

职业院校数控技术应用专业系列教材

机械制造基础

廖东泉 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

职业院校数控技术应用专业系列教材

机械制造基础

主编 廖东泉

参编 吴 军 姚益民 焦 钰



机械工业出版社

本书是为适应现代技工教育特色而编写的,图文并茂,结合典型实例全面、系统地介绍了机械制造基础的相关知识,内容立足岗位,以必需、够用为度。主要内容包括金属材料的性能及热处理、常用工程材料、热加工方法、金属切削加工的基本知识、典型金属切削机床与刀具、机械加工工艺规程的制订、机床夹具、数控加工技术基础、现代制造技术。

本书符合职业教育的特点和规律,可作为高级技校、技师学院、高等职业院校数控技术应用、CAD/CAM 技术应用和模具设计与制造专业学生的教材或社会培训用书,还可作为从事数控加工、模具制造、工具钳工的工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造基础/廖东泉主编. —北京:机械工业出版社, 2010. 10
职业院校数控技术应用专业系列教材
ISBN 978-7-111-32083-8

I. ①机… II. ①廖… III. ①机械制造 - 高等学校: 技术学校 - 教材
IV. ①TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 192272 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 王英杰 王晓洁 责任编辑: 邓振飞

版式设计: 张世琴 责任校对: 李秋荣

封面设计: 路恩中 责任印制: 乔 宇

北京机工印刷厂印刷 (兴文装订厂装订)

2011 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 18 印张 · 443 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-32083-8

定价: 35.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010) 68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部: (010) 88379649

读者服务部: (010) 68993821 封面无防伪标均为盗版

前 言

21 世纪的机械制造业已经发生了深刻的变化,具备现代化企业特征的高、精、尖等现代化设备的使用比例逐年提高,并且已经占据各制造企业的主流位置,而一些普通加工设备正在或逐步退居到次要地位。因此,各技工院校、职业院校都在提高办学层次,更新设备,以适应社会的发展。为了体现技工院校、职业院校在高技能人才培养模式上的现代职业教育特色,我们特编写了此书。

本书充分汲取了技工院校、职业院校在探索培养高技能人才方面取得的成功经验和教学成果。从岗位能力分析入手,制定培养计划,确定相关课程的教学目标。贯彻先进的教学理念,以技能训练为主线、相关知识为支撑,较好地处理了理论教学与技能训练的关系,切实落实“管用、够用、适用”的教学指导思想。突出教材的先进性,较多地编入新技术、新设备、新材料、新工艺的内容,以缩短学校人才培养与企业人才需求的距离,更好地满足企业用人的需要。在内容的选材上以实际案例为切入点,并尽量采用图文并茂的编写形式,降低学习难度,提高学生对专业知识和技能的学习兴趣。

本书符合职业教育的特点和规律,可作为高级技校、技师学院、高等职业院校和中等职业院校数控技术应用、CAD/CAM 技术应用和模具设计与制造专业学生的教材或社会培训用书,还适合作为从事数控加工、模具制造、工具钳工的工程技术人员参考用书。

本书由廖东泉主编,吴军、焦钰、姚益民参加编写,其中第 1 章和第 2 章由吴军编写,第 3 章和第 7 章由焦钰编写,第 4 章和第 5 章由姚益民编写,第 6 章、第 8 章和第 9 章由廖东泉编写。

由于编者水平所限,书中不妥之处恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第1章 金属材料的性能及热处理 1

