



世纪高职高专精品书系

机械制造基础

JIXIE ZHIZAO JICHU

主 编 袁巨龙 周兆忠
副主编 曹志锡

浙江科学技术出版社

机械工程系列



世纪高职高专精品书系
浙江省高等教育重点教材

机械制造基础

主 编 袁巨龙 周兆忠
副主编 曹志锡



浙江科学技术出版社

机械工程系列

图书在版编目(CIP)数据

机械制造基础/袁巨龙,周兆忠主编. —杭州:浙江科学技术出版社,2007.8

(世纪高职高专精品书系·机械工程系列)

ISBN 978-7-5341-3104-2

I. 机… II. ①袁… ②周… III. 机械制造—高等学校—教材 IV. TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 088022 号

丛 书 名 世纪高职高专精品书系·机械工程系列

书 名 机械制造基础

主 编 袁巨龙 周兆忠

副 主 编 曹志锡

出版发行 浙江科学技术出版社

杭州市体育场路 347 号 邮政编码: 310006

联系电话: 0571-85152486

E-mail: cl@zkpress.com

排 版 杭州大漠照排印刷有限公司

印 刷 浙江全能印务有限公司

开 本 787×1092 1/16 印张 17.75

字 数 396 000

版 次 2007 年 8 月第 1 版 2007 年 8 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5341-3104-2 定价 30.00 元

版权所有 翻印必究

(图书出现倒装、缺页等印装质量问题,本社负责调换)

丛书策划 郑汉阳

责任编辑 陈 岚

封面设计 金 晖

责任校对 张 宁

责任印务 田 文

前 言

本书是根据教育部“高职高专技能型人才培养方案”的教学要求和浙江省高等教育重点教材建设规划精神,以面向 21 世纪为指导思想编写的浙江省高等教育重点建设教材。适用于高职高专机械类、机电类(机电一体化、数控技术应用、模具设计制造等)或近机类专业使用,也可供有关专业技术人员参考。

本书将工程材料与热成型工艺、公差配合与技术测量、金属切削原理与刀具、金属切削机床、机械制造工艺学和机床夹具设计等多门课程有机地融合在一起,并将相关的知识进行重组、整合、优化而构成新的课程体系。全书以工艺为核心内容,以热加工及切削加工理论为基础,以质量、生产率、经济性为主线,贯穿以质量为重点的指导思想。在编写过程中,适当降低了理论要求,突出实际应用,以适应生产第一线对应用型人才的要求;力求文字精练,突出重点,理论联系实际,符合学生的认知规律,方便教学;全面贯彻最新的有关机械制造的国家标准。

本教材共分为五章。第一章工程材料基础,介绍了金属材料及热处理常识,以及工程材料的选用原则。第二章毛坯成形的常用方法,介绍了铸造、锻压、焊接工艺基础等内容。第三章公差与配合,介绍了机械制造中的互换性与标准化、尺寸公差与配合的选用、形位公差的应用、表面粗糙度代号及其选择。第四章机械加工基础,介绍了金属切削加工的基本知识、金属切削机床与主要切削加工方法、机床夹具基本知识、典型表面的加工与特种加工。第五章工件质量检测基础,介绍几何量检测与组织性能检测等。每章后面设有复习思考题。全书教学时数约需 80~100 学时,其中理论教学为 60~80 学时,各项实训教学约 20 学时。

本书由浙江工业大学和浙江工业大学浙西分校联合编写,袁巨龙和周兆忠担任主编,曹志锡担任副主编。其中第一章由巫红燕、曹志锡、赵萍编写,第二章由王秋成、潘浓芬、徐晴编写,第三章由黄素萍、周兆忠编写,第四章由方坤礼、陈德生、郭明飞编写,第五章由周兆忠、邢彤编写。

