后面的数字表示碳的平均千分含量。常用的碳素工具钢有T8、T10、T10A、T12A（A表示高级优质）等。由于碳素工具钢的热硬性较差，热处理变形较大，故仅适用于制造不太精密的模具、木工工具和金属切削的低速手用刀具（锉刀、锯条、手用丝锥）等。

2. 合金工具钢

合金工具钢是在碳素工具钢的基础上加入少量合金元素（Si、Mn、Cr、W、V等）制成的。合金元素的加入，提高了材料的热硬性，改善了热处理性能。合金工具钢常用来制造各种量具、模具或切削刀具等。

合金工具钢的牌号表示与合金结构钢相似，区别在于：牌号前面只用一位数字表示碳的平均千分含量；钢中碳的含量大于或等于1%时不予标出。例如，9CrSi的 $w_c = 0.9\%$ ，而Cr12的 $w_c > 1\%$ ，故未予标出。

机床切削加工的刀具常用高速钢制造。高速钢是一种含钨、铬、钒等合金元素较多的合金工具钢。它有很高的热硬性，当切削温度高达550℃左右时，硬度仍无明显下降。高速钢具有足够的强度和韧性，可以承受较大的冲击和振动。此外，高速钢还具有良好的热处理性能和刃磨性能。常用的高速钢牌号有W18Cr4V和W6Mo5Cr4V2等。

（三）特殊性能钢

特殊性能钢是一种含有较多合金元素，并具有某些特殊物理性能和化学性能的钢。常用的有不锈钢、耐热钢及软磁钢等。

不锈钢中主要的合金元素是铬和镍，具有良好的耐蚀不锈钢性能，适用于制造化工设备、

医疗器械等。常用的不锈钢有1Cr13、2Cr13、1Cr18Ni9Ti、1Cr18Ni9等。

耐热钢是在高温下不发生氧化并具有较高强度的钢，适用于制造在高温条件下工作的零件，如内燃机气阀等。常用的耐热钢有4Cr10Si2Mo、4Cr14Ni14W2Mo等。

软磁钢又名硅钢片，它是在钢中加入硅并轧制而成的薄片状材料。硅钢片中含有一定数量的硅(目前采用的硅钢片， $w_{Si}=1\%\sim 4.5\%$)，碳、硫、磷、氧、氮等杂质的含量极少，具有很好的磁性。硅钢片是制造变压器、电机、电工仪表等不可缺少的材料。

(四) 铸钢

铸钢的种类很多，按照化学成分，可分为三类：铸造碳钢、铸造低合金结构钢和铸造高合金钢。其中，以铸造碳钢应用最广，约占铸钢总产量的80%以上。在生产中，铸钢是制作形状复杂零件的重要材料。

铸造碳钢的牌号以“铸钢”二字的汉语拼音字首“ZG”与其后的两组数字构成，第一组数字表示该牌号铸钢的屈服点，第二组数字表示抗拉强度。例如ZG200-400，即表示 $\sigma_s=200\text{MPa}$ ， $\sigma_b=400\text{MPa}$ 的铸造碳钢。

二、铸铁

铸铁是 $w_C>2.11\%$ 的铁碳合金，工业上使用的铸铁一般 $w_C=2.5\%\sim 4.0\%$ 。根据碳在铸铁中存在形式的不同，常用铸铁有白口铸铁、灰铸铁、可锻铸铁、球墨铸铁等。

1. 白口铸铁

白口铸铁中的碳以 Fe_3C 的形式存在，断面呈白色，故称白口铸铁。其性能硬而脆，不能进行切削加工，一般不用来制造机械零件，主要用作炼钢的原料。

2. 灰铸铁

灰铸铁中的碳主要以片状石墨的形式存在，断面呈灰色，故称灰铸铁。灰铸铁软而脆，铸造性能好，并具有良好的耐磨性、耐热性、减震性和切削加工性。因而工业上常用来制造各种机床床身、罩盖、支架、底座、带轮、齿轮和箱体等，是目前应用最多的一种铸铁。灰铸铁的牌号由“HT”及表示最低抗拉强度的数字组成。例如，HT200即表示最低抗拉强度为200MPa的灰铸铁。

3. 可锻铸铁

可锻铸铁俗称玛钢或马铁，其中的碳大部或全部以团聚状石墨的形式存在。因此，材料的力学性能得到了改善，其强度、韧性都比灰铸铁高。可锻铸铁并不能锻造，常用于铸造承受冲击振动的薄壁零件，如汽车、拖拉机的后桥外壳、低压阀门、机床附件及农具等。