1.1 金属材料的性能 1

1.1.1 金属材料的力学性能 1

1.1.2 金属材料的工艺性能 8

1.2 铁碳合金 10

1.2.1 合金及其组织 10

1.2.2 铁碳合金的基本组织与性能 11

1.2.3 铁碳合金相图 12

1.3 金属热处理 15

1.3.1 钢在加热及冷却时的组织转变 15

1.3.2 钢的整体热处理工艺 19

1.3.3 钢的表面热处理工艺 23

1.3.4 热处理新技术 26

1.3.5 热处理工艺设计 28

本章小结 29

思考与练习 30

第2章 常用工程材料 31

2.1 常用钢铁材料 31

2.1.1 钢铁材料的分类 31

2.1.2 合金元素对钢性能的影响 31

2.1.3 碳素结构钢 32

2.1.4 合金结构钢 35

2.1.5 碳素工具钢 39

2.1.6 合金工具钢 39

2.1.7 特殊性能钢 42

2.1.8 铸铁 44

2.2 硬质合金 50

2.2.1 硬质合金的性能与特点 50

2.2.2 常用的硬质合金 50

2.3 非铁金属 51

2.3.1 铝及铝合金 51

2.3.2 铜及铜合金 55

2.3.3 轴承合金 59

2.4 非金属材料 61

2.4.1 工程塑料 61

2.4.2 复合材料 62

本章小结 64

思考与练习 64

第3章 热加工方法 66

3.1 铸造成形 66

3.1.1 砂型铸造 67

3.1.2 铸件缺陷分析 75

3.1.3 铸件的结构工艺性 78

3.1.4 特种铸造 80

3.2 锻压成形 85

3.2.1 锻压成形工艺基础 85

3.2.2 自由锻造 89

3.2.3 模型锻造 92

3.3 焊接成形 95

3.3.1 常用焊接方法 96

3.3.2 焊接方法的选择 104

3.3.3 常用焊接设备与焊接材料 105

3.3.4 焊接接头与坡口形式 108

3.3.5 常用金属材料的焊接性 110

3.3.6 焊接工艺简介 113

本章小结 114

思考与练习 114

第4章 金属切削加工的基本知识 116

4.1 金属切削加工的基本概念 116

4.1.1 切削运动及形成的表面 116

4.1.2 切削用量与金属切除率 117

4.1.3 刀具切削部分的几何要素 118

4.2 金属切削过程中的基本规律 122

4.2.1 切削变形 122

4.2.2 切削力 124

4.2.3 切削热与切削温度 126

4.2.4 刀具磨损与刀具寿命 127

4.3 金属切削过程中基本规律的应用 129

4.3.1 材料的可加工性及其衡量指标 129

4.3.2 切削液 130

4.3.3 刀具几何参数的选择 132

4.3.4 切削用量的选择 136

本章小结 137

思考与练习	137
第5章 典型金属切削机床与刀具	139
5.1 金属切削机床概述	139
5.1.1 机床的分类及型号编制方法	139
5.1.2 机床传动系统的基本概念	139
5.2 车床与车刀	144
5.2.1 车床	144
5.2.2 车刀	146
5.3 铣床与铣刀	152
5.3.1 铣床	152
5.3.2 铣刀	155
5.4 磨床与砂轮	159
5.4.1 万能外圆磨床	159
5.4.2 其他类型的磨床	161
5.4.3 砂轮	164
5.5 钻床与钻头	169
5.5.1 钻床	169
5.5.2 钻头与钻削刀具	170
本章小结	173
思考与练习	173
第6章 机械加工工艺规程的制订	175
6.1 基本概念	175
6.1.1 生产纲领与生产类型	175
6.1.2 生产过程和工艺过程	177
6.1.3 工艺过程的组成	177
6.1.4 获得加工精度的方法	179
6.2 工艺规程及其制订的原则	180
6.2.1 工艺规程的定义	180
6.2.2 工艺规程的作用	182
6.2.3 制订工艺规程的原则	182
6.2.4 制订工艺规程的原始资料	182
6.2.5 制订工艺规程的步骤	182
6.3 制订工艺规程的内容	183
6.3.1 零件的工艺分析	183
6.3.2 毛坯的选择	191
6.3.3 基准的选择	192
6.3.4 工艺路线的拟订	193
6.3.5 设备与工艺装备的选择	196
6.3.6 确定加工余量	197
6.3.7 确定工序尺寸及其公差	197
6.4 工艺尺寸链及其应用	198
6.4.1 工艺尺寸链的定义	198
6.4.2 尺寸链的组成	198
6.4.3 工艺尺寸链的建立	199
6.4.4 工艺尺寸链计算的基本公式	199
6.4.5 尺寸链的计算形式	200
6.4.6 工艺尺寸链计算应用实例	201
6.5 典型零件加工工艺过程分析	203
6.5.1 轴类零件加工工艺	203
6.5.2 套类零件加工工艺	206
6.5.3 箱体类零件加工工艺	209
本章小结	213
思考与练习	213
第7章 机床夹具	215
7.1 机床夹具概述	215
7.1.1 机床夹具的概念及分类	215
7.1.2 机床夹具的组成及作用	217
7.2 工件的装夹	218
7.2.1 装夹的基本概念	218
7.2.2 定位的方法和定位元件	218
7.2.3 工件在夹具中加工的精度分析	226
7.2.4 夹紧装置及夹紧力的确定	228
7.3 基本夹紧机构	231
7.3.1 斜楔夹紧机构	231
7.3.2 螺旋夹紧机构	232
7.3.3 偏心夹紧机构	232
7.3.4 定心夹紧机构	233
本章小结	234
思考与练习	235
第8章 数控加工技术基础	236
8.1 数控机床的组成与工作原理	236
8.1.1 数控机床的组成	236
8.1.2 数控系统的工作原理	237
8.2 数控机床的分类	239
8.2.1 按工艺用途分类	239
8.2.2 按运动方式分类	240
8.2.3 按伺服系统类型分类	240
8.2.4 按数控机床系统的功能水平 分类	241
8.2.5 按可联动的坐标轴数分类	242
8.3 数控加工	242
8.3.1 数控加工工艺的特点	243
8.3.2 数控机床加工的特点	243
8.3.3 数控机床的发展	244
8.3.4 数控机床的坐标系	245
8.3.5 数控程序常用指令及格式	248