由于我们的理论与实际水平有限,书中难免有不足之处,恳请广大读者批评指正。

编著者

2006 年 12 月

目 录

第一章 工程材料基础.....	1
第一节 金属的基本性能.....	1
一、材料的使用性能	1
二、材料的工艺性能	7
第二节 金属的晶体结构与结晶.....	8
一、纯金属的晶体结构	8
二、合金的晶体结构	11
三、金属的结晶	12
第三节 铁碳合金相图	14
一、铁碳合金的基本组织	14
二、铁碳合金相图	15
第四节 钢的热处理	21
一、钢在加热时的组织转变	21
二、钢在冷却时的组织转变	23
三、钢的普通热处理	28
四、钢的表面热处理	34
第五节 常用工程材料	37
一、碳素钢	37
二、合金钢	41
三、铸 铁	54
四、有色金属	58
五、非金属材料	60
第六节 工程材料的选用	65
一、工程材料选用的基本原则	65
二、选材的方法与步骤	66



三、典型零件和工具的选材	67
习 题	72
第二章 毛坯成形常用方法	75
第一节 铸 造	75
一、铸造工艺基础	75
二、砂型铸造	80
三、特种铸造	88
第二节 锻 压	93
一、锻压工艺基础	93
二、自由锻	94
三、模锻和胎模锻	94
四、板料冲压	98
五、金属塑性成形新工艺简介	103
第三节 焊 接	106
一、焊接工艺基础	106
二、常用焊接方法	106
三、埋弧自动焊	109
四、气体保护焊	110
五、压力焊和钎焊	111
六、焊接新技术简介	115
习 题	118
第三章 公差与配合	121
第一节 机械制造中的互换性与标准化	121
一、互换性概述	121
二、标准化和标准	122
三、优先数和优先数系	123
第二节 尺寸公差与配合	124
一、基本术语及其定义	124
二、公差与配合国家标准的构成	129
三、尺寸公差与配合的选用	142
第三节 形状和位置公差	147
一、基本概念	147
二、形状与位置公差带	150

三、形位公差和尺寸公差的关系	157
四、形位公差的选择	160
第四节 表面粗糙度	162
一、表面粗糙度的评定	162
二、表面粗糙度的标注	167
三、表面粗糙度的选择	168
习 题	172
第四章 机械加工基础	174
第一节 机械制造过程概述	174
一、机械制造过程	174
二、机械加工工艺系统	175
第二节 金属切削加工基础	176
一、切削运动与切削用量	176
二、切削加工刀具的基本知识	178
三、金属切削过程的基本现象	182
第三节 金属切削机床	187
一、金属切削机床的类型及基本构造	187
二、机床的传动系统	190
三、常用机床概述	194
第四节 机床夹具基本知识	201
一、机床夹具的分类与组成	201
二、工件的定位	202
三、工件的夹紧	206
第五节 主要切削加工方法	210
一、车削加工	210
二、钻、扩、铰、镗削加工	211
三、刨、拉削加工	215
四、铣削加工	216
五、磨削加工	217
第六节 典型表面加工方法	219
一、外圆表面加工方法	219
二、内圆表面加工方法	220
三、平面加工方法	221

四、螺纹加工方法	221
五、齿形加工方法	222
第七节 特种加工	223
一、电火花加工	223
二、电化学加工	225
三、激光加工	227
四、超声波加工	229
习 题	230
第五章 工件质量检测基础	232
第一节 几何量检测	232
一、概 述	232
二、长度、角度及形状测量的工作基准	233
三、计量器具和测量方法	234
四、测量误差及数据处理	236
五、形位误差评定与检测	241
六、表面粗糙度检测	253
第二节 组织性能检测	256
一、磁粉检测	256
二、渗透检测	260
三、射线检测	263
四、超声波检测	265
五、其他探伤方法简介	268
习 题	270
参考文献	272

第一章 工程材料基础

第一节 金属的基本性能

现代生产中特别是机械行业中,大量使用各种金属材料。为了合理选择和使用金属材料,并充分发挥金属材料的潜力,我们有必要先了解一下金属材料的性能。

金属材料的性能一般可以分为两类:一类是使用性能,包括力学(机械)性能、物理性能、化学性能等,它反映了金属材料作为一种结构材料在使用过程中、在外力作用下所表现出来的特性;另一类是工艺性能,它包括铸造性能、锻压性能、焊接性能、热处理性能、切削性能等,它反映金属材料在制造加工过程中所表现出来的各种特性。

