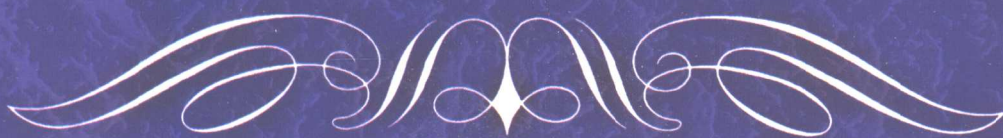


杨昂岳 邹湘军 吴石林 何汉辉 主编



机械制造工程学



国防科技大学出版社

机械制造工程学

主编 杨昂岳 邹湘军 吴石林 何汉辉
编者 吴晓梅 周荣安 陈从桂 卢耀晖
龚京忠 李国喜 吴宝中

国防科技大学出版社

·长沙·

内容简介

本书是以机械制造工程课程教学基本要求为依据,结合课程教学大纲编写的。

全书分为上、下两篇:上篇为材料加工原理,介绍了工程材料、金属切削原理、刀具与机床、典型表面加工及特种加工;下篇为机械制造工艺学,介绍了毛坯制造方法、机械加工工艺设计、夹具设计、机械加工质量、先进制造技术等。

本书可作为机械工程类专业本科生教材,也可作为机械工程技术人员参考书。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造工程学/杨昂岳等编著. —长沙:国防科技大学出版社,2004.2

ISBN 7-81099-040-3

I. 机… II. 杨… 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(2004)第 007935 号

国防科技大学出版社出版发行

电话:(0731)4572640 邮政编码:410073

E-mail: gfkdcbs@ public.cs.hn.cn

责任编辑:潘生 何晋 责任校对:肖滨

新华书店总店北京发行所经销

国防科技大学印刷厂印装

*

开本:787×1092 1/16 印张:24.25 字数:575 千

2004 年 2 月第 1 版第 1 次印刷 印数:1-5000 册

ISBN 7-81099-040-3/TH·2

定价:32.00 元

前 言

机械制造工业通常称为机械工业。它是以金属为主要原材料,经过不同的加工方法制成各种机器的加工制造业。机械工业的主要任务是为国民经济各部门及军队提供各种技术装备。机械工业不断地提供先进的技术装备,促进国民经济各部门的技术进步和发展;机械工业不断地提供先进的武器装备,促进国防现代化的建设和发展。因此,机械工业是国民经济的先导工业,是国家经济的重要支柱,也是国防安危的重要保障,世界各工业化国家都将机械工业作为战略产业而超前发展。

我国的机械工业经过 50 多年的建设,已经发展成为一个门类齐全、布局合理,具有一定规模和技术水平的产业部门。机械工业的企业总数、总产值、从业人员、固定资产、利税总额均占全国工业的四分之一左右,在国家的四个现代化建设中起着重要的作用。

世界上的机械种类繁多,机械零件更是“千姿百态”:它们有的体积很大;有的体积很小(纳米机械);有的形状复杂;有的精度要求很高;有的要用特别材料制成;有的物理、化学性能要求特殊……这些机械零件是怎样制造出来的? 又是怎样装配成机器的? 怎样才能快速、高质量、低成本、清洁地生产机械产品? 这就是《机械制造工程学》要回答的问题。

随着生产的发展和科学实验的需要,尤其是国防尖端技术产品的需要,机械工程所采用的材料愈来愈难以加工,零件的形状愈来愈复杂,零件的形状尺寸精度、表面粗糙度及某些特殊要求也愈来愈高,传统的加工方法已经很难满足。于是,出现了不是主要依靠机械能量,而是主要依靠其他能量(如电、化学、光、声、热等)来进行加工的特种加工技术,如电火花加工、电化学加工、高能束加工、激光加工、超声波加工、化学加工等。

相关科学技术的进步,也促进机械制造的材料、工艺及管理技术的发展,尤其是计算机技术的广泛应用,使机械制造技术成为当代科学技术发展最为活跃的领域。在制造过程中将信息技术、现代管理技术与制造技术有机结合,形成了一系列先进制造技术(Advanced Manufacturing Technology—AMT),如计算

机辅助设计与制造(Computer Aided Design and Manufacturing—CAD/CAM)、数控技术(Numerical Control—NC)、柔性制造系统(Flexible Manufacturing System—FMS)、快速原型制造(Rapid Prototype Manufacturing—RPM)及现代集成制造系统(Contemporary Integrated Manufacturing System—CIMS)等。