8.3.6 刀具补偿指令	249	9.6.1 电解磨削的基本原理	267
8.4 数控编程方法	251	9.6.2 电解磨削的工艺特点和应用	268
8.4.1 数控编程的基本概念	251	9.7 超声波加工	268
8.4.2 数控编程的内容与步骤	252	9.7.1 超声波加工的基本原理	268
8.4.3 数控编程的种类	253	9.7.2 超声波加工的工艺特点和应用	269
8.4.4 常用的 CAD/CAM 软件简介	253	9.8 激光加工	270
本章小结	254	9.8.1 激光加工的基本原理	270
思考与练习	254	9.8.2 激光加工的工艺特点和应用	270
第9章 现代制造技术	256	9.9 电子束加工	271
9.1 现代制造技术的内涵	256	9.10 离子束加工	272
9.1.1 现代制造技术的发展趋势	256	9.11 精密加工和超精密加工	273
9.1.2 现代制造技术的特征	257	9.11.1 精密加工和超精密加工的基本概念	273
9.1.3 现代制造技术的分类	258	9.11.2 超精密加工技术所涉及的技术领域	273
9.2 特种加工技术	259	9.12 超高速加工技术	273
9.2.1 特种加工概述	259	9.13 快速成形技术	274
9.2.2 特种加工的分类	260	9.13.1 液态固化法	274
9.2.3 特种加工的工艺特点	261	9.13.2 叠层法	275
9.2.4 各种特种加工技术的经济指标对比	262	9.13.3 激光选区烧结法	275
9.3 电火花加工	263	9.13.4 熔融沉积法	275
9.3.1 电火花加工的基本原理	263	9.14 柔性制造技术	276
9.3.2 电火花加工机床	265	9.14.1 柔性制造单元	276
9.3.3 电火花加工的工艺特点和应用	265	9.14.2 柔性制造系统	277
9.4 电火花线切割加工	265	9.14.3 柔性制造生产线	278
9.5 电解加工	266	本章小结	278
9.5.1 电解加工的基本原理	266	思考与练习	278
9.5.2 电解加工的工艺特点和应用	267	参考文献	280
9.6 电解磨削	267		

第1章 金属材料的性能及热处理

学习目标：1. 掌握金属材料的力学性能及其重要指标。
2. 掌握硬度指标及表示方法。
3. 掌握金属材料的工艺性能。
4. 掌握铁碳合金的基本组织和性能，会用铁碳合金相图。
5. 掌握钢的整体热处理和表面热处理工艺，能够应用于生产实践。

1.1 金属材料的性能

金属材料的性能分为使用性能和工艺性能两大类。

使用性能是指金属材料在使用时所表现出的各种性能，包括物理性能、化学性能和力学性能等。

工艺性能是指金属材料在加工过程中适应各种加工工艺方法的性能，包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、热处理性能和可加工性等。

由于材料的用途不同，对材料的性能要求也不同。例如设计导电零件和电线时首先要考虑材料的导电性能；设计散热器、热交换器等零件时要考虑材料的散热性；设计化工和医疗器械时要考虑材料的耐蚀性；大量的机械零件是在受力情况下工作，因此选择材料时要考虑材料的力学性能。

1.1.1 金属材料的力学性能

金属材料的力学性能是指金属在载荷作用下所表现出来的性能。常用的力学性能包括强度、塑性、硬度、冲击韧性、疲劳强度等。

1. 载荷 金属材料在加工和使用过程中都受到外力的作用，这种外力称为载荷。根据载荷作用性质的不同，它可以分为静载荷、冲击载荷及交变载荷三种：

- (1) 静载荷指大小不变或变化过程缓慢的载荷。
- (2) 冲击载荷是在短时间内以较高速度作用于零件上的载荷。
- (3) 交变载荷指大小、方向或大小和方向都随时间发生周期性变化的载荷。

根据作用形式的不同，载荷又可分为拉伸载荷、压缩载荷、弯曲载荷、剪切载荷和扭转载荷等。

当金属材料受到载荷作用时，它会产生几何形状及尺寸的变化，这种变化称为变形。金属材料的变形分为两种，即弹性变形和塑性变形。

弹性变形：金属材料的变形随载荷的作用而产生、随载荷的去除而消失的现象称为弹性

变形。

塑性变形：金属材料的变形随载荷的作用而产生、随载荷的去除不能完全消除，这种不能恢复的变形称为塑性变形。

2. 应力 金属材料受外力作用时，为保持其几何形状不变形，在材料内部会产生与外力相对抗的力，这种力称为内力。单位面积上的内力称为应力。

3. 强度与塑性 金属材料在静载荷作用下，抵抗塑性变形或断裂的能力称为强度。强度和塑性指标是通过拉伸试验来测量的，拉伸试验方法见国家标准 GB/T 228—2002。

拉伸试验方法是用静拉力对标准试样进行轴向拉伸，在拉伸过程中，连续测量拉伸所用载荷大小和试样的伸长量，直至断裂。根据载荷和试样的伸长量的关系，即可得出力-伸长曲线，从而得到强度和塑性指标。

(1) 拉伸试样。拉伸试样的形状与尺寸取决于要被试验的金属产品的形状与尺寸。通常试样由产品、压制坯或铸锭切取加工制成。

试样横截面可以为圆形、矩形、多边形、环形，特殊情况下可以为某些其他形状。国家标准 (GB/T 228—2002) 中对试样的形状、尺寸及加工要求均有明确的规定。图 1-1 所示为圆形、矩形拉伸试样。

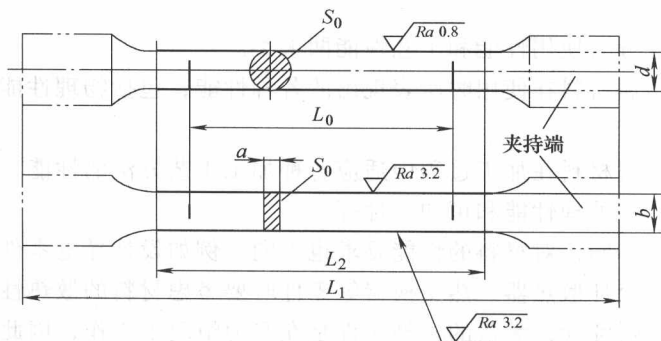


图 1-1 圆形、矩形拉伸试样

图 1-1 中的 d 为试样的直径； L_0 为试样的标距长度； S_0 为试样原始横截面积。试样的标距长度与原始横截面积之间的关系为， $L_0 = k \sqrt{S_0}$ ，国际上使用的比例系数 k 的值为 5.65（短试样）。原始标距长应不小于 15mm。当试样横截面积太小，以致采用比例系数 k 为 5.65 的值不能符合这一最小标距要求时，可以采用较高的值 11.3（长试样）或采用非比例试样。非比例试样的原始标距 L_0 与其原始横截面积 S_0 无关。