一、材料的使用性能

(一) 材料的机械性能

金属材料的机械性能是指金属材料在外力作用下所表现出来的特性,如强度、塑性、弹性、硬度、韧性、疲劳、蠕变等。机械性能指标反映了金属材料在各种形式外力作用下抵抗变形或破坏的能力,是设计金属制件时选材和进行强度计算的主要依据。

1. 强度

金属材料在静载荷作用下抵抗永久塑性变形和断裂的能力称为强度。下面简要介绍一下拉伸曲线及由此得出的材料性能指标。

试验前,先将金属材料制成一定形状和尺寸的标准试样(拉伸试样)。常用的试样截面为圆形,称为圆形拉伸试样,如图 1-1 所示。图中, d_0 为试样的原始直径, l_0 为试样的原始标距。根据《金属拉伸试验试样》(GB228—2002)规定,拉伸试样可分为比例试样和定标距试样。比例试样的标距长度 l_0 与直径 d_0 之间有一定的比例关系,通常有长试样($l_0 = 10d_0$)和短试样($l_0 = 5d_0$)两种。

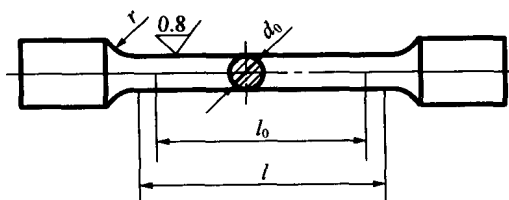


图 1-1 圆形拉伸试样

实验时,将标准试样装夹在拉伸试验机上,缓慢加载,随着载荷的不断增大,试样的伸长量逐渐增大,直至试样拉断为止。然后,将所加载荷与试样的相应伸长量画在以载荷 F 为纵坐标、伸长量 Δl 为横坐标的坐标图上,便得到拉伸曲线,如图 1-2 所示。

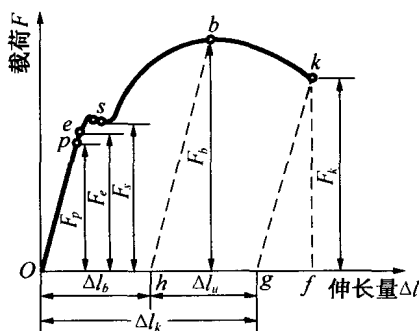


图 1-2 低碳钢拉伸曲线图

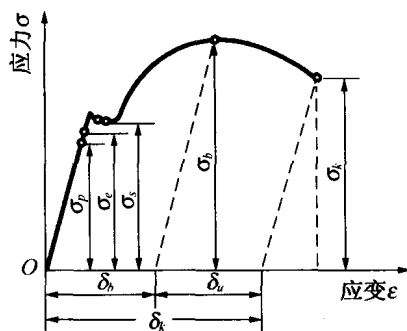


图 1-3 低碳钢应力-应变曲线

从图中可以看出,试样所受拉力 F 与伸长量 Δl 之间有如下关系:

(1) Op 段。为一条直线,说明材料拉伸变形量 Δl 与拉力 F 成正比关系,完全符合虎克定律。在此拉力和变形范围内,去除拉力,材料能恢复到原来的尺寸和形状,此为弹性变形阶段。

(2) pe 段。在该区间,载荷与伸长量已不成正比关系,成为伸长量比载荷量增加得快的曲线,但此时变形仍为弹性变形阶段。

(3) es 段。过了 e 点,开始有塑性变形产生,其后曲线呈现水平或锯齿形,说明载荷不增加,伸长量却继续增加。去除载荷后,材料已不能恢复原状,此种变形称为塑性变形,该阶段为屈服阶段。