本课程是一门实践性与综合性较强的课程,主要研究传统的机械制造加工方法,介绍由金属材料经过毛坯制造、热处理、切削加工至成品装配等机械制造的一般工艺流程的基本规律和工艺方法,为将来从事机械制造工程的技术工作及各种机械装备的研究与使用工作打下基础,也为进一步学习、研究特种加工及先进制造技术打下基础。

作者

2003年12月

目 录

上篇 材料加工原理

第一章 工程材料基础	(1)
第一节 金属材料	(1)
第二节 钢的热处理	(12)
第三节 非金属材料	(15)
思考题与习题	(20)
第二章 金属切削基础知识	(21)
第一节 基本概念	(21)
第二节 刀具切削部分的几何参数	(23)
第三节 切削层参数	(30)
第四节 刀具材料	(31)
思考题与习题	(36)
第三章 金属切削过程的基本规律	(37)
第一节 金属切削过程的变形	(37)
第二节 切削力	(46)
第三节 切削热与切削温度	(52)
第四节 刀具磨损与耐用度	(58)
第五节 金属切削过程基本规律的应用	(68)
思考题与习题	(84)
第四章 金属切削机床的基本知识	(86)
第一节 金属切削机床的分类、型号与主要技术参数	(86)
第二节 工件表面成形方法与机床运动分析	(92)
思考题与习题	(96)

第五章 典型表面加工方法与设备 (97)

第一节 外圆表面加工方法与设备 (97)

第二节 内孔表面加工方法与设备 (130)

第三节 平面加工方法与设备 (149)

第四节 齿面加工方法与设备 (165)

思考题与习题 (178)

第六章 特种加工 (181)

第一节 概述 (181)

第二节 电火花加工 (181)

第三节 数控电火花线切割加工 (184)

第四节 激光加工 (186)

第五节 超声波加工 (189)

第六节 电化学加工 (191)

第七节 电子束加工 (193)

第八节 微细加工技术 (193)

第九节 水射流加工 (196)

思考题与习题 (197)

下篇 机械制造工艺学

第七章 毛坯制造方法 (198)

第一节 铸造 (198)

第二节 锻压成形 (206)

第三节 焊接 (212)

思考题与习题 (221)

第八章 机械加工工艺规程的制订 (222)

第一节 基本概念 (222)

第二节 机械加工工艺规程概述 (228)

第三节 零件的工艺性分析及毛坯的选择 (231)

第四节 机械加工工艺路线的拟订 (235)

第五节 工序设计 (244)

第六节 工艺方案的技术经济分析 (255)

第七节 装配工艺基础 (258)

思考题与习题 (265)

第九章 机床夹具设计	(267)
第一节 机床夹具的基本概念.....	(267)
第二节 工件在夹具中的定位.....	(269)
第三节 工件在夹具中的夹紧.....	(287)
第四节 常用夹紧机构.....	(291)
第五节 夹具的动力装置.....	(304)
第六节 夹具的连接、对刀与分度	(308)
思考题与习题.....	(315)
第十章 机械加工精度	(319)
第一节 机械加工精度及其影响因素.....	(319)
第二节 工艺系统的几何误差.....	(320)
第三节 工艺系统受力变形引起的误差.....	(327)
第四节 工艺系统受热变形及引起的误差.....	(337)
第五节 工件内应力变形引起的误差.....	(340)
第六节 加工误差的综合分析.....	(342)
第七节 提高机械加工精度的途径.....	(347)
第八节 机械加工表面质量.....	(349)
思考题与习题.....	(359)
第十一章 先进制造技术	(360)
第一节 数控加工工艺.....	(360)
第二节 计算机辅助工艺过程设计.....	(367)
第三节 现代集成制造系统.....	(371)
思考题与习题.....	(377)
参考文献	(378)

上篇 材料加工原理

第一章 工程材料基础

材料、能源、信息是组成物质世界的三大要素,也是现代文明的三大支柱。材料是发展国民经济和机械工业的重要物质基础。在机械制造业中,用以制造各种机械结构、机械零件和工、模具的材料统称为机械工程材料。机械工程材料可分为金属材料和非金属材料,其中,金属材料具有许多优良的性能,是应用最广泛的机械工程材料。

第一节 金属材料

一、金属材料的机械性能

金属材料的机械性能是指金属材料在各种形式的外力作用下所表现出的特性,故机械性能又称为力学性能。衡量金属材料机械性能的主要指标有强度、塑性、硬度、冲击韧性、疲劳强度等。