(2) 力-伸长曲线示意如图 1-2 所示。在拉伸试验中得出的力与伸长量的关系曲线称为力-伸长曲线。图 1-2a 所示为低碳钢的力-伸长曲线，图中的纵坐标表示力 F ，单位为 N；横坐标表示试样的伸长量，单位为 mm。

根据力-伸长曲线，低碳钢试样的拉伸过程可分为以下几个阶段：

1) 弹性变形阶段 (Op)。在进行拉伸试验时，若载荷不超过 F_p ，那么卸载后试样立即恢复原状，产生弹性变形。 F_p 为试样能恢复到原始形状和尺寸的最大拉力。

2) 屈服阶段 (pe)。若载荷超过 F_p 时，则卸载后试样的变形不能完全消失，而是保留一部分残余变形，试样开始产生塑性变形。当载荷达到 F_s 时，试样开始产生明显的塑性变

F_{eL} ——下屈服载荷，即在屈服期间的恒定载荷或不计初始瞬间时效应时的最小载荷 (N)；

S_0 ——试样原始横截面积 (mm^2)。

一般常用的屈服强度指标与旧标准中的 σ_s 含义相同。

对于无明显屈服强度现象的金属材料 (见图 1-3)，按照国家标准 GB/T228—2002 规定，可用规定残余延伸强度 $R_{0.2}$ 表示。 $R_{0.2}$ 表示卸载后试样的规定残余伸长率达到 0.2% 时所对应的应力，其计算公式为

$$R_{0.2} = \frac{F_{r0.2}}{S_0} \quad (1-3)$$

式中 $R_{0.2}$ ——规定残余延伸强度 (MPa)；

$F_{r0.2}$ ——规定残余伸长率达到 0.2% 时所对应的载荷 (N)；

S_0 ——试样原始横截面积 (mm^2)。

屈服强度 R_{eL} 和规定残余延伸强度 $R_{0.2}$ 都是衡量金属材料塑性变形抗力的指标。机械零件在工作时，如果受力过大，则会因过量塑性变形而失效。

2) 抗拉强度 R_m 。材料在断裂前所能受的最大应力称为抗拉强度，用 R_m 表示。其计算公式为

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} \quad (1-4)$$

式中 R_m ——抗拉强度 (MPa)；

F_m ——试样在屈服阶段所能承受的最大载荷 (N)；

S_0 ——试样原始横截面积 (mm^2)。

零件在工作过程中所承受的应力如果超过了抗拉强度，就会发生断裂。因此在机械零件设计时，抗拉强度是重要的依据之一，同时也是评定金属材料强度的重要指标。

(4) 塑性指标主要有断后伸长率和断面收缩率。

1) 断后伸长率 A 。断后伸长率是指试样拉断后标距的伸长量与原始标距的百分比，用符号 A 表示，如图 1-4 所示。其计算公式为

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中 A ——断后伸长率 (%)；

L_0 ——试样的原始标距 (mm)；

L_u ——试样拉断后的标距 (mm)。

同一材料的试样长短不同，测得的断后伸长率是不同的，因此，长、短试样的断后伸长率分别用符号 $A_{11.3}$ 和 A 表示。

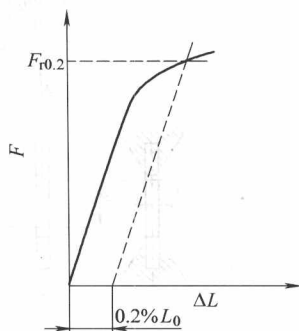


图 1-3 规定残余延伸强度的确定方法

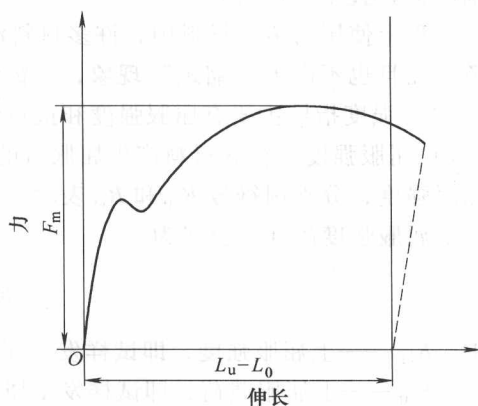


图 1-4 断后伸长量示意图

2) 断面收缩率 Z 。断面收缩率是指试样拉断处横截面积的收缩量与原始横截面积的百分比。其计算公式为

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \times 100\% \quad (1-6)$$

式中 Z ——断后收缩率 (%)；

S_0 ——试样的原始横截面积 (mm^2)；

S_u ——试样拉断后的断口处的最小横截面积 (mm^2)。

断面收缩率不受试样尺寸的影响，它能比较确切地反应金属材料的塑性。断后伸长率 A 和断面收缩率 Z 的数值越高，表示金属材料的塑性越好。塑性好的金属易通过塑性变形加工成形状复杂的零件。另外，塑性好的材料在受力过大时首先产生塑性变形，不会突然发生断裂，因此比较安全。