按照金相组织的不同，可锻铸铁分为黑心可锻铸铁、珠光体可锻铸铁和白心可锻铸铁等几种，白心可锻铸铁由于性能较差，目前在生产中应用较少。可锻铸铁的牌号由三个汉语拼音字母及两组数字构成，如KTH350-10、KTZ550-04，汉语拼音字母表示黑心可锻铸铁和珠光体可锻铸铁，前一组数字表示其最低抗拉强度(单位为MPa)，后一组数字表示其最低伸长率(百分数)。

4. 球墨铸铁

在高温液态铸铁中加入球化剂(如纯镁或稀土镁合金)进行球化处理，使铸铁中的碳大部或全部以球状石墨的形式存在，便制成了球墨铸铁。球墨铸铁具有良好的力学性能，有些性能指标接近于钢，抗拉强度甚至高于碳钢，塑性、韧性和耐磨性等都比灰铸铁好，因此广泛应用于机械制造、交通、冶金等工业部门。目前常用来制造气缸套、活塞、曲轴和机架等机械零

件。

球墨铸铁的牌号由“C”及两组数字构成,这两组数字分别表示最低抗拉强度和最低伸长率,例如QT600-3,其最低抗拉强度为600MPa,最低伸长率为3%。

三、有色金属

通常将钢铁材料称为黑色金属,而其它金属材料则称为有色金属。有色金属具有不同于钢铁的特性,如铝、镁、钛及其合金密度小,铜、铝及其合金导电性好,镍、钨及其合金能耐高温等。因此,在机械制造、电器制造、航空及国防等工业部门,除大量使用黑色金属外,有色金属也得到广泛的应用。

下面仅简单介绍工业常用的铝和铝合金、铜和铜合金。

1. 铝和铝合金

纯铝的显著优点是密度小(约为铁的 $1/3$),导电性能好(稍次于铜),塑性好,在空气中有良好的抗蚀性,但强度、硬度低。纯铝主要用作导电材料或制造耐蚀零件,一般不作结构材料。纯铝按其杂质含量编制代号,有L1、L2、L3、L4、L5等。编号越大,纯度越低。

工业上广泛使用铝合金。在铝中加入适量的硅、铜、镁、锰等合金元素,可提高其力学性能。根据合金成分和工艺特点的不同,铝合金可分为形变铝合金和铸造铝合金两大类。形变铝合金又分为防锈铝合金(代号为LF)、硬铝合金(代号为LY)、超硬铝合金(代号为LC)和锻铝合金(代号为LD)等。形变铝合金主要用作各类型材和结构件,如各式容器、发动机机架、飞机的大梁等。铸造铝合金又分为铝硅合金、铝铜合金、铝镁合金、铝锌合金及铝和若干其它金属元素的合金等。各类铸造铝合金的代号均以“ZL”加顺序号表示。铸造铝合金主要用于各种轻型铸件,如活塞、气缸体、泵壳、支架等。

2. 铜和铜合金

纯铜又称紫铜,因它是用电解法制得的,故又名电解铜。纯铜具有很高的导电性、导热性和耐蚀性,并具有良好的塑性,但其强度较低,主要用于各种导电材料和配制铜合金。工业纯铜的代号有T1、T2、T3等,编号越大,纯度越低。

机械制造生产中广泛使用铜合金。按合金成分的不同,铜合金可分为黄铜、白铜和青铜三大类。黄铜是铜和锌为主的合金(代号为H)主要用于制造散热器、弹簧、垫片、衬套及耐蚀零件等。白铜是铜和镍为主的合金(代号为B),它具有优良的塑性、耐蚀性、耐热性和特殊的电性能,是制造精密机械零件和电器元件不可缺少的材料。青铜是指除黄铜和白铜以外的铜合金(代号为Q),如铜和锡的合金称为锡青铜,铜和铝的合金称为铝青铜,此外还有铍青铜、钛青铜、硅青铜、锰青铜等。青铜主要用于制造轴瓦、蜗轮及耐磨、耐蚀零件等。

四、硬质合金

硬质合金是以难熔的金属碳化物粉末(碳化钨、碳化钛、碳化钽等)为基体,以铁族元素(铁、钴、镍等)为粘结剂加压成型并经高温烧结而成的一种合金材料。在机械制造生产中,硬质合金主要用作金属切削刀具的材料。其硬度为89~93HRA(相当于74~81HRC),它有很高的热硬性(可耐800~1000℃高温),因而可使切削速度大大提高。使用硬质合金刀具可以提高工作效率和加工质量,为高速切削创造了条件。常用硬质合金有以下三类:

(1) YG(钨钴)类 由碳化钨和钴组成。常用的牌号有YG3、YG6、YG8。数字表示钴的百分含量,如YG3含钴3%。YG类硬质合金刀具适宜加工铸铁工件。含钴量越高,强度、韧性也越好,而耐磨性和硬度降低。YG3适用于精加工,YG8适用于粗加工,YG6适用于半