1. 强度

金属材料在外力作用下,抵抗产生塑性变形和破坏的能力称为强度。

金属材料在外力作用下,其变形过程可分为三个阶段:弹性变形、塑性变形和断裂阶段(图 1-1 所示)。

根据金属材料的拉伸曲线($F - \Delta L$ 曲线),可以求出材料的强度指标。金属材料的强度指标用应力 σ (MPa) 来表示。

$$\sigma = \frac{F}{S_0}$$

式中, F ——外力(N); S_0 ——试样原始截面积(mm^2)。

(1) 弹性极限

金属材料在外力作用下,能保持弹性变形的最大应力,以 σ_e (MPa) 表示。

$$\sigma_e = \frac{F_e}{S_0}$$

式中, F_e ——弹性极限载荷(N)。

(2) 屈服极限(屈服强度)

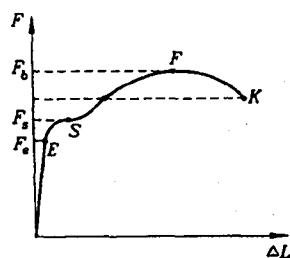


图 1-1 低碳钢拉伸曲线

金属材料在外力作用下,开始产生塑性变形(屈服)时的应力,以 σ_s (MPa)表示。

$$\sigma_s = \frac{F_s}{F_0}$$

式中, F_s ——屈服极限载荷(N)。

金属材料中低碳钢及低碳合金钢、中碳钢及中碳合金钢有屈服现象,许多金属材料没有明显的屈服现象,它们的屈服强度很难测定。对这些材料,通常规定产生 0.2% 塑性变形时的应力作屈服极限,用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

$$\sigma_{0.2} = \frac{F_{0.2}}{F_0}$$

式中, $F_{0.2}$ ——产生 0.2% 残余变形时的载荷(N)。

(3) 抗拉强度(强度极限)

金属材料在拉断前所能承受的最大拉力,以 σ_b (MPa)表示。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0}$$

式中, F_b ——试样断裂前所能承受的最大载荷(N)。

在一般情况下,机械零件在使用时不允许产生塑性变形,更不允许产生断裂,屈服强度是绝大多数机械零件设计的重要依据。

脆性材料(如铸铁)拉伸时几乎不产生塑性变形,没有屈服现象,也不产生缩颈,其断裂是突然发生的。脆性材料机械零件的设计依据是其抗拉强度。

2. 塑性

金属材料在外力作用下产生塑性变形而不被破坏的能力称为塑性。

金属材料的塑性指标有延伸率 δ 和断面收缩率 ψ :

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%$$

$$\psi = \frac{S_0 - S_k}{S_0} \times 100\%$$

式中, L_0 ——试样的原始长度(mm); L_1 ——试样拉断后的长度(mm); S_0 ——试样的原始截面积(mm^2); S_k ——试样断口处的截面积(mm^2)。

δ 与 ψ 越大,表示材料的塑性越好。

3. 硬度

金属材料抵抗硬物压入其表面的能力称为硬度。

硬度是金属材料机械性能的一个综合物理量,表示材料在一个小的体积范围内抵抗弹性变形、塑性变形或破断的能力,也是检验毛坯或热处理件、成品件的重要机械性能指标。硬度由专门的仪器(硬度计)来测定,根据测定仪器和加载方法的不同,常用的硬度单位有布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度、肖氏硬度等。

(1) 布氏硬度

用直径为 D 的淬火钢球或硬质合金球,以相应的试验力 F 压入被测材料表面,经规定的保持时间后,卸除试验力,用读数显微镜测出材料表面的压痕直径 d ,求出压痕表面

积 S 。布氏硬度值 HBS(或 HBW)是试验力与压痕的球形表面积的商。

$$\text{HBS(或 HBW)} = \frac{F}{S} = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

式中, F ——压入载荷(N); S ——压痕表面积(mm^2); d ——压痕直径(mm); D ——淬火钢球(或硬质合金球)直径(mm); h ——压痕深度(mm)。

通常,布氏硬度值不需要计算,而是根据所测直径查布氏硬度表求得。以淬火钢球为压头时,布氏硬度值用符号 HBS 表示;用硬质合金球为压头时,用符号 HBW 表示。

(2) 洛氏硬度

用一定载荷将顶角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为 1.588mm 的淬火钢球压入被测金属表面,然后根据压痕深度确定被测金属材料的硬度值。