4. 硬度指标 硬度是指材料抵抗局部塑性变形的能力，硬度越高，材料抵抗塑性变形的抗力越大，塑性变形越困难。因此，硬度是检验工具及零件性能的一项重要指标，同时它还可以间接反映材料的强度、塑性等性能。与拉伸试验相比，硬度试验操作简单，可直接在原材料、零件或工具表面上测试。因此，硬度是金属材料重要的力学性能之一。常用的硬度有布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度等。

(1) 布氏硬度。

1) 布氏硬度的测量方法。采用直径为 D 的淬火钢球或硬质合金球，以相应的试验力 F 压入材料的表面（如图 1-5a 所示），经保持规定时间后卸除试验力，用读数显微镜测量残余压痕平均直径 d （如图 1-5b 所示），用球冠形压痕单位面积上所受的压力表示硬度值。实际测量可通过测出 d 值后查表获得硬度值。

2) 布氏硬度值的表示方法。布氏硬度值的表示为 HBW，它表示用硬质合金压头测量的布氏硬度值，用于测量硬度值为 450 ~ 650HBW 的材料。例如：500HBW 则表示用硬质合金压头测得的布氏硬度值为 500。

3) 布氏硬度应用范围及优缺点。布氏硬度主要用于原材料或半成品的硬度测量，如测量铸铁、非铁金属（有色金属）、硬度较低的钢（如退火、正火、调质处理的钢）。

采用布氏硬度测量时，压痕面积较大，因此能较真实地反映材料的平均硬度，测量数据稳定，因而在生产中较为常用，但压痕面积大，所以只适合毛坯和半成品进行测试，不能直接读数，而不能用于成品或薄片金属的测试。

(2) 洛氏硬度。

1) 洛氏硬度的测量方法。洛氏硬度测量用金刚石圆锥或淬火钢球作压头，在初始实验力 F_0 作用下，试样压痕深度为 h_1 ，压头位置为 1—1，再加上主实验力 F_1 后，总实验力为 $F_0 + F_1$ ，压头压入深度为 h_2 ，压头位置为 2—2，经一定时间保持后撤去主实验力 F_1 ，仍保留初始实验力 F_0 。试样的弹性变形恢复，压头上升到 3—3 位置，而压头在主实验力作用下，压入试样深度 h_3 。保持规定

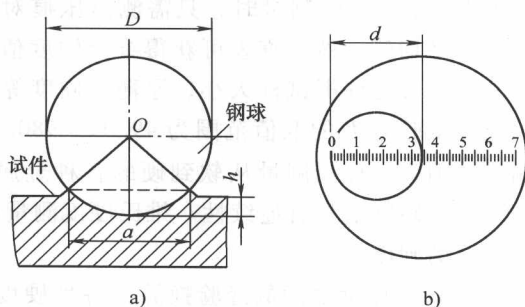


图 1-5 布氏硬度测量

时间后,去除主试验力,保持初始试验力,用残余压痕深度增量计算硬度值,实际测量时,可通过试验机的表盘直接读出洛氏硬度的数值。洛氏硬度试验原理示意图如图 1-6 所示。

2) 洛氏硬度值的表示方法。洛氏硬度值分别用三种硬度标尺 HRA、HRB、HRC 来进行测量,分别可以测量从软到硬较大范围的硬度值。根据被测对象不同,可用不同的压头和试验力等多种测量条件。表 1-1 为常用的三种试验法及试验条件、硬度范围和应用举例。

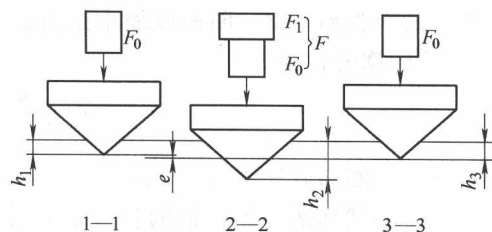


图 1-6 洛氏硬度试验原理示意图

表 1-1 常用的三种试验法及试验条件、硬度范围和应用举例

硬度符号	压头类型	总试验力 F/N	硬度范围	应用举例
HRA	120°金刚石圆锥体	588.4	60 ~ 85HRA	硬质合金, 碳化物, 浅层表面淬火钢等
HRB	$\phi 1.588\text{mm}$ 淬钢球	980.7	25 ~ 100HRB	退火钢, 低碳钢, 铜合金等
HRC	120°金刚石圆锥体	1471	20 ~ 67HRC	一般淬火钢

3) 洛氏硬度应用范围及优缺点。洛氏硬度测量具有迅速、简便、压痕小、硬度测量范围大等优点,可用于成品或较薄工件的测量。但数据准确性、稳定性、重复性不如布氏硬度好,通常需在试样表面不同部位测试三个点,取其平均值作为该材料的洛氏硬度值。为确保硬度测量的准确性,洛氏硬度一般不宜测量组织不均匀的材料。

