

机械制造工艺基础

上册

无锡柴油机厂七二一工人大学

翻印

热加工工艺基础

目 录

第一篇 金属材料及热处理的基本知识

第一章 金属和合金的主要性能	1
§1-1 金属及合金的机械性能	2
§1-2 金属及合金的物理、化学和工艺性能	6
第二章 碳钢	7
§2-1 钢的分类和编号	7
§2-2 碳素钢	8
第三章 钢的热处理原理	13
§3-1 纯铁的组织及其结晶过程	13
§3-2 钢的组织	17
§3-3 铁碳状态图	20
§3-4 钢在加热时组织的转变	25
§3-5 钢在冷却时组织的转变	26
第四章 钢的热处理工艺	30
§4-1 退火	30
§4-2 正火	32
§4-3 淬火	33
§4-4 回火	37
§4-5 钢的表面热处理	37
§4-6 热处理与机械加工的关系	42
第五章 合金钢	44
§5-1 合金元素对钢性能的影响	44
§5-2 合金钢的分类和编号	46

§5-3 普通低合金结构钢	47
§5-4 合金结构钢	48
§5-5 合金工具钢	53
第八章 铸铁	55
§6-1 灰口铸铁	55
§6-2 高强度灰铸铁	58
§6-3 铸铁的热处理	61
第七章 有色金属	62
§7-1 铜和铜合金	62
§7-2 铝和铝合金	64
§7-3 选择材料的原则	67

第二篇 铸 造 生 产

第一章 砂型的制造	71
§1-1 造型材料	71
§1-2 模型设计要点	73
§1-3 各种造型方法	77
§1-4 机器造型	82
第二章 铸铁件的生产	85
§2-1 影响灰铸铁组织形成的因素	85
§2-2 灰铸铁的铸造性能	88
§2-3 高强度铸铁的获得方法	92
§2-4 铸铁的熔化、浇注及清理	95
第三章 钢和有色金属的铸造	107
§3-1 铸钢	107
§3-2 有色金属锻造	108
第四章 特种铸造	112
§4-1 金属型铸造	112
§4-2 压力铸造	115

§ 4 - 3 熔模铸造	117
§ 4 - 4 离心铸造	119
§ 4 - 5 各种铸造方法的比较	120
第五章 铸件结构工艺性	122

第三篇 金属压力加工

第一章 金属的塑性变形	131
§ 1 - 1 金属塑性变形的实质	131
§ 1 - 2 塑性变形后金属的组织与性能	132
第二章 金属的加热	136
§ 2 - 1 钢在加热时出现的现象	136
§ 2 - 2 加热规范和锻造温度范围	138
§ 2 - 3 加热设备	141
第三章 轧制、挤压及拉拔	145
§ 3 - 1 轧制	145
§ 3 - 2 挤压	149
§ 3 - 3 拉拔	152
第四章 自由锻造	154
§ 4 - 1 自由锻造设备	154
§ 4 - 2 自由锻造的基本工序	159
§ 4 - 3 自由锻造工艺规程的制定	162
§ 4 - 4 自由锻造零件的结构工艺性	170
§ 4 - 5 合金钢的锻造特点	172
第五章 模型锻造	173
§ 5 - 1 模锻锤上模锻	174
§ 5 - 2 胎模锻造	183
第六章 板料冲压	188
§ 6 - 1 冲压设备	188
§ 6 - 2 板料冲压的基本工序	190