根据所加载荷和压头不同,洛氏硬度有三种标度,分别以 HRA、HRB、HRC 表示。其中 HRC 应用最广,它是在加载 $150 \times 9.8\text{N}$,并用 120° 金刚石圆锥试验测得的。当 HBS 大于 220 时,HRC 与 HBS 的数值关系近似为 $1:10$ 。

一般金属材料的硬度越高,耐磨性也越好,其强度也越高。普通碳钢、普通低合金结构钢和调质钢,其硬度值与强度值之间近似关系为: $\sigma_s \approx 0.35\text{HBS}$ 。

4. 冲击韧性

金属材料抵抗冲击载荷的能力称为冲击韧性,简称韧性。

评价冲击韧性的指标通常用一次摆锤冲击试验法测定。冲击韧性 a_k 就是试样断口处单位面积所消耗的功,即:

$$a_k = \frac{A_0}{S}$$

式中, a_k ——冲击韧性(J/cm^2); S ——试样断口处的原始截面积(cm^2); A_0 ——冲击功(J)。

一般来说,强度、塑性两者均好的材料, a_k 值也高,材料的韧性好。

5. 疲劳强度

零件在交变应力下工作时,抵抗疲劳断裂破坏的能力称为疲劳强度。

零件由于其材料中的杂质、表面划痕及其他能引起应力集中的缺陷而导致产生微裂纹,在交变应力作用下,微裂纹随应力循环次数增加而逐渐扩展,直到零件不能承受所加载荷而突然断裂破坏。

图 1-2 为材料的疲劳曲线示意图,从图中可以看出,材料所受交变应力 σ 值越低,则断裂前的应力循环次数 N 越大。当应力值小到某一定值 σ_{-1} 后,疲劳曲线与横轴平行,即应力低于 σ_{-1} 时,材料可承受无数次应力循环而不断裂,此应力值 σ_{-1}

称为应力为对称循环时的疲劳强度或疲劳极限。一般规定钢铁材料 N 为 10^7 次,有色金属材料 N 为 10^8 次。材料的疲劳极限 σ_{-1} 远远低于其屈服强度 σ_s 。

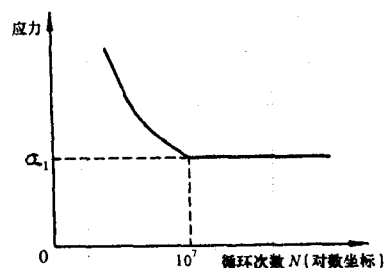


图 1-2 材料的疲劳曲线示意图

二、金属材料的种类

(一)碳素钢

碳素钢简称碳钢,是一种常用的铁碳合金。所谓铁碳合金是钢和铸铁的统称,亦称黑色金属,它虽然是由多种成分组成的复杂合金,但基本上是由铁和碳两种主要成分组成。铁碳合金是工业上应用最广泛的金属材料。

碳钢由于其价格低廉,容易生产,加工性好,通过不同的热处理可改变其力学性能,因此能满足很多工业生产上的要求,广泛应用于机械制造业中。

碳钢按含碳量可分为低碳钢($w_c < 0.25\%$)、中碳钢($w_c = 0.25\% \sim 0.6\%$)、高碳钢($w_c > 0.6\%$);按质量(有害杂质硫、磷含量的多少)可分为碳素结构钢、优质碳素结构钢、高级优质碳素结构钢;按用途可分为碳素结构钢、碳素工具钢。

1. 碳素结构钢

其牌号由代表屈服强度的汉语拼音首位字母 Q 、屈服强度值、质量等级符号、脱氧方法符号四个部分按顺序组成。其中质量等级分为 A 、 B 、 C 、 D 四级,质量从 A 到 D 依次提高;脱氧方法符号分别用 F 、 b 、 Z 和 TZ 表示沸腾钢、半镇静钢、镇静钢和特殊镇静钢,通常牌号中“ Z ”和“ TZ ”符号可省略。例如 $Q235 - A \cdot F$ 表示屈服强度为 235MPa 的 A 级沸腾钢。

碳素结构钢的牌号共有五类 20 种,其牌号、成分、机械性能和用途举例见表 1-1。

表 1-1 碳素结构钢的牌号、成分、机械性能和用途 (GB700-88)