(3) 维氏硬度 HV。维氏硬度测量原理与布氏硬度相似。采用相对面夹角为 136° 的金刚石正四棱锥压头,以规定的试验力 F 压入材料的表面,保持规定时间后卸除试验力,然后根据压痕两对角线长度的算术平均值来计算硬度,用正四棱锥压痕单位面积上所受的平均压力表示硬度值。维氏硬度试验原理示意图如图 1-7 所示。实际测量时,只需测出压痕对角线长度的算术平均值,然后查表可获得维氏硬度值。维氏硬度的试验力可根据试样大小、厚薄、硬度等情况进行选择,试验力 F 的取值范围为 $49.03 \sim 980.7\text{N}$,所

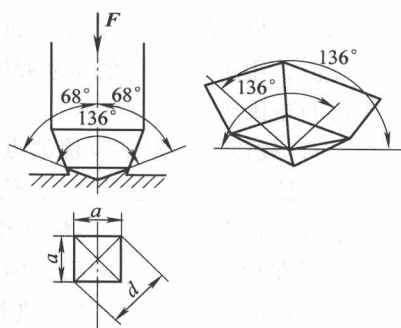


图 1-7 维氏硬度试验原理示意图

以测量范围大,可以测量从软到硬的各种金属材料,可测量硬度值的范围为 $10 \sim 1000\text{HV}$,而且测量的硬度值具有连续性。维氏硬度测量压痕小,可测量较薄的材料和渗碳、渗氮等表面硬化层的硬度。

(4) 各种硬度之间的经验换算。各种硬度的试验条件不同,所以相互之间没有理论的换算关系。但在一定条件下根据试验结果可进行经验换算,如:金属材料的硬度值在 $200 \sim 600\text{HBW}$ 范围内时, $\text{HRC} \approx 1/10\text{HBW}$;当金属材料的硬度值小于 450HBW 时, $\text{HBW} \approx \text{HV}$ 。

5. 冲击韧性 在实际应用中,许多机械零件在工作中往往要受到冲击载荷的作用,如活塞销、锻锤杆、冲模、锻模等的冲击载荷。制造这些零件所用材料必须考虑其冲击载荷的

作用。冲击韧性是指金属在断裂前吸收变形能量的能力,即抵抗冲击破坏的能力。韧性的主要判据是冲击吸收能量。冲击吸收能量越大,材料承受冲击的能力越强。

(1) 冲击吸收能量 KV 、 KU 。冲击吸收能量可通过一次摆锤冲击试验来测量。按 GB/T 229—2007《金属材料 夏比摆锤冲击试验方法》规定(如图 1-8 所示),冲击试样的横截面尺寸为 $10\text{mm} \times 10\text{mm}$,长度为 55mm ,试样的中部开有 V 形或 U 形缺口。

试验时,冲击试样的开口背向摆锤的冲击方向置于试验机的支架上,并将质量为 m 的摆锤举至规定的高度 H ,然后让摆锤自由落下冲击试样,摆锤冲断试样后又升至高度 h 。试样在一次冲击试验力作用下,断裂时所吸收的功称为冲击吸收能量,用 KV (V 形缺口)或 KU (U 形缺口)表示,单位为 J。试验时,冲击吸收能量 KV (KU)可直接在试验机上读数。其计算公式为:

$$KV(KU) = mgH - mgh = mg(H - h) \quad (1-7)$$

冲击吸收能量 KV (KU)值对材料的内部组织、缺陷具有比较大的敏感性,同时受温度的影响很大。在选材和设计时,冲击吸收能量 KV (KU)一般仅作为参考的依据。

(2) 冲击韧度。冲击韧度是指冲击试样缺口底部单位横截面积上的冲击吸收能量,用 a_K 表示。 a_K 值越高,表示材料的韧性越好。其计算公式为

$$a_K = \frac{KV(KU)}{S_0} \quad (1-8)$$

式中 a_K ——冲击韧度 (J/cm^2);

$KV(KU)$ ——冲击吸收能量 (J);

S_0 ——试样缺口底部横截面积 (cm^2)。

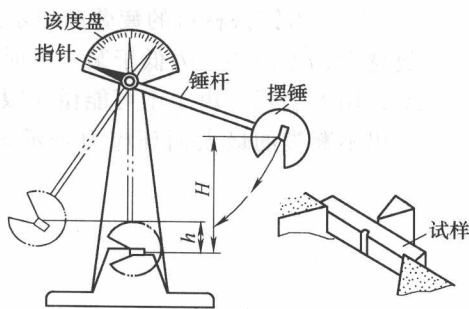


图 1-8 金属夏比摆锤冲击试验方法

(3) 小能量多次冲击试验的概念。实际使用的机械零件,很少因一次大能量冲击而遭破坏,绝大多数是在小能量多次冲击载荷的作用下工作,如冷冲模的冲头、锻压机的锤杆、柴油机曲轴等。实践证明,这类零件的使用寿命并非完全取决于冲击韧度。试验发现,在小能量多次冲击载荷作用下,材料的使用寿命主要决定于材料的强度。如大功率柴油机曲轴采用球墨铸铁制成,它的冲击韧度并不高,但使用中并未发生断裂。

6. 疲劳强度

(1) 疲劳现象。许多机械零件,如弹簧、齿轮、曲轴等在工作过程中所承受的载荷的大小、方向随时间发生周期性的变化,因此在材料内部引起的应力也将发生周期性波动。此时,这些零件所承受的载荷为交变载荷,尽管零件所受的应力低于屈服点,但经过较长时间的工作后,在一处或几处产生局部永久性累积损伤,经一定循环次数后产生裂纹或突然发生完全断裂,这种现象称为疲劳。疲劳破坏是机械零件失效的主要原因之一,机械零件的失效约有 $60\% \sim 70\%$ 属于疲劳破坏。