§ 6-3 冲压零件的结构工艺图	195
------------------------	-----

第四篇 金属的焊接

第一章 手工电弧焊	198
§ 1-1 焊接电弧	198
§ 1-2 手工电弧焊设备	200
§ 1-3 电焊条	204
§ 1-4 手工电弧焊工艺	207
第二章 其它焊接方法简介	215
§ 2-1 气焊与气割	215
§ 2-2 埋弧焊	219
§ 2-3 气体保护焊 (气电焊)	223
§ 2-4 电渣焊	224
§ 2-5 等离子弧焊	225
§ 2-6 堆焊	226
§ 2-7 接触焊 (电阻焊)	226
§ 2-8 钎焊 (钎接)	227
第三章 常用金属材料的焊接	228
§ 3-1 金属材料的可焊性	228
§ 3-2 焊接接头的组织与性能	229
§ 3-3 碳钢的焊接	233
§ 3-4 合金钢的焊接简介	235
§ 3-5 铸铁的焊补	237
§ 3-6 铝、铜及其合金的焊接	248
第四章 焊接变形与应力	241
§ 4-1 焊接变形与应力产生的原因	241
§ 4-2 焊接变形的基本形式	243
§ 4-3 预防或减少焊接变形与应力的措施	246
§ 4-4 焊接变形的矫正	249
第五章 焊接结构工艺设计及焊缝代号	252
§ 5-1 焊接结构工艺设计	252
§ 5-2 焊缝代号简介	257

第一篇 金属材料及热处理基本知识

“人的认识，主要地依赖于物质的生产活动。”工农兵学员在三大革命实践中，对于金属材料，已经有了一些感性认识。例如大家都知道钢铁比铜、铝坚固耐用；有的钢材可以做成锄头、榔头、凿子等生产工具；有的钢材则可以做成汽车、拖拉机等各种零件。通过校办工厂台钻的装配劳动和有关零件的加工，可以使我们进一步扩大和加深对于金属材料的认识。现将台钻主要零件的材料和热处理工艺列于表1-1。

表1-1 台钻主要零件的材料及热处理

零件名称	材 料	热 处 理
工作台	HT21-40	粗加工后人工时效HB170-241
主轴箱	HT21-40	粗加工后人工时效HB170-241
轴承座	HT21-40	
垫 圈	35 钢	发黑处理
升降螺杆	45 钢	
齿 轮	45 钢	调质 HRC _{22~25}
平 键	45 钢	调质 HRC _{22~25}
圆挂销	45 钢	
棘 轮	45 钢	表面淬火 HRC _{40~45}
轴承套	45 钢	高频淬火 HRC _{45~50}
手 柄	A ₃	
摇手柄	可锻铸铁	
主 轴	40 Cr	锥度部分淬火 HRC _{40~45} ，其余部分调质 HRC _{22~25}
销紧块	62 黄铜	
皮带轮	铸铝 A12	
盘型弹簧	65 Mn	
立 柱	HT21-40	

从生产实践和表1-1的归纳当中，可以得到以下二点认识：

一、不同的材料，有不同的用途。

二、同一种材料，可以采用不同的热处理方法，用作不同的用途。

三、要从零件所处的实际工作环境出发，选择能够满足零件技术要求材料进行制造，并使所需的材料具有较好的加工工艺性。

因此，掌握材料的各种性能和各种加工工艺（这里主要讲热处理工艺），对于更好地参加生产实践，进行机械零件的设计和制造是很重要的。

第一章 金属及合金的主要性能

在机械制造中所用的金属材料以合金为主，很少使用纯金属。原因是合金常比纯金属具有更好的机械性能和工艺性能，而且成本一般较纯金属低。

合金是以一种金属作为基础，加入其他的金属或非金属，经过熔合而获得的具有金属特性的材料。最常用的合金，有以铁为基础的铁碳合金，如碳素钢、合金钢、铸铁等；此外，还有以铜或铝为基础的铜合金和铝合金等。

金属及其合金的主要性能是指机械性能、工艺性能、物理和化学等性能。

§1-1 金属及合金的机械性能

机械零件在工作时，需受到各种外力的作用。金属及合金受外力作用时，所表现的抵抗破坏能力，总称为金属的机械性能。机械性能通常是选择材料的主要指标。

机械性能主要包括：强度、塑性、冲击韧性、硬度等。

一、强度和塑性

强度是金属在外力作用下抵抗破坏的能力。按照外力性质（如拉力、压力、剪力等）的不同，强度分为抗拉强度、抗弯强度、抗压强度和抗剪强度等，一般抗拉强度应用比较广泛。

抗拉强度是通过拉伸试验测定的。它是把一定尺寸和形状的试样（图1-1）装夹在拉力试验机上，然后逐渐增加载荷（即外力），直至把试样拉断。在拉伸过程中试验机自动地记录了每一瞬时的载荷和变形，如将它们之间的关系画成曲线，便成为拉伸曲线。图1-2为低碳钢的拉伸曲线。图中纵坐标表示载荷 P ，