(4) sb 段。在该区间,若要使试样也继续增长,则载荷也得继续增加,即经过屈服后,材料的变形抗力增加,直至到 b 点时,试样某处横截面将发生明显的收缩变形,出现了“缩颈”,此时的载荷达到金属材料所能抵抗破坏的最大载荷,该阶段称为强化阶段。

(5) bk 段。当试样伸长量超过 b 点后,随着试样某处截面的缩小,材料的变形抗力也逐渐减小,最后在 k 点拉断。

图 1-3 为低碳钢的应力-应变曲线示意图。

应力 σ : 把试样承受的载荷除以试样的原始横截面积 A_0 ,则得到试样所受的应力 σ ,即

$$\sigma = F/A_0 \quad (1-1)$$

应变 ϵ : 把试样的伸长量除以试样的原始标距长度 l_0 ,则得到试样所受的应变 ϵ ,即

$$\epsilon = \Delta l/l_0 \quad (1-2)$$

弹性极限 σ_e : 材料产生完全弹性变形时所能承受的最大应力,它可按下式计算:

$$\sigma_e = F_e/A_0 \quad (1-3)$$

式中: F_e ——试样产生完全弹性变形时的最大载荷;

A_0 ——试样的原始横截面积。

屈服强度 σ_s : 材料开始产生明显塑性变形时的最低应力, 屈服强度可按式计算:

$$\sigma_s = F_s / A_0 \quad (1-4)$$

式中: F_s ——试样产生屈服时的载荷;

A_0 ——试样的原始横截面积。

抗拉强度 σ_b : 材料承受最大均匀塑性变形的抗力, 也表征材料断裂前的最大应力值, 即

$$\sigma_b = F_b / A_0 \quad (1-5)$$

式中: F_b ——试样在断裂前所承受的最大载荷;

A_0 ——试样的原始横截面积。

抗拉强度表示材料抵抗断裂的能力, 是设计结构和零件、评定金属材料的重要指标之一。

2. 塑性

塑性是指金属材料在载荷作用下产生塑性变形而不被破坏的能力。常用的塑性指标是延伸率 δ 和断面收缩率 ψ , 两个指标均用百分率(%)表示。

延伸率 δ 是指试样拉断后的伸长量与原始标距之比的百分数, 即

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \times 100\% \quad (1-6)$$

式中: l_k ——试样断裂后的标距;

l_0 ——试样原始标距。

延伸率 δ 的大小与试样尺寸有关, 为了便于比较, 必须采用标准试样尺寸。常用的标准试样有长试样和短试样, 短试样的延伸率用 δ_5 表示, 长试样的延伸率用 δ_{10} 表示, 也可以用 δ 表示。同一种材料的 δ_{10} 和 δ_5 的数值是不相等的 ($\delta_5 > \delta_{10}$), 因此对不同材料进行延伸率比较时, 必须制成同样尺寸的标准试样。

断面收缩率 ψ 是指试样被拉断后, 缩颈处横截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比, 即

$$\psi = \frac{A_0 - A_k}{A_0} \times 100\% \quad (1-7)$$

式中: A_k ——试样断裂处的最小横截面积;

A_0 ——试样的原始横截面积。

断面收缩率不受试样尺寸的影响, 因此能较准确地反映出材料的塑性。

塑性指标在工程技术中具有重要的实际意义。塑性好的材料, 适宜于各种压力加工, 如冲压、挤压、冷拔、热轧及锻造等。制成零件, 在使用时万一超载, 也能由于塑性变形使材料强度提高而避免突然断裂。

3. 硬度

硬度是指材料抵抗其他硬物压入其表面的能力, 它反映了材料抵抗局部塑性变形的能力。因硬度试验设备简单, 操作方便、迅速、不破坏工件, 且硬度值和抗拉强度值之间存在一定的对应关系, 因此硬度指标往往作为技术要求被标在零件图上。