(2) 疲劳断裂的原因。由于零件中存在缺陷,如裂纹、夹杂、刀痕等疲劳源,在循环应力作用下,疲劳源处产生疲劳裂纹,这种疲劳裂纹不断扩展,减小了零件的有效承载面

积,当截面减小至不能承受外力时,零件即发生突然断裂。无论在静态力下显示为韧性材料还是脆性材料,在疲劳断裂时,事先都不会产生明显塑性变形的预兆,因此疲劳断裂具有很大的危险性。

(3) 疲劳强度。金属材料抵抗交变载荷作用而不产生破坏的能力称为疲劳强度,用 S 表示。

图 1-9 所示为钢铁材料的疲劳曲线示意图。由图 1-9 可见,循环应力越小,则断裂时的循环次数越大,当循环应力低于某一值时,试样可经受无限次的循环而不破坏,此应力称为疲劳强度,用 S 表示。由于不可能做无限次的循环试验,一般钢铁材料用循环次数为 10^7 周次时试样仍不断裂的最大循环应力表示该材料的疲劳强度,有色金属、不锈钢等取 10^8 周次。

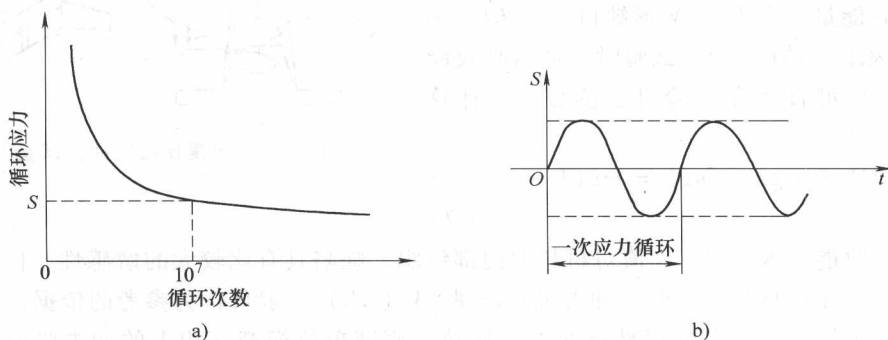


图 1-9 钢铁材料的疲劳曲线示意图

(4) 提高疲劳强度的途径。零件的疲劳强度除受材料的属性的影响外,零件表面状态对疲劳强度的影响也很大,如表面擦伤(刀痕、磨裂等)、表面粗糙度、加工纹路与腐蚀等,都会使疲劳强度 S 大大下降。可以通过以下几种方法来提高材料的疲劳强度:

- 1) 改善零件的结构形式,避免尖角、缺口、截面突变等结构,以避免因应力集中而引起疲劳裂纹;
- 2) 降低零件表面粗糙度,提高表面加工质量,尽可能减少可能成为疲劳源的表面损伤和缺陷;
- 3) 采用各种表面强化处理,如化学热处理、表面淬火、喷丸、电镀等,以提高零件的抗疲劳能力。

1.1.2 金属材料的工艺性能

1. 工艺性能概述 工艺性能是指金属材料在加工过程中适应各种加工工艺方法的能力,包括铸造性能、压力加工性能、焊接性能和热处理性能以及可加工性等。工艺性能直接影响到零件制造工艺质量及成本,是行业中制订零件工艺路线必须考虑的重要因素。

金属材料一般加工过程如图 1-10 所示。

2. 铸造性能 铸造是指将熔化后的金属液浇入铸型中,待凝固、冷却后获得具有一定形状和性能的铸件的成形方法。铸造是获得零件毛坯的主要方法之一。金属的铸造性能是指铸造成形过程中获得外形准确、内部完整的铸件的能力,即金属获得优质铸件的能力。衡量铸造性能的主要指标有:

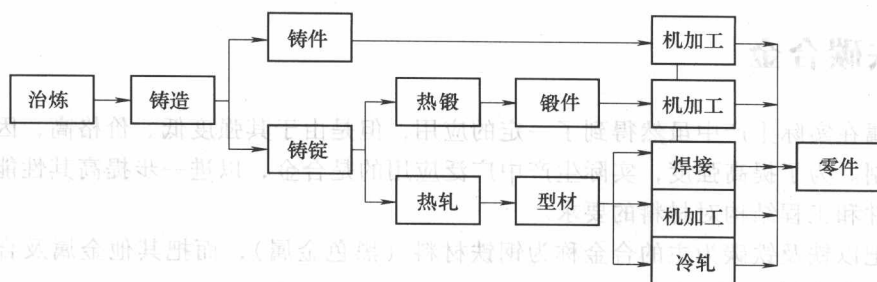


图 1-10 金属材料一般加工过程

(1) 流动性。流动性是指金属液本身的流动能力，流动性的好坏影响到金属液的充型能力。流动性好的金属，浇注时金属液容易充满铸型的型腔，能获得轮廓清晰、尺寸精确、薄而形状复杂的铸件，还有利于金属液中夹杂物和气体的上浮排除。相反，金属的流动性差，则铸件易出现冷隔、浇不到、气孔、夹渣等缺陷。

(2) 收缩性。收缩性是指铸造合金从液态凝固到冷却至室温过程中产生的体积和尺寸的缩减。收缩会使铸件产生缩孔、缩松、内应力，甚至产生变形、开裂等铸造缺陷。所以用于铸造的金属材料的收缩率越小越好。