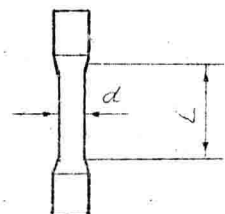


图1-1 拉伸试样

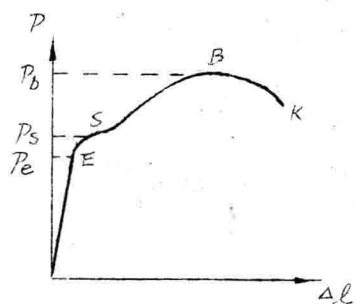


图1-2 拉伸曲线

横坐标表示变形 ΔL （伸长量）。

当载荷不超过 P_E 时，拉伸曲线是一直线，即变形与外力成正比。此时只产生弹性变形，外力去除后，变形便立即消失。当载荷继续增加超过 P_E 时，金属便产生塑性变形（即永久变形）。此时外力去除后试样不能完全恢复原状（只有弹性变形部分恢复），故 P_E 称为弹性极限载荷。当载荷增加至 P_S 时，虽然外力维持不变，但试样的变形仍继续增加，这种现象叫做屈服。引起试样屈服的载荷叫做屈服载荷，S点称为屈服点。当载荷继续增加时，变形便剧烈增加，在达到某一最大值 P_b 时，试样的局部截面缩小，产生细颈，这时拉力减小，变形迅速增加，试样很快被拉断。

当材料受外力作用时，在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。

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

式中： σ ——应力（公斤/毫米²）

P ——外力（公斤）

F ——横截面面积（毫米²）

对应于弹性极限载荷 P_e 时的应力 $\sigma_e = \frac{P_e}{F_0}$ 公斤/毫米²，称为弹性极限。 F_0 ——为试样原来的横截面面积。

对应于屈服载荷 P_s 时的应力 $\sigma_s = \frac{P_s}{F_0}$ 公斤/毫米²，称为屈服极限（也称为屈服强度或屈服点）。

对应于最大载荷 P_b 时的应力 $\sigma_b = \frac{P_b}{F_0}$ 公斤/毫米²，称为抗拉强度极限（也称为抗拉强）。

通过拉伸试验还能确定金属的塑性。塑性是金属产生永久变形而不破坏的能力。塑性的指标是以延伸率 δ 和断面收缩率 ψ 来表示的。

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

$$\psi = \frac{F_0 - F}{F_0} \times 100\%$$

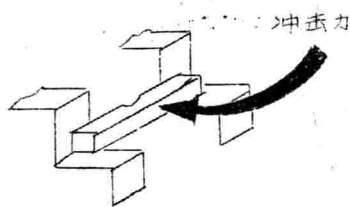


图1-3 冲击试验示意图

式中 L_0 、 L 分别为试样的原长和拉断后的长度。 F_0 、 F 分别为试样的原截面面积和拉断后断口处的截面面积。

二、冲击韧性

冲击韧性是金属抵抗冲击力的能力。冲击韧性的大小是在冲击试验机上试验确定的（图1-3）。它是将摆锤举到一定的高度来冲断试样，用单位面积上所消耗的功表示冲击韧性 α_K 。

即

$$\alpha_K = \frac{A_K}{F} \text{ 公斤-米/厘米}^2$$

式中： A_K ——冲击试样所消耗的功（公斤-米）

F ——断口处的截面面积(厘米²)

