

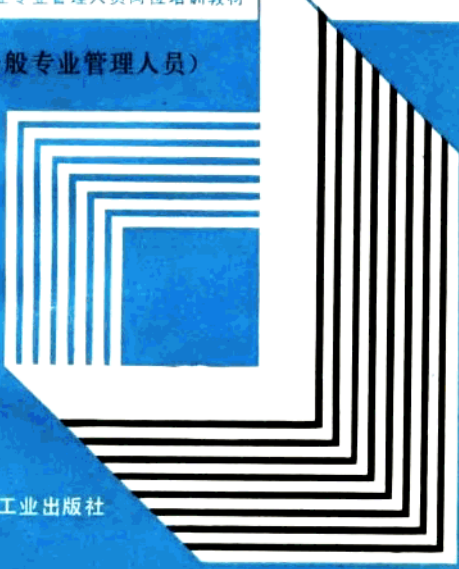
机械工程材料及热加工工艺

机械电子工业部
机电行业专业管理人员岗位培训教材

王淑珍 主编

(一般专业管理人员)

机械工业出版社

The cover features a large, abstract geometric design. It consists of a series of concentric squares and lines that create a sense of depth and perspective. The design is primarily white and black, set against a blue background. The lines are arranged in a way that they appear to recede into the distance, forming a complex, layered pattern.

TG156

22

3

机械电子工业部
机电行业专业管理人员岗位培训教材

机械工程材料及热加工工艺学

(一般专业管理人员)

王淑珍 主编



机械工业出版社

B

002160

本书是机电行业一般专业管理人员岗位培训教材。

全书内容共分机械工程材料和热加工工艺两大部分。在机械工程材料部分，主要内容包括常用金属材料(钢、铸铁、有色金属及其合金)和非金属材料(工程塑料、复合材料、陶瓷、橡胶)，其中有一章专门介绍钢的热处理。在热加工工艺部分，主要内容包括铸造、压力加工和焊接。

机械工程材料及热加工工艺

(一般专业管理人员)

王淑珍 主编

责任编辑：丁孝模 责任校对：赵健

封面设计：姚毅 版式设计：张世琴

责任印制：

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

机械工业出版社发行·机械工业出版社经售

开本 787×1092¹/₃₂·印张 8⁵/₈·字数 211 千字

1990年5月北京第一版·1990年5月北京第一次印刷

印数00,001—18,200·定价：5.60元

ISBN 7-111-02110-X/TG·544

前 言

把提高从业人员本岗位需要的工作能力和生产技能作为重点,广泛地开展岗位培训,这是成人教育的一项重大改革,也是提高劳动生产率和工作效率的重要手段。

为了搞好机械电子行业的岗位培训,我们首先抓了岗位培训的基础建设工作,即制定和编写了机械电子行业企业生产经营系统十四类主管专业管理人员和一般专业管理人员的岗位规范(《机械工业企业专业管理人员岗位业务规格》机械工业出版社 1987年11月出版)、培训计划和教学大纲(《机电工业企业专业管理人员培训计划和教学大纲》机电电子工业部教育司1989年7月印发)。

在此基础上,我们聘请了二百多位专家、教授及有丰富实际工作经验的同志编写了相应的培训教材。这套教材分中专(对应一般专业管理人员)、大专(对应主管专业管理人员)两个层次编写,共85种,其中基础课和专业基础课20种,专业课65种。

这套教材的编写体现了岗位培训直接有效地为经济建设服务的指导思想,突破了普教教材编写模式的束缚,符合成人教育的特点,突出了岗位培训的特色。

这套教材也可用于“专业证书”培训。

编写这套岗位培训教材是一项巨大的工程,值此教材出版之际,谨向参加这套教材编写,审稿工作的同志及为这套教材出版付出辛勤劳动的同志表示衷心感谢!同时,真诚地

希望关心和应用这套教材的单位和同志提出批评和建议，以便今后修改时参考，使之更加适应岗位培训的需要。

机械电子工业部

教育司

1989年5月

编 者 的 话

本书根据机械电子工业部教育司组织编写的《机械电子工业企业专业管理人员培训计划和教学大纲》的要求而编写的。做为机械电子工业企业一般专业管理人员(中专层次)的培训教材,也可供有关专业的工程技术人员及技术工人参考。