常用的硬度指标有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度。

(1) 布氏硬度(HB)。布氏硬度试验是根据 GB231—84 的规定, 以直径为 D 的淬硬钢球

或硬质合金作压头,在压力 F 下压入金属表面,保持一定时间后卸去载荷,移去压头,此时试样表面出现直径为 d 的压痕,如图 1-4 所示。用压力 F 除以压痕表面积所得的商,即可作为被测材料的布氏硬度值,单位为 kgf/mm^2 (MPa),但习惯上不标单位。用淬火钢球做压头测出的硬度值以 HBS 表示,适用于测量退火、正火、调质钢件、铸铁及有色金属等硬度小于 450 的材料。用硬质合金球作为压头测出的硬度值以 HBW 表示,适用于测量硬度不超过 650 的材料。

布氏硬度的表示方法为:硬度值+HBS(或 HBW)+压头直径+试验力+试验力保持时间(10~15s 不标注)。例如:120HBS10/1000/30 表示用直径为 10mm 的淬硬钢球做压头,在 1000kgf(9.807kN)试验力作用下,保持 30s 所测得的布氏硬度值为 120。一般在零件图或工艺文件上可标出硬度值的大小和符号,如 200HBS。

布氏硬度试验的优点是测定结果准确;缺点是压痕大,不适合成品检测,而且操作不够简单。

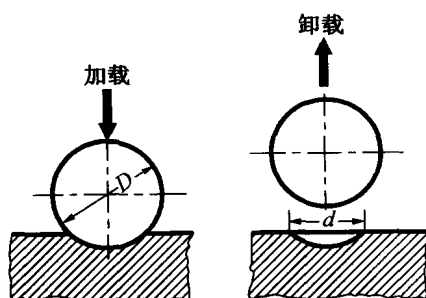


图 1-4 布氏硬度测试原理

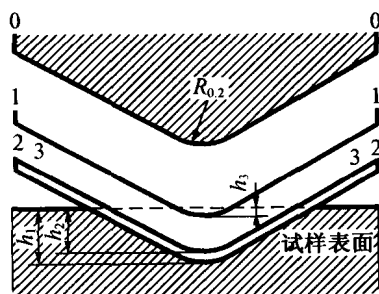


图 1-5 洛氏硬度测定

(2) 洛氏硬度(HR)。洛氏硬度试验法是目前工厂中应用最广泛的试验方法,它是用一个顶角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为 $\phi 1.588\text{mm}$ 的淬硬钢球作为压头,以一定的压力压入材料表面,根据压头压入深度确定硬度,如图 1-5 所示。其值可直接从硬度计刻度盘读出,不必计算或查表,因此使用简单、迅速,可直接测量成品或较薄工件,但精度不如布氏硬度。

洛氏硬度的表示方法为:硬度值+HRA(HRB, HRC),如 62HRC、85HRA 等。

洛氏硬度根据压头及载荷不同,分为 HRA、HRB、HRC 3 种,3 种洛氏硬度中以 HRC 应用最多,见表 1-1。

表 1-1 洛氏硬度符号、试验条件和应用举例

硬度符号	压头类型	总压力 $F(\text{kgf})$	硬度值有效范围	应用举例
HRC	120° 金刚石圆锥体	1471(150)	20~67HRC (相当于 225HBS 以上)	淬火钢件
HRB	$\phi 1.588\text{mm}$ 淬硬钢球	980.7(100)	25~100HRB (相当于 30~60HBS)	软钢、退火钢、铜合金
HRA	120° 金刚石圆锥体	558.4(60)	70HRA 以上 (相当于 350HBS 以上)	硬质合金、表面淬火钢

4. 冲击韧性

冲击韧性是指金属材料抵抗冲击力而不被破坏的能力。许多零件和工具在工作过程中,往往受到冲击载荷的作用,如冲床的冲头、锻锤的锤杆、内燃机的活塞箱、连杆及风动工具等,这些零件不仅要求具有足够的静载荷强度,而且还要具有足够的抵抗冲击载荷的能力。冲击韧性用 α_K 表示。根据 GB/T229—1994 规定,将试件做成标准试样,在摆锤式冲击试验机上完成(如图 1-6 所示)。冲击值 α_K 用下式计算:

$$\alpha_K = A_K / S \quad (\text{J} \cdot \text{cm}^{-2}) \quad (1-8)$$

式中: A_K ——冲击吸收功,即冲击试样破坏时所消耗的功(J);