牌号	等 级	化学成分					脱氧 方法	σ_s /MPa	σ_b /MPa	$\times 100$	A_k /J	用途举例
		w_c $\times 100$	w_{Mn} $\times 100$	w_{Si} $\times 100$	w_s $\times 100$	w_p $\times 100$		钢材厚 (直径)/mm		钢材厚 (直径)/mm	V 型 (纵向) 不小于	
		不大于						<16 时不小 于		<16 时不小 于		
Q195	-	0.06 ~0.12	0.25 ~0.50	0.30	0.050	0.045	F、b、Z	195	390	33	-	薄板、焊接管、 铁丝、钉、屋 面板、烟囱等
Q215	A	0.09 ~0.15	0.25 ~0.55	0.30	0.050	0.045	F、b、Z	215	410	31	-	
	B				0.045						27	
Q235	A	0.14 ~0.22	0.30 ~0.65	0.30	0.050	0.045	F、b、Z	235	460	26	-	薄板、中板、 钢筋、条钢、 钢管、焊接件、 铆钉、小轴、 螺栓、连杆、 拉杆、外壳、 法兰等
	B	0.12 ~0.22	0.30 ~0.70		0.045						27	
	C	<0.18	0.35 ~0.80		0.040	0.040	Z					
	D	<0.17			0.035	0.035	TZ					
Q255	A	0.18 ~0.28	0.40 ~0.70	0.30	0.050	0.45	Z	255	510	24	-	拉杆、连杆、 轴、销、销钉 要求较高强度 的零件
	B				0.045						27	
Q275	-	0.28 ~0.38	0.50 ~0.80	0.35	0.050	0.045	Z	275	610	20	-	

2. 优质碳素结构钢

其牌号用两位数字表示,这两位数字表示钢中含碳量的万分之几。如 45 钢表示平均含碳量为 0.45% 的优质碳素结构钢。若钢中含锰量较高(0.7% ~ 1.2%)时,在牌号后面加上锰的化学元素符号,例如 15 锰钢用 15Mn 表示。优质碳素结构钢的牌号、成分、机械性能和用途见表 1-2。

表 1-2 优质碳素结构钢的牌号、成分、机械性能和用途 (GB699-88)

钢号	$w_c \times 100$	σ_s/MPa	σ_b/MPa	$\delta_5 \times 100$	Ak/J	热轧	退火	用途举例
		不小于				HBS 不大于		
08	0.05 ~ 0.12	200	325	33	—	131	—	塑性好,主要用作冷冲压件、焊接件、电磁铁等
10	0.07 ~ 0.14	205	335	31		137		
15	0.12 ~ 0.19	225	375	27		143		
20	0.17 ~ 0.24	245	410	25		156		
25	0.22 ~ 0.30	275	450	23	71	170		用作具有良好综合机械性能的调质件,如螺栓、垫圈、丝杆、拉杆、连接、
30	0.27 ~ 0.35	295	490	21	63	179		
35	0.32 ~ 0.40	315	530	20	55	197		
40	0.37 ~ 0.45	335	570	19	47	217	187	
45	0.42 ~ 0.50	355	600	16	39	229	197	等类型的零件。其中以 45 钢应用最广
50	0.47 ~ 0.55	375	630	14	31	241	207	
55	0.52 ~ 0.60	380	645	13		255	217	
60	0.57 ~ 0.65	400	675	12		255	229	
65	0.62 ~ 0.70	410	695	10		255	229	作要求强度高、弹性好、耐磨的零件,如偏心轴、离合器、轮毂、钢丝绳、机车车轮、农机具的耐磨件,以及弹簧件元件
70	0.67 ~ 0.75	420	715	9		269	229	
75	0.72 ~ 0.80	880	1080	7		285	241	
80	0.77 ~ 0.85	930	1080	6		285	241	
85	0.82 ~ 0.90	980	1130	6		302	255	

3. 碳素工具钢

其牌号用“T+ 数字 + 质量级别”来表示,“T”为碳素工具钢的汉语拼音字首,数字表示其平均含碳量千分之几,如为高级优质钢,质量级别用“A”表示。例如, T8 表示平均含碳量为 0.8% 的优质碳素工具钢,而 T8A 则表示平均含碳量为 0.8% 的高级优质碳素工具钢。碳素工具钢的牌号、成分、机械性能和用途见表 1-3。

(二)合金钢

合金钢就是在碳钢的基础上有目的地加入一定量的某些合金元素的钢。常用的合金元素有:锰、硅、铬、钨、镍、钼、钒、钛、铝、铌、硼等。加入合金元素后可提高钢的机械性能(如强度、硬度、塑性、耐磨性等),改善热处理性能(如提高淬透性、提高回火稳定性、减少淬火变形及裂纹)。

1. 合金结构钢

其牌号用“数字 + 元素符号 + 数字”来表示,前面两位数字表示平均含碳量万分之几,合金元素符号后面的数字表示其含量的百分数,当合金元素平均含量为 0.8% ~ 1.5% 时,