全书分两部分,共八章。前五章为第一部分,主要介绍常用工程材料,内容包括金属的性能与基本知识,钢的热处理,常用金属材料与非金属材料;后三章为第二部分,主要介绍金属的热加工工艺,内容包括铸造,压力加工和焊接。

为适应干部岗位培训的特点及中专层次的要求,本书力求深入浅出,从实际需要出发,尽量避免繁杂的数学推导。考虑到管理干部的需要,对材料、设备的牌号及代号,以及热加工工艺过程做了较详细的介绍,并列举了必要的数据,可供工作中查阅。为便于掌握和巩固基本知识,培养分析问题和解决问题的能力,每章后面都有思考题。

本书第一至第五章由王淑珍编写,第六章由李志敏编写,第七、八章由刘复阁编写。王淑珍为主编,沈希轼为主审。

由于水平有限和经验不足,书中难免有错误和不妥之处敬希读者提出批评和建议。

编者

1989年7月

目 录

第一章 金属的性能	1
§1-1 金属的机械性能	1
§1-2 金属的物理性能	11
§1-3 金属的化学性能	14
§1-4 金属的工艺性能	14
思考题	16
第二章 金属材料基本知识	17
§2-1 金属的晶体结构与结晶	17
§2-2 铁碳合金	26
思考题	42
第三章 钢的热处理	43
§3-1 热处理的概念	43
§3-2 钢在加热时的组织转变	45
§3-3 钢在冷却时的组织转变	48
§3-4 钢的热处理工艺	57
思考题	77
第四章 常用金属材料	79
§4-1 碳素钢	79
§4-2 合金钢	87
§4-3 铸铁	109
§4-4 有色金属	121
思考题	135
第五章 非金属材料	136
§5-1 工程塑料	136
§5-2 复合材料	145

§5-3 其它非金属材料	148
思考题	154
第六章 铸造	155
§6-1 砂型铸造工艺	156
§6-2 铸造合金及熔炼	182
§6-3 特种铸造	190
§6-4 铸件结构工艺性	198
思考题	205
第七章 压力加工	206
§7-1 金属的塑性变形	206
§7-2 自由锻造	212
§7-3 模型锻造	225
§7-4 板料冲压	235
§7-5 其它压力加工方法	242
思考题	246
第八章 焊接	248
§8-1 电弧焊	249
§8-2 气焊与气割	268
§8-3 其它焊接方法	279
§8-4 焊接质量分析及其影响因素	284
§8-5 常用金属材料的焊接	290
思考题	297
参考文献	298

第一章 金属的性能

金属在国民经济的各个领域里得到了广泛的应用，它是实现现代化建设不可缺少的物质基础。

材料的选择是以性能为依据的，金属的性能主要包括机械性能、物理性能、化学性能和工艺性能等。金属的成分不同，其性能亦不相同，即使成分相同，但经过不同的加工或热处理，其性能也不一样。只有深入、全面地了解金属的各种性能，才能正确、合理地选择、供应、管理金属材料，并为分析金属零件早期磨损和损坏打下理论基础。本章主要介绍金属各种性能的概念、特点和一些性能常用的测试方法。

§ 1-1 金属的机械性能

金属的机械性能即当金属受外力作用时反映的性能。

机器零件或工具在使用过程中，都要受到不同形式外力的作用，这种外力称为载荷（负荷）。如发动机的曲轴，在工作时不仅受到冲击力的作用，还要承受弯曲力，扭转力和摩擦力的作用。这些外力可以各种形式作用在机器零件上，并对金属材料有一定的破坏作用，这就要求金属材料必须具有抵抗外力作用而不致破坏的能力，这种能力统称为机械性能。金属材料的机械性能指标主要有：强度、硬度、弹性、塑性、冲击韧性和疲劳等。