3. 压力加工性能 利用压力使金属产生塑性变形，使其改变形状、尺寸和改善性能，获得型材、棒材、板材、线材或锻压件的加工方法称为压力加工。压力加工方法有锻造、轧制、挤压、拉拔、冲压等。金属在压力加工时塑性成形的难易程度称为压力加工性能。金属的压力加工性能主要决定于塑性和变形抗力。塑性越好，变形抗力越小，金属的压力加工性能就越好。

4. 焊接性能 焊接是通过加热或加压，或两者并用，并且用或不用填充材料，使工件达到结合的一种方法。焊接性能是指材料在限定的施工条件下焊接成规定设计要求的构件并满足预定工作要求的能力。它包括两方面的内容：一方面是工艺焊接性，即在一定的焊接工艺条件下能否获得优质、无缺陷的焊接接头的能力；另一方面是使用焊接性，即焊接接头或整体结构满足技术要求所规定的各种使用性能的程度，包括力学性能及耐热、耐蚀等特殊性能。钢的焊接性能取决于碳及合金元素的含量，其中影响最大的元素是碳。如低碳钢和低碳的合金钢焊接性能良好，焊接质量容易保证，且焊接工艺简单；高碳钢和高合金钢焊接性能较差，焊接时需采用预热或气体保护焊等，焊接工艺复杂。

5. 热处理性能 热处理是通过对固态下的材料进行加热、保温、冷却，从而获得所需要的组织和性能的工艺。有关内容将在 1.3 节中详细介绍。

6. 可加工性 零件常采用毛坯经过切削加工而制成，如车削加工、铣削加工、刨削加工、磨削加工等，材料的可加工性是指材料接受各种切削加工的难易程度。可加工性的好坏直接影响零件的表面粗糙度值、刀具的寿命、切削加工成本等。一般认为影响可加工性的主要因素是材料的硬度和组织状况，通常材料的硬度在 170~230HBS 时较容易加工。常用材料中，铸铁及经过恰当热处理的碳钢具有较好的可加工性，而高合金钢的可加工性较差。金属的工艺性能不是一成不变的，可以通过改进工艺规程、选用合适的加工设备和方法等措施来改善金属的工艺性能。

1.2 铁碳合金

纯金属在实际生产中虽然得到了一定的应用,但是由于其强度低、价格高,因此在使用中受到限制。为了提高强度,实际生产中广泛应用的是合金,以进一步提高其性能,从而满足机械零件和工程结构对材料的要求。

通常把以铁及铁碳为主的合金称为钢铁材料(黑色金属),而把其他金属及合金称为非铁金属(有色金属)。

1.2.1 合金及其组织

1. 合金的基本概念 合金的基本概念有:

(1) 合金。合金是一种以金属为基础,加入其他非金属,经过熔合而获得的具有金属特性的材料,即合金是由两种或两种以上的元素所组成的金属材料。例如,工业上用的钢铁材料就是由铁和碳为基础的合金材料。

(2) 组元。组成合金最简单的、最基本的、能够独立存在的物质称为组元。组元可以是金属元素、非金属元素或稳定化合物,如 Fe、C、 Fe_3C 等。组元根据数目多少可分为二元合金、三元合金和多元合金。

(3) 相与组织。在合金中,成分、结构及性能相同的组成部分称为相。相与相之间有明显的界面。数量、形状、大小和分布方式不同的各种相组成合金组织。

2. 合金组织 根据合金中各组元之间结合方式的不同,合金组织可分为固溶体、金属化合物和混合物三类。

(1) 固溶体。固溶体是一种组元的原子溶入另一组元的晶格中所形成的均匀固相。溶入的元素称为溶质,基体元素称为溶剂。所形成的固溶体保持着溶剂的晶格类型。

根据溶质原子在溶剂晶格中所处的位置不同,固溶体可分为间隙固溶体和置换固溶体两类,如图 1-11 所示。

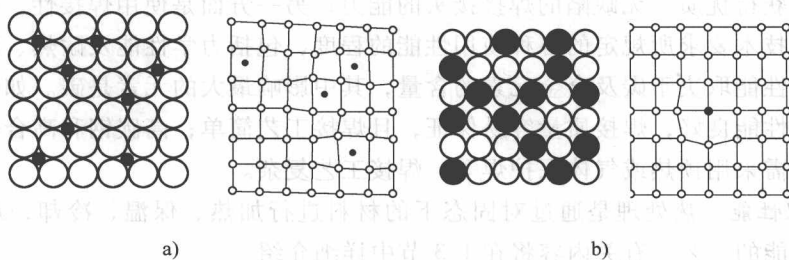


图 1-11 固溶体结构示意图(黑色为溶质、白色为溶剂)

a) 间隙固溶体 b) 置换固溶体

1) 间隙固溶体。溶质原子分布于溶剂晶格的间隙位置而形成的固溶体称为间隙固溶体。由于溶剂晶格的间隙很小,所以形成间隙固溶体的溶质原子半径都很小,如碳、氮、硼等。由于明显可知的空隙有限,所以融入到溶剂晶格的溶质原子有限,因此间隙固溶体都是有限固溶体。

2) 置换固溶体。溶质原子置换了溶剂结点上某些原子而形成的固溶体称为置换固溶