元素符号后不标出数字;当其平均含量 $\geq 1.5\%$ 、 2.5% 、 3.5% 等时,则在元素符号后面相应标出2、3、4……例如,60Si2Mn表示平均含碳量为0.6%、含Si量2%、含Mn量小于1.5%。钢牌号的末尾“A”表示高级优质钢。合金结构钢的种类、牌号、性能及用途见表1-4。

表 1-3 碳素工具钢的牌号、成分、机械性能和用途(GB1298-86)

钢号	$w_c \times 100$	$w_{Mn} \times 100$	$w_{Si} \times 100$	硬度		用途举例
				退火后 HBS 不大于	淬火后 HBS 不小于	
T7(A)	0.65 ~ 0.74	≤ 0.40	≤ 0.35	187	62	用作受冲击的工具,如手锤、錾子、凿子、螺丝刀、剪刀、冲头、风动工具等
T8(A)	0.75 ~ 0.84	≤ 0.40	≤ 0.35	187	62	用作低速切削刀具,如锯条、木工刀具、简单模子和冲头、虎钳钳口、钳工装配工具、饲料机刀片、凿岩石凿子等
T9(A)	0.85 ~ 0.90	≤ 0.40	≤ 0.35	192	62	低速切削刀具、小型冷冲模、形状简单的量具,如车刀、刨刀、钻头、铣刀、丝锥、板牙、锯条、落料冲孔模、塞规、卡板等
T10(A)	0.95 ~ 1.04	≤ 0.40	≤ 0.35	197	62	低速切削刀具、小型冷冲模、形状简单的量具,如车刀、刨刀、钻头、铣刀、丝锥、板牙、锯条、落料冲孔模、塞规、卡板等
T11(A)	1.05 ~ 1.14	≤ 0.40	≤ 0.35	207	62	作不受冲击的工具,但要求硬、耐磨。如刮刀、锉刀、铰刀、量规、刻字刀、拉丝模等
T12(A)	1.15 ~ 1.24	≤ 0.40	≤ 0.35	207	62	
T13(A)	1.25 ~ 1.35	≤ 0.40	≤ 0.35	217	62	

表 1-4 合金钢的牌号、性能及用途

种类	牌号	性能及选用范围
普通低合金结构钢	9Mn2, 10MnSiCu, 16Mn, 15MnTi	强度较高, 韧性良好, 具有焊接性和耐磨性。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械零件
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, GCr15SiMn, GCrMnMoV	用于制造滚动轴承的滚珠、套圈

2. 合金工具钢

用于制造各种工模具的合金钢称为合金工具钢。这种钢比碳素工具钢具有更高的硬度、耐磨性和韧性,特别是具有更好的淬透性、淬硬性和热硬性,因而可以用来制造形状复杂、尺寸较大、性能要求较高的刀具、模具、量具等工具。

合金工具钢的牌号表示法与合金结构钢相似,只是含碳量的表示方法不同。当其平

均含碳量大于1.0%时,不标出;当其平均含碳量 $\leq 1.0\%$ 时,以一位数字表示含碳量的千分之几;但高速钢例外,其平均含碳量 $\leq 1.0\%$ 时也不标出。例如:CrWMn钢表示其平均含碳量 $\geq 1.0\%$,平均含铬、钨、锰量均 $< 1.5\%$;9SiCr钢表示其平均含碳量为0.9%,平均含硅、铬量均 $< 1.5\%$;而W18Cr4V则表示平均含碳量为0.70~0.80%,含钨、铬、钒量分别小于18.5%、4.5%、1.5%的高速钢。此外,由于合金工具钢都属于高级优质钢,故不再在牌号中标出“A”字。