三、硬 度

硬度是金属抵抗硬物压入的能力。由于在生产中测定硬度最为方便，而且硬度与强度存在着一定的关系(例如，对不淬火钢， $\sigma_b = 0.36 HB$)，因此硬度通常作为设计技术条件中的一项指标。测定硬度的方法很多，下面主要介绍二种。

1. 布氏硬度

布氏硬度是用一定直径 D (如 10 毫米) 的淬硬钢球，在一定的压力 P (如 3000 公斤) 的作用下，压入金属表面(图 1-4)，于是在金属表面出现球面状的压痕，然后用压力 P 和压痕球面积 F 的比值来表示金属的硬度，以符号 HB 表示，即

$$HB = \frac{P}{F} \text{ 公斤/毫米}^2$$

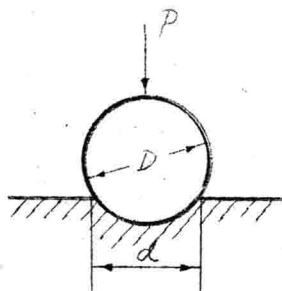


图 1-4 布氏硬度试验示意图

HB 的数值一般不需要计算，而用带有刻度的放大镜测量出压痕直径，直接由表查得 HB 值的大小。HB 通常不用单位表示。

布氏硬度不能用于测定硬度超过 HB 450 的材料，否则钢球会变形，测得结果就不准确。这时，可用洛氏硬度测定。布氏硬度也不能用以测定厚度小于 1~2 毫米的薄材料，否则钢球会压穿试样。

2. 洛氏硬度

洛氏硬度在生产上应用比较广泛，它的测量方法比布氏

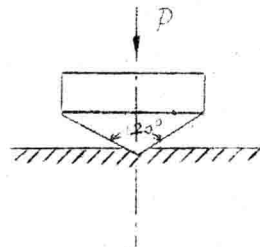


图 1-5 洛氏硬度试验示意图

硬度方便。它是用金刚石圆锥体在一定的压力（如150公斤）下，压入金属表面（图1-5），根据压痕深度确定硬度数值。压痕深度是通过硬度试验机反映出来的。从指针上可以直接读出硬度值。常用的洛氏硬度以符号HRC表示。（此外还有HRA和HRB，用得较少）

布氏硬度和洛氏硬度可以查表换算。一般 $HRC \approx 10 HB$ 。

表1-2为金属材料的机械性能含义简表

表1-2 金属材料的机械性能含义表

名 称	符 号	单 位	含 义
塑 性			材料在外力作用下发生永久变形而不破坏的性能
延 伸 率	δ	%	材料受拉力断裂时，伸长的长度与原长度的百分比
断面收缩率	ψ		材料受拉力断裂时，缩小的截面积与原截面积的百分比
强 度			材料抵抗破坏的能力
抗拉强度	σ_b	公斤/毫米 ²	材料抵抗拉力破坏的能力
屈服强度	σ_s	公斤/毫米 ²	材料抵抗塑性变形的能力
冲击韧性	α_k	公斤-米/厘米 ²	材料抵抗冲击力的能力
硬 度			材料抵抗硬物压入的能力
布氏硬度	HB		
洛氏硬度	HRC		

§1-2 金属及合金的物理、化学和工艺性能

一、物理性能

金属及合金的物理性能，主要指的是比重、熔点、热膨胀性、磁性和导电性等。

二、化学性能

金属及合金的化学性能，主要是指抵抗活泼介质的化学侵蚀的能力，如耐腐蚀性、耐酸性等。

三、工艺性能

金属及合金通常经过铸造、锻造、焊接、热处理、切削加工等方法制成机械零件。标志材料经受这些加工方法的能力称为工艺性能。

选择材料时，首先要从零件所处的实际工作环境出发，选择具有适宜的机械、物理和化学性能的材料，同时要考虑此种材料应具有较好的加工工艺性能。这样，才能保证选出的材料在技术上是可靠的，在经济上是合理的。