精加工。

(2) YT(钨钴钛)类 由碳化钨、碳化钛和钴组成。常用牌号为YT5、YT15、YT30, 数字表示碳化钛的百分含量, 如YT15含碳化钛为15%。由于碳化钛比碳化钨熔点更高, 故其热硬性比YG类好, 但强度比YG类差。YT类硬质合金刀具适宜于加工钢件。YT5适于粗加工, YT30适于精加工, YT15适于半精加工。

(3) YW(钨钴钛钽)类 它是在YT类合金中加入部分碳化钽而制成的。碳化钽的加入, 改善了合金的切削性能, 可用以制作耐热钢、高锰钢及高合金钢等难加工材料的刀具。它既可加工铸铁, 又可加工钢, 故有通用合金或万能合金之称。常用牌号为YW1和YW2。

目前, 工业生产中还出现一些新品种硬质合金, 例如, 钢结硬质合金就是一种很有特色的新型材料(分类代号为YE)。它具有与钢一样的切削加工性, 也可以接受锻造、热处理和焊接。经热处理后, 其硬度可达70HRC, 具有高耐磨性、抗氧化和耐腐蚀等优点, 适于制造各种形状复杂的刀具, 如麻花钻、铣刀等, 也用来制造在高温下使用的模具和耐磨零件。

第三节 钢的热处理

钢的热处理是将钢在固体状态下通过加热、保温和以不同的方式冷却, 来改变钢的内部组织结构, 从而获得所需性能的工艺方法。

热处理是机器零件及工具制造过程中的重要工序, 对发挥金属材料的潜力、改善零件的使用性能、提高产品质量、延长使用寿命具有极其重要的意义。此外, 热处理还能改善毛坯的工艺性能, 为后续工序作组织准备, 以利于各种冷、热加工。据统计分析, 机床中要进行热处理的零件占60%~70%; 而各种刀具、量具、模具等几乎占100%。所以, 热处理在机械制造中占有十分重要的地位。

为便于掌握钢的热处理原理, 先对金属及合金的晶体结构和铁碳合金状态图作必要的了解。

一、金属及合金的晶体结构

1. 金属的结晶

液态金属冷却到凝固温度时, 原子由无序状态转变为按一定的几何形状作有序排列。金属的这种由液体转变为晶体的现象称为结晶。在固态金属内部, 由于结晶而形成许多大小不一、外形不规则的小晶体, 称为晶粒。晶粒的大小对金属的力学性能有很大的影响。一般地说, 晶粒越细, 其强度、硬度、冲击韧性都越高, 塑性也越好。

纯金属的结晶是在一定的温度下进行的, 它的结晶过程可以用冷却曲线表示。图1-4a所示为用实验方法得到的纯金属凝固时的冷却曲线。使液态纯金属缓慢冷却, 当温度降到 T_0 时便开始结晶。由于放出的结晶潜热恰好补偿了热的散失, 故这时的温度不再

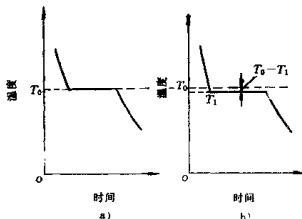


图1-4 纯金属结晶时的冷却曲线
a) 理论曲线 b) 实际曲线

下降, 在冷却曲线上表现为水平线段, 它所对应的温度 T_0 便是纯金属的理论结晶温度。直至全部结晶成固态金属后, 温度才继续下降。但在实际生产中, 液态纯金属的冷却不是非常缓慢的, 而是具有一定的冷却速度。此时纯金属的实际结晶温度 T_1 总是低于理论结晶温度 T_0 , 这种现象称为过冷, 其冷却曲线如图1-4b所示。理论结晶温度与实际结晶温度之差 $T_0 - T_1$ 称为过冷度。冷却速度越快, 过冷度也就越大。

2. 金属的同素异构转变

各种晶体内部原子的排列规则可用X射线分析等方法测定。为便于分析比较各种晶体中的原子排列规则, 通常把描述原子在晶体中排列的空间格式称为晶格。金属的晶格有各种不同的形式, 最常见的晶格有三种, 即体心立方晶格、面心立方晶格和密排六方晶格, 如图1-5所示。