S ——冲击试样断口处的横截面积(cm^2)。

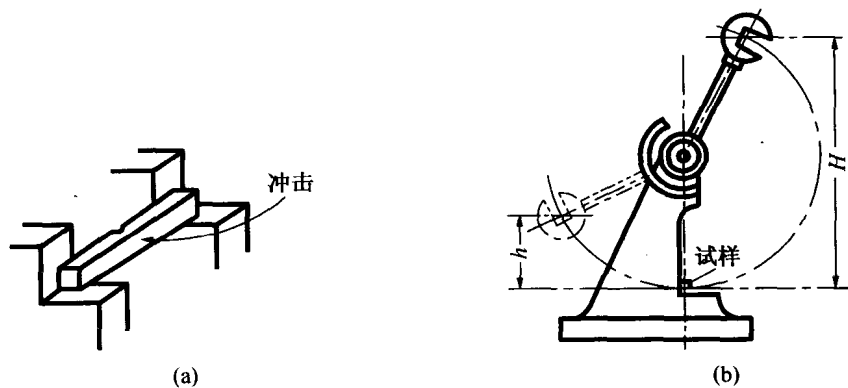


图 1-6 冲击试验简图

A_K 越大,冲击韧性越好。冲击值低的材料即为脆性材料,铸铁 A_K 值很低,因此不能用来制造需承受冲击载荷的零件。冲击吸收功还与试样形状、尺寸、表面粗糙度、内部组织和缺陷等有关,因此冲击吸收功一般作为选材的参考,而不能直接用于强度计算。

5. 疲劳强度

许多机械零件,如轴、齿轮、弹簧等在交变应力下工作,虽然它们所承受的应力通常低于材料的屈服点,但在交变应力的长期作用下,材料在不发生明显的塑性变形、事前无察觉的情况下突然发生断裂,该现象称为疲劳。由于疲劳断裂是突发性的,因此具有很大的危险性。

材料抵抗疲劳断裂的能力,可通过疲劳试验测定。图 1-7 为材料的疲劳曲线,即 $\sigma-N$ 曲线,纵坐标为材料所受的交变应力,横坐标为应力循环次数。由图可见, σ 越小,疲劳寿命 N 越大。当应力低于某一数值时,经无数次应力循环也不会发生疲劳断裂,此应力称为材料的疲劳极限,通常用 σ_r 表示,注脚 r 表示应力循环特征系数。对于对称循环,其疲劳强度用 σ_{-1} 表示。

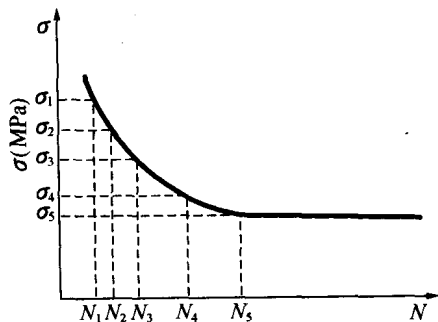


图 1-7 钢铁材料的疲劳曲线($\sigma-N$ 曲线)

(二) 材料的物理和化学性能

在材料的选择、保管和使用中,须了解金属材料的物理和化学性能。

1. 导热系数

维持单位温度梯度时,在单位时间内流经物体单位横截面积的热量,称导热系数或热导率。它是衡量金属材料导热性能的一个主要指标。

2. 热膨胀性

衡量金属热膨胀性的主要性能指标是线膨胀系数。线膨胀系数就是温度每升高 1°C 时金属材料的长度增量与长度的比值,用 α 来表示。计算公式如下:

$$\alpha = \frac{1}{\Delta T} \times \frac{\Delta L}{L} (1/^{\circ}\text{C}) \quad (1-9)$$