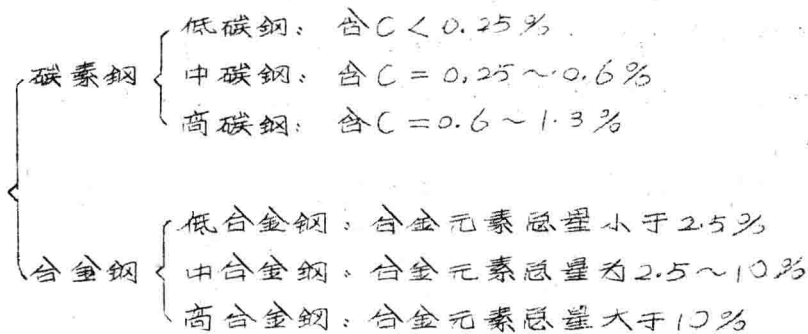
第二章 碳 钢

钢是含碳量小于2%的铁碳合金。它有足够的强度和塑性，可以制成各种机械零件和工具，还可通过热处理方法和加入合金元素（成为合金钢）等途径，来提高它的性能。因此，钢是目前工业上用得最广泛的一种材料。

§2-1 钢的分类和编号

一、钢的分类

1. 按化学成份分类



2. 按用途分类

结构钢：用来制造房屋结构和机械零件的钢，包括碳素结构钢及合金结构钢。

工具钢：用来制造工具、刃具、量具的钢，包括碳素工具钢和合金工具钢。

特殊性能钢：具有特殊物理和化学等性能的钢。常为合金钢。

3. 按质量分类

根据有害杂质（硫、磷）的含量分类。

普通钢：含硫、磷量 $< 0.06\%$ 。

优质钢：在结构钢中 $S < 0.045\%$, $P < 0.04\%$ 。在工具钢中 $S < 0.03\%$, $P < 0.035\%$ 。

高级优质钢：一般都是合金钢， $S < 0.03\%$, $P < 0.03\%$ 。

二. 钢的编号

钢的品种繁多，为了便于选用，必须制订科学的编号系统。目前，我国已经使用了自己的材料编号系统，其规律是：

1. 钢中合金元素用国际化学符号表示

如 C (碳); Mn (锰); Si (硅); Cr (铬) 等。

2. 钢中碳和合金元素的含量以数字表示，含碳量写在编号的最前面，合金元素的含量写在各相应元素的后面。

3. 各元素含量的表示法

请参看后面的具体钢号的表示法。

4. 对于一些特殊用途和性能的钢号，另外给以一定的代号。

1) 高级优质钢，在钢号最后面加字母“A”或“高”。

2) 碳素工具钢前面加“T”或“碳”字。

3) 滚珠轴承钢前面加“滚”或“G”字。

§ 2-2 碳 素 钢

碳素钢包括普通碳素结构钢、铸钢、优质碳素结构钢和碳素工具钢四种。

一、普通碳素结构钢 这类钢材含P、S等杂质比较多，一般轧制成各种棒材、板料、型钢，供制造不太重要的结构件和机械零件。按其供应条件可分为：

1. 甲类钢 这类钢按机械性能供应，使用时不再热处理，常用于建筑结构和不太重要的机械结构零件。有A₀、A₁、……A₇等八种（见表2-1）。

2. 乙类钢 以“B”为代号。乙类钢按化学成分供应，使用时往往要经过热处理及其他热加工方法。

表2-1 甲类、特类普通碳素钢的机械性能和应用举例
(摘自GB700~65)

钢 号		机 械 性 能						应 用 举 例
碱性平炉钢		σ_s (断/毫米 ²) 不 小 于			σ_b (断/毫米 ²)	δ_5	δ_{10}	
甲类钢	特类钢	按尺寸分组				(%)	(%)	
牌 号	牌 号	第一组	第二组	第三组		不 小 于		
A ₂ A ₂ F	C ₂ C ₂ F	22	20	19	34~42	31	26	金属结构构件、拉杆、销钉、螺栓、短轴、心轴、吊钩、垫圈、渗碳零件及大锻件。
A ₃	C ₃	24	23	22	38~40 41~43 44~47	27 26 25	23 22 21	
A ₃ F	C ₃ F	24	22	21	38~40 41~43 44~74	27 26 25	23 22 21	
A ₄ A ₄ F	C ₄ C ₄ F	26	25	24	42~44 45~48 49~52	25 24 23	21 21 19	金属结构构件、转轴、心轴、拉杆、吊钩、螺栓、键以及其它强度要求不高的零件。焊接性尚可。
A ₅	C ₅	28	27	26	50~53 54~57 58~62	21 20 19	17 16 15	