(三) 铸铁

铸铁是含碳量大于2.11%的铁碳合金。它是以铁、碳、硅为主,并含有较多的锰、硫、磷等杂质的多元合金。常用的铸铁有灰口铸铁、球墨铸铁、可锻铸铁。

1. 灰口铸铁

碳全部或大部分以片状石墨的形式存在,其断口呈暗灰色,是机械工业应用最广泛的铸铁。

2. 球墨铸铁

其石墨呈球状,具有较高的机械性能,强度接近于碳钢,同时仍保持较好的铸造性能、耐磨性、减震性和切削加工性,可替代部分碳钢制造某些较重要的零件。

表 1-5 铸铁的牌号、应用及说明

名称	牌号	应用举例	说明
灰口铸铁	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	用于制造气缸、齿轮、底架、机体、飞轮、齿条、衬筒;一般机床铸有导轨的床身及中等压力(8MPa以下)的液压筒、液压泵和阀体等
	HT200	“HT”为“灰铁”两字的汉语拼音字首,后面三位数字表示其最低抗拉强度的数值。例如:HT200表示最低抗拉强度 $\sigma_b \geq 200\text{MPa}$ 的灰口铸铁。	
球墨铸铁	QT400-18 QT450-10 QT500-7 QT800-2	具有较高的强度和塑性。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QT450-10)、气缸套、活塞环、摩擦片、中低压阀门、千斤顶座、轴承座等	“QT”为“球铁”两字的汉语拼音字首,后面两组数字分别表示其最低抗拉强度 σ_b 和最小延伸率 δ 的数值。
可锻铸铁	KTH300-06 KTH330-08 KTH450-06	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	“KT”为“可铁”两字的汉语拼音字首,“KTH”表示黑心可锻铸铁,“KTZ”表示珠光体可锻铸铁;后面两组数字分别表示其最低抗拉强度和最小延伸率的数值。

3. 可锻铸铁

俗称马口铁,它是将白口铸铁(其中碳以渗碳体形式存在,断口呈银白色)经过长时间(约15h)高温(900℃~980℃)进行石墨化退火处理而获得的具有团絮状石墨的铸铁。可

锻铸铁的机械性能比灰口铸铁高,塑韧性也比灰口铸铁高,但实际上可锻铸铁并不能进行锻造。

常用铸铁的牌号、应用及说明见表 1-5。

(四)有色金属及其合金

通常将所有的非铁金属及其合金称为有色金属。有色金属种类繁多,由于它们具有黑色金属所不具备的某些特性,如密度小、比强度高、耐腐蚀、耐高温等物理化学性能,因此已成为现代工业,尤其是国防工业中不可缺少的材料。

1. 纯铜

纯铜又称紫铜,密度为 8.96g/cm^3 ,熔点为 1083°C 。纯铜具有良好的导电性、耐热性、无磁性,耐腐蚀性好,塑性好,能承受冷、热压力加工,但其强度较低,价格贵。

2. 铜合金

铜中加入一定的合金元素后,可获得强度较高的铜合金,同时保持纯铜的某些优良性能。

(1) 黄铜

以锌为主要合金元素的铜合金称为黄铜。普通黄铜是铜锌二元合金,其耐蚀性好、熔点低、流动性好、铸造性能好;特殊黄铜是在普通黄铜中加入 Sn、Pb、Al、Si、Mn 等元素而形成的合金,这些合金元素的加入,一般均能提高其强度,Sn、Al、Si、Mn 还可提高其耐蚀性,Si 还可改善其铸造性能,Pb 还可改善其切削加工性和提高其耐磨性。纯铜、黄铜及铜合金的牌号、应用及说明见表 1-6。

表 1-6 纯铜、黄铜及铜合金的牌号、应用及说明

名称	牌号	应用举例	说明
纯铜	T1	电线、导电螺钉、贮藏器及各种管道	纯铜分 T1 ~ T4 四种。如 T1(一号铜)铜的含铜量为 99.95%;T4 含铜量为 99.5%
普通黄铜	H62	散热器、垫圈、弹簧、各种网、螺钉及其他零件	“H”表示黄铜,后面的数字表示铜的含量,如 62 表示铜的含量为 60.5 ~ 63.5%
特殊黄铜	HPb59-1	热冲压及切削加工零件,如销、螺钉、螺母、轴套等	H 后为主加元素符号,两组数字分别为铜及主加元素的含量,如 HPb59-1 表示铜 59%、铅 1%

(2) 青铜

铜与锡的合金称青铜,呈青灰色。但习惯上也把含 Al、Si、Pb、Be 等的铜基合金称青铜,并分别称为铝青铜、硅青铜、铅青铜、铍青铜等。

锡青铜的耐蚀性比黄铜高,并且有良好的耐磨性;铝青铜的耐蚀性好,强度、硬度均比黄铜和锡青铜高,耐磨性也好,是无锡青铜中应用最广的一种;铍青铜是青铜中各方面性能都优良的合金,它不仅具有高的耐蚀、耐磨、导电性,而且经固溶时效强化后,抗拉强度可达 1200MPa ,硬度高达 HBS(320 ~ 400),它还具有抗磁性、耐寒、受冲击不产生火花等特性,但其价格昂贵,在航空航天工业中应用较多。部分常用青铜的牌号、成分、性能和用途见表 1-7。