当金属材料受载荷作用时引起形状和尺寸的变化，称为变形。变形分弹性变形（当载荷去除后，变形消失而恢复到原来形状和尺寸）和塑性变形（当载荷去除后，不能恢复到原

来形状和尺寸，而保留一部分残余变形)。

在载荷作用下，金属材料内部会产生与载荷大小相等，方向相反的抗力，这种抗力称为内力。单位面积上的内力称为应力，用符号 σ 表示。

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

式中 σ ——应力；

F ——载荷；

A ——横截面积。

一、强度

强度是指金属材料在载荷作用下，抵抗变形或断裂的能力。

常用的强度指标为抗拉强度和屈服强度，这两个指标可通过拉伸试验测得。

进行拉伸试验时，拉伸试样的形状如图1-1a所示。通常加工成“狗骨形”，断面可为矩形或圆形。加工成这种形状的目的是为了确保试样不在夹头处，而在中部断裂。

试验时，将拉伸试样放在拉伸试验机上，在试样两端缓慢施加载荷 F ，随着载荷的不断增大，试样逐渐产生伸长变形，如图1-1b所示，直至拉断为止，如图1-1c所示。在整个拉伸过程中，记录拉力 F 与相对应的绝对伸长量 ΔL 。以 F 为纵坐标，以 ΔL 为横坐标，绘出载荷与伸长量的关系曲线，称为拉伸曲线。低碳钢的拉伸曲线如图1-2所示。

由拉伸曲线图中看出，当载荷小于 F_p 时，载荷与伸长量成正比，即 op 段为直线。这时若去除载荷，则试样便可恢复到原来的形状和尺寸。此时的变形为弹性变形。当载荷超过 F_p 而小于 F_s 时，这时拉伸曲线开始偏离直线，即 p_s 段，若

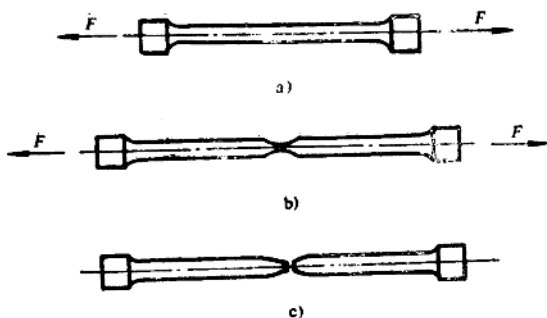


图1-1 拉伸试验试样示意图

a) 拉伸前 b) 拉伸过程中 c) 拉断后

这时去掉载荷，试样仍然能恢复原来的形状和尺寸，仍属弹性变形阶段。当载荷超过 F_e ，试样开始产生塑性变形（永久性变形），即 es 段，曲线变平。当载荷增加到 F_s ，曲线出现平台，表示试样在载荷增加很小或不增加的情况下继续产生塑性变形而伸长，这种现象称为屈服， s 点为屈服点。产生屈服现象的应力，称为屈服强度，用符号 σ_s 表示。

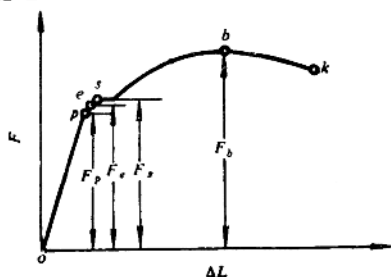


图1-2 低碳钢的拉伸曲线

产生屈服现象的应力，称为屈服强度，用符号 σ_s 表示。

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0}$$

式中 σ_s ——屈服强度；

F_s ——试样产生明显塑性变形时的载荷；

A_0 ——试样原始横截面积。

有些金属材料在拉伸时没有明显的屈服现象，如高碳钢或经过某种热处理后的钢。为了确定这类材料的屈服极限 σ_s 值，则规定当试样残余伸长量达原标距的0.2%时的应力，作为材料的屈服强度。用符号 $\sigma_{0.2}$ 表示。

当载荷超过 F_s 后，塑性变形随着载荷的增加而急剧增加，即sb段。当载荷达到 F_b 时，则变形便会集中发生在试样的某一截面，使该截面急剧收缩，这种现象称为缩颈。此时，由于截面减小，载荷也就下降，而试样的变形却仍然继续，即bk段。当载荷达到 F_b 时，试样便在缩颈处断裂。 F_b 为试样拉断前所承受的最大载荷。

把最大载荷 F_b 所对应的应力称为抗拉强度，并用符号 σ_b 表示。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0}$$