A6	—	31	30	30	60~63	16	13	禁轴、心轴、主轴、啮合和摩擦离合、链环片、刹车的带、绳以及强度要求高的零件。
					64~67	15	12	
					68~72	14	11	

注：(1) σ_s 是按钢材尺寸来分组的。以圆钢为例，其直径：第一组 ≤ 40 毫米；第二组 $> 40 \sim 100$ 毫米；第三组 $> 100 \sim 250$ 毫米。

(2) δ_5 、 δ_{10} 指试样的原长 l / 直径 $d = 5$ 倍、10 倍。

3. 特类钢 以“C”为代号。特类钢供应时同时保证机械性能和化学成分。

二、铸钢

铸钢是将炼钢所得的钢水浇注到铸型中去，以获得具有一定形状、尺寸的零件的材料。

铸钢在结构钢中也是应用得比较广泛的一种材料。一些大而重或者形状复杂的机械零件和工程结构（如减速箱箱体、机床床身），如果采用锻造方法进行加工，就会遇到很大的困难，而当采用铸钢（或铸铁）作材料，用铸造方法进行制造，就会方便得多。

铸钢的含碳量一般在 0.15~0.60% 范围内。

铸钢的牌号用“ZG”表示，其后面的数字以含碳量的 0.01% 为单位。如 ZG 55，即表示含碳量为 0.55% 左右的铸钢。见表 2-2。

三、优质碳素结构钢

优质碳素结构钢具有比较好的机械性能，用于制造比较重要的机械零件和结构。为了与普通碳素结构钢区别，它的钢号都用两位数字表示，如 08 钢、10 钢……等。钢前面的数字以含碳量的 0.01% 为单位。如 10 钢，表示含碳量约 0.1%，见表 2-3。

四、碳素工具钢

工具钢是用来制造刀具、量具和模具等工具的材料。在注

表2-2 碳素铸钢的化学成分、机械性能及应用举例(摘自GB977-67)

牌 号	化 学 成 分 (%)			机 械 性 能					应 用 举 例
				σ_s	σ_b	δ_5	ψ	α_K	
				公斤/厘米 ²	公斤/厘米 ²	%	%	公斤-厘米/厘米 ²	
	C	Mn	Si	不 小 于					
ZG15	0.12	0.35	0.20	20	40	25	40	6.0	各种形状的机件, 如机座、变速箱壳体等。
	~ 0.22	~ 0.65	~ 0.45						
ZG25	>0.22	0.50	0.20	24	45	20	32	4.5	用于机座、箱体和工作温度在45°C以下的管路附件等。焊接性能良好。
	~ 0.32	~ 0.80	~ 0.45						
ZG35	>0.32	0.50	0.20	28	50	16	25	3.5	各种形状的机件, 如飞轮、机架、蒸汽锤、桩锤、齿轮、水压机工作缸、横梁等。焊接性能尚可。
	~ 0.42	~ 0.80	~ 0.45						
ZG45	>0.42	0.50	0.20	34	58	12	20	3.0	各种形状的机件, 如联轴节、轮、汽缸、齿轮、齿轮圈及负荷机架等(如汽车吊的周转大齿轮)。
	~ 0.52	~ 0.80	~ 0.45						
ZG55	>0.52	0.50	0.20	35	65	10	18	2.0	起重运输机中齿轮、平轮、联轴节等机件。
	~ 0.62	~ 0.80	~ 0.45						