表 1-7 部分常用青铜的牌号、成分、性能和用途

类别	牌号	$w_M \times 100$		机械性能			主要用途
		第一主加元素	其他	σ_b / MPa	$\delta \times 100$	HBS	
锡青铜	QSn4-3	Sn: 3.4 ~ 4.5	Zn: 2.7 ~ 3.3	350	40	60	弹性元件、管配件、化工机械中耐磨零件、抗磁零件
			余量 Cu	550	4	160	弹簧、接触器、振动片、电刷
	QSn6.6-0.1	Sn: 6.0 ~ 7.0	P: 0.1 ~ 0.25	350 ~ 450	60 ~ 70	70 ~ 90	匣、耐磨件、抗磁件
			余量 Cu	700 ~ 800	7.5 ~ 12	160 ~ 200	
无锡青铜	QA17	Al: 6.0 ~ 8.0	余量 Cu	470	70	70	重要用途的弹簧、弹性元件
				480	3	154	
	QA19-4	Al: 8.0 ~ 11.0	Fe: 2.0 ~ 4.0	400	10	100	耐磨零件如螺母、齿轮、轴套、蜗轮、轴承及在蒸汽、海水中工作的高强度耐蚀件
			余量 Cu	500	12	110	
	Qbe2	Be: 1.9 ~ 2.2	Ni: 0.2 ~ 0.5	500	40	90	重要的弹簧和弹性元件、波纹管、深冲拉件、耐磨零件、高速高压高温工作的轴承
			余量 Cu	800	3	250	
	QSi3-1	Si: 2.75 ~ 3.5	Mn: 1.0 ~ 1.5	350 ~ 400	50 ~ 60	80	弹簧、耐磨零件、腐蚀介质中工作的零件, 如齿轮、蜗轮、蜗杆、衬套等
			余量 Cu	650 ~ 750	1 ~ 5	180	
	ZCuPb30	Pb: 27.0 ~ 33.0	余量 Cu	—	—	—	高速高压下工作的航空发动机、柴油发动机、曲轴的轴承
				—	—	25	

3. 铝及铝合金

(1) 纯铝

纯铝的熔点为 660°C , 密度为 $2.72\text{g}/\text{cm}^3$, 约为铁的 $1/3$, 是制造各种轻质结构材料的基本金属。铝的导电性、导热性好; 铝与氧形成的 Al_2O_3 保护膜能有效防止铝的进一步氧化, 故其耐大气腐蚀性能好; 铝的强度低、塑性好, 适于冷、热压力加工。

工业纯铝分为铸造纯铝及变形纯铝两种。铸造纯铝牌号由“ZAl + 数字”组成, 数字表示铝纯度百分含量, 如 ZAl99.5 表示铝含量不低于 99.5% 的铸造纯铝。变形纯铝牌号用“ $1 \times \times \times$ ”四位字符表示, 变形纯铝的纯度不低于 99.00%, 牌号的最后两位数字表示最低铝含量百分数中小数点后面两位数字; 牌号第二位的字母表示纯铝的改型情况, 字母“A”为原始纯铝, 如 1A30 表示铝含量不低于 99.30% 的原始纯铝。

(2) 铝合金

在铝中加入适当的铜、镁、锰、硅等元素形成铝合金。铝合金强度较高, 在航空航天工业中广泛应用。若再进行热处理或冷变形, 还可进一步提高强度, 使之接近中碳钢的强度 (σ_b 达 600MPa)。根据铝合金的成分和加工成型特点, 常用铝合金可分为变形铝合金和铸造铝合金两大类。

变形铝合金根据其主要性能特点分为防锈铝合金、硬铝合金、超硬铝合金和锻造铝合金。变形铝合金牌号用“ $2 \times \times \times$ ”~“ $8 \times \times \times$ ”四位字符表示, 牌号中的第一位数字是分别对应主要合金元素顺序 Cu、Mn、Si、Mg、Mg + Si、Zn、其他元素的铝合金的组别; 牌号中第二位字母表示改型情况, 字母“A”为原始纯铝; 牌号中的最后两位数字用来区分同一组中不同的铝合金, 如 2A11 表示以铜为主要元素的变形铝合金。

锻造铝合金可分为铝—硅系、铝—铜系、铝—镁系和铝—锌系四大类, 其中应用最广的是铝—硅系。铸造铝合金的牌号用“ZL + 3 位数字”来表示, “ZL”是“铸铝”的汉语拼音