式中 σ_b ——抗拉强度；

F_b ——试样拉断前的最大载荷；

A_0 ——试样原始横截面积。

屈服强度 σ_s 和抗拉强度 σ_b 是评价金属材料质量的重要机械性能指标，用金属材料制造的机件不能在超过 σ_s 的条件下工作，否则机件会产生塑性变形而失效；机件承受的应力也不允许超过材料的 σ_b 值，否则会导致机件破坏。

综上所述，金属材料在外力作用下，变形过程要经过三个阶段，即弹性变形、塑性变形和断裂。

二、弹性

弹性是指金属材料产生弹性变形的能力。弹性大小一般用不产生塑性变形时，材料所能承受的最大应力，即弹性极

限来表示。弹性极限用符号 σ_p 表示。

$$\sigma_p = \frac{F_p}{A_0}$$

式中 σ_p ——弹性极限；

F_p ——材料产生弹性变形时的载荷；

A_0 ——试样原始横截面积。

三、塑性

塑性是指金属材料在载荷作用下产生塑性变形而不断裂的能力。金属的塑性通常用伸长率和断面收缩率两个指标来表示。

1. 伸长率 δ

伸长率是指试样拉断后长度总的伸长量与试样原始长度比值的百分率。

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

式中 δ ——试样的伸长率；

L_1 ——试样拉断后的长度；

L_0 ——试样原始长度。

2. 断面收缩率 ψ

断面收缩率是指试样拉断后，缩颈处横截面积的最大缩减量与原始横截面积比值的百分率。

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%$$

式中 ψ ——断面收缩率；

A_0 ——试样的原始横截面积；

A_1 ——拉断后试样缩颈处的最小横截面积。

δ 与 ψ 的数值越大，说明金属材料的塑性越好，良好的塑性是金属材料进行塑性加工的必要条件。

四、硬度

硬度是指金属材料抵抗硬物体压陷表面的能力。

硬度不是一个单纯的物理量，而是反映材料弹性、塑性和强度的综合性能指标。一般硬度高的材料，强度也高，耐磨性能也好。

根据测试硬度的方法不同，硬度可分为布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度。

1. 布氏硬度

布氏硬度的测定是用一定直径的淬火钢球或硬质合金球，以相应的载荷压入被测的金属表面，保持一定时间后卸除载荷，测量表面压痕直径，然后以压痕表面积去除载荷所得的商，即为布氏硬度值。压痕越浅，表示材料越硬，硬度值则越高。布氏硬度试验原理示意图如图1-3所示。

布氏硬度值用符号HBS或HBW表示。进行布氏硬度试验时，只须测出表面压痕直径 d ，根据 d 值查表即可得到HBS或HBW值。压头为淬火钢球时用HBS表示，适用于布氏硬度在450以下的材料，如铸铁、有色金属；压头为硬质合金球时用HBW表示，适用于布氏硬度值在650以下的材料。

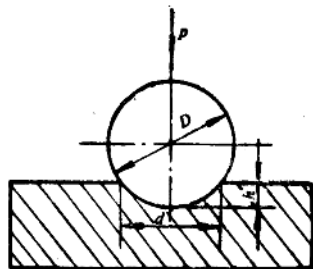


图1-3 布氏硬度试验原理示意图

布氏硬度一般只标出数值而不注明单位。通常硬度值也不必经过计算求得，而是直接采用光学测量仪测出压痕直径，再利用换算表查出布氏硬度值。

布氏硬度试验的优点是测得的硬度值准确，因此应用较广泛。但布氏硬度不能测量太薄的金属件和硬度值高于650 HBW的材料，也不能用来测量成品件，因此法的压痕较大，易损伤工件表面。

2. 洛氏硬度

洛氏硬度的测定是用顶角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为1.588mm的淬火钢球，以一定的载荷压入被测的金属表面，然后根据压痕的深度确定被测金属材料的硬度值。通常洛氏硬度试验时不需直接测量压痕深度，其硬度值可由试验机的刻度盘上的指针指示出来。洛氏硬度试验原理示意图如图1-4所示。