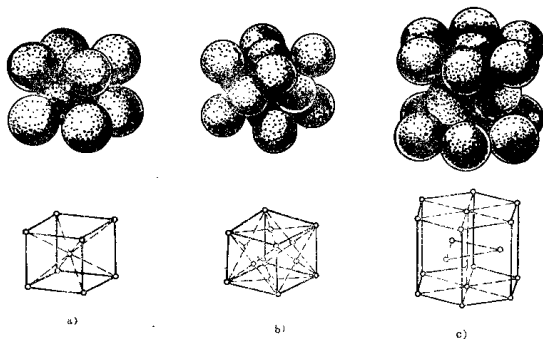


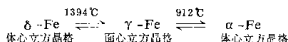
图1-5 常见金属晶格的类型

a) 体心立方晶格 b) 面心立方晶格 c) 密排六方晶格

多数金属结晶后的晶格类型都保持不变。有些金属、铁、钴、锰等)在固态下, 其晶体结构会随温度的变化而发生改变。金属在固态时改变其晶格类型的过程, 称为金属的同素异构转变。由同素异构转变所得到的不同晶格的晶体, 称为同素异晶体。在常温下的同素异晶体一般用希腊字母 α 表示, 在较高温度下的同素异晶体用 γ 、 δ 等表示。

图1-6所示为纯铁的冷却曲线。由图可知, 液态纯铁在1538℃时结晶成具有体心立方晶格的 δ -Fe, 继续冷却到1394℃时, 发生同素异构转变, 体心立方晶格的 δ -Fe转变为面心立方晶格的 γ -Fe, 再继续冷却到912℃时又发生同素异构转变, 面心立方晶格的 γ -Fe转变为体心立方晶格的 α -Fe。若再继续冷却, 晶格的类型不再发生变化。

纯铁的同素异构转变可概括如下:



同素异构转变是原子重新排列的过程，实际上也是一种结晶过程，又称为重结晶。

正是由于纯铁能够发生同素异构转变，生产中才有可能对钢和铸铁进行热处理来改变其组织与性能。

3. 合金的结构

组成合金的最基本的、独立的物质称为组元(简称元)。组元一般指纯金属，但稳定化合物也可看成是一个组元。按组元的数目，合金可分为二元合金、三元合金等。例如，黄铜是铜和锌组成的二元合金；硬铝是铝、铜和镁组成的三元合金。

合金的构造比纯金属复杂。合金在固态时的结构一般可分为以下三类：

(1) 化合物 是合金各组元按一定的原子数量比化合而成的一种新的物质。它具有与组元原来晶格不同的特殊晶格。

化合物的性能与组元的性能也有显著的不同，它的熔点高，硬度高，脆性大。例如，铁的硬度为 80HB，以石墨形式存在的碳的硬度为 3HB，化合物 Fe_3C 的硬度可达 800HBW。

(2) 固溶体 合金各组元在固态时具有相互溶解能力而形成均匀的固体，这种固体合金称为固溶体。固溶体仍保留基本组元(溶剂)的晶格。例如，黄铜就是锌(溶质)原子溶入铜(溶剂)的晶格中而形成的固溶体。

固溶体的性能由于是在溶剂元素性能的基础上得到了强化，所以固溶体不但有较高的强度和硬度，并且还保持有足够的韧性和塑性。

(3) 机械混合物 组成合金的各组元在固态下既不溶解，也不形成化合物，而以混合形式组合在一起的组成物称为机械混合物。其各组元的原子仍保持原来的晶格和性能。所以，机械混合物的性能取决于各组元的相对数量、形状、大小和分布情况。

二、铁碳合金及其状态图

1. 铁碳合金

钢和铸铁是工业中应用最广泛的金属材料，它们都是以铁和碳两种元素为主组成的合金，因此又称铁碳合金。

在铁碳合金中，铁与碳可以形成 Fe_3C 、 Fe_2C 等一系列化合物。碳也可以溶解在铁中形成固溶体，或形成化合物与固溶体的机械混合物。因此，在铁碳合金中出现以下几种基本组织：

(1) 铁素体 碳溶于 $\alpha\text{-Fe}$ 中所形成的固溶体称为铁素体，用符号 F 表示。碳在 $\alpha\text{-Fe}$ 中的溶解度极小，在 727℃ 时的最大溶解量为 0.0218%。随着温度的降低， $\alpha\text{-Fe}$ 中的溶碳量减小，在室温时降至 0.0008%。

铁素体的强度、硬度很低，其硬度值为 50~80HBS，但它具有良好的塑性和韧性。

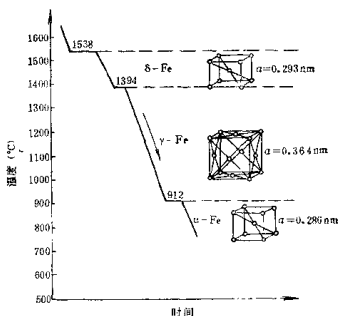


图1-6 纯铁的冷却曲线