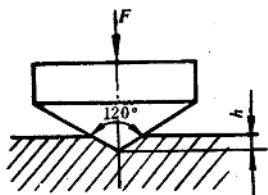


图1-4 洛氏硬度试验原理示意图

根据所加载荷的大小和压头的不同，洛氏硬度有三种标度，分别用HRA、HRB、HRC表示。三种洛氏硬度标度的硬度值符号、试验规范及应用范围见表1-1。

表1-1 三种洛氏硬度标度的硬度值符号、试验规范及应用范围

标度	硬度值符号	测量范围	压头类型	总载荷/N	应用范围
A	HRA	60~85	顶角 120° 金刚石圆锥体	600(60kgf)①	硬质合金或表面处理工件
B	HRB	25~100	直径1.588mm钢球	1000(100kgf)	退火工件、有色金属工件
C	HRC	20~67	顶角 120° 金刚石圆锥体	1500(150kgf)	淬火、回火后的工件

① 为了简化计算，1kgf都以10N进行换算。

洛氏硬度试验的优点是操作迅速、简便，能测高硬度的材料和薄件，压痕小。但它的缺点是由于压痕小，测得的硬度值准确度差些。

3. 维氏硬度

维氏硬度的试验原理与布氏硬度试验原理基本相似，所不同的是维氏硬度试验时，所用的压头为 136° 夹角的金刚石四方锥体。维氏硬度试验示意图如图1-5所示。

试验时，以一定的载荷压入金属表面，在试验面上压出一个正方形压痕，测量压痕两对角线的平均长度，计算出压痕面积，则用压痕面积去除载荷所得的商，即为材料的维氏硬度值。维氏硬度用符号 HV 表示。

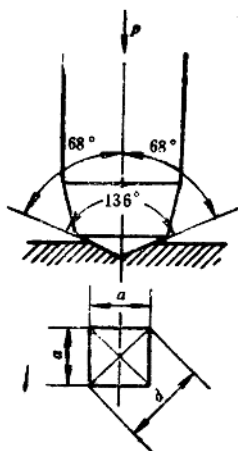


图1-5 维氏硬度试验原理示意图

$$HV = \frac{F}{A} = 1.8544 \frac{F}{d^2}$$

式中 HV——维氏硬度值；

d ——压痕两对角线平均长度；

F ——加在压头上的载荷；

A ——压痕面积。

工程中， F 的单位仍以 kgf 计量，换算为法定计量单位为 N 。当试验力的单位为牛时，

$$HV = 0.189 \times \frac{F}{d^2}$$

维氏硬度试验的优点是可测软、硬金属，尤其是测薄件和经化学热处理件的硬度，所测数值比较准确，

4. 硬度和抗拉强度换算

由于硬度反映金属材料在局部范围内对塑性变形的抵抗能力，故硬度与强度之间有着一定的关系，通常可用硬度值近似计算其强度，其经验公式如下

低碳钢 $\sigma_b \approx 3.6 \text{HBS MPa}$

高碳钢 $\sigma_b \approx 3.4 \text{HBS MPa}$

灰铸铁 $\sigma_b \approx 1.0 \text{HBS MPa}$

铸铝件 $\sigma_b \approx 2.6 \text{HBS MPa}$

五、冲击韧性

冲击韧性是指金属材料抵抗冲击载荷的能力。

许多机器零件，如内燃机的曲轴、活塞、连杆等，在工作时受冲击载荷的作用。由于冲击载荷所产生的破坏能力比静载荷作用下要大得多，所以，为了防止零件在冲击载荷作用下产生突然破坏，就必须考虑所用金属材料的冲击韧性。

金属材料的韧性好坏，用冲击韧性值来衡量，值越大则韧性越好。

金属材料的冲击韧性是采用摆锤冲击试验测得的。冲击试验示意图如图1-6所示。试验时，将一个具有规定形状和尺寸带缺口的试样放在试验机上，被一个处于一定高度 h_1 的重锤下落时击断，而后重锤又摆至一定高度 h_2 ，则用冲断试样所消耗的冲击功除以试样断口处的横截面积所得的商即为冲击韧性值。并用符号 a_k 表示。

$$a_k = \frac{A_k}{S_0} = \frac{G(h_1 - h_2)}{S_0}$$

式中 a_k ——冲击韧性值；