式中: ΔT ——温度的变化量;

ΔL ——相应 ΔT 的长度变化量;

L ——物体的原来长度。

线膨胀系数不是一个固定不变的数值,它随温度的增高而增加。钢的线膨胀系数一般在 $(10 \sim 20) \times 10^{-6}$ 的范围内,体积膨胀系数等于线膨胀系数的 3 倍。

3. 导电性

导电性指金属传导电流的能力。通常用电阻率、电导率(导电系数)及电阻温度系数来衡量导电性的好坏。

电阻率指金属材料在 20°C 时的电阻值,电导率是电阻率的倒数。金属中,银的导电性最好,铜和铝较好,一般用作导线。合金的导电性一般比纯金属差。

电阻随温度变化的比例常数称为电阻温度系数。纯金属和大多数合金的电阻温度系数为正;碳和电解质的电阻多因温度增高而降低;某些合金,如铜锰镍合金,其电阻不受温度变化的影响。

4. 磁性

磁性是金属材料在磁场中被磁化而呈现磁性强弱的性能。按磁性分,金属材料可分为:

(1) 铁磁性材料。在外加磁场中,能被强烈磁化的材料,如铁、镍、钴等。

(2) 顺磁性材料。在外加磁场中,只是被微弱磁化的材料,如锰、铬等。

(3) 抗磁性材料。能够抗拒或减弱外加磁场磁化作用的材料,如铜、金、银、铅、锌等。

铁磁性材料又分为软磁材料和硬磁材料。软磁材料在外磁场去除后,剩磁容易被消除;反复磁化和退磁后,电能损耗小,材料不易发热,如硅钢片。硬磁材料则相反,即去除外磁后,材料本身仍留有很高的磁性,且不易消除,如永久磁铁。

磁性指标包括磁导率、磁感应强度、矫顽力、铁损等。

5. 耐磨性

磨损量是衡量金属材料耐磨性好坏的一个指标,它是用试样在规定的实验条件下经过一定时间或一定距离的摩擦之后,以试样被磨去的重量或体积来表示的。磨损量越小,说明这种材料的耐磨性越好。

6. 耐腐蚀性

金属材料抵抗周围介质腐蚀破坏作用的能力,称为耐腐蚀性。腐蚀分为化学腐蚀和电化学腐蚀。

化学腐蚀是金属与周围介质直接发生化学作用的结果,而电化学腐蚀则是金属与酸、碱、盐等电解质溶液接触时,由于产生电流而发生的腐蚀。电化学腐蚀危害较大,是金属材料受蚀破坏的主要形式。从腐蚀形式看,主要有一般腐蚀、晶间腐蚀、点腐蚀、应力腐蚀和腐蚀疲劳等。

7. 抗氧化性

金属材料在室温或高温条件下抵抗氧化作用的能力,称为抗氧化性。

氧化是自然界普遍存在的一种化学现象。金属的氧化过程,实质上是属于化学腐蚀的一种形式。抗氧化性是高温材料的一项重要性能指标。

二、材料的工艺性能

金属材料的工艺性能是指材料在加工过程中所呈现的加工难易程度,主要包括铸造性、可锻性、切削加工性、焊接性和热处理等工艺性能。这些工艺性能直接影响制造零件的加工工艺和质量,也是选择金属材料时必须考虑的重要因素之一。

1. 铸造性

铸造性是指液态金属在铸造成型时所具有的一种特性。通常用流动性、收缩率和偏析倾向作为衡量指标。

2. 可锻性

金属的可锻性是衡量材料在经受压力加工时获得优质零件难易程度的一个工艺性能。金属的可锻性常用塑性和变形抗力来综合衡量,塑性越大,变形抗力越小,可锻性越好;反之,可锻性越差。

3. 切削加工性

金属材料的切削加工性是指金属切削加工的难易程度。切削加工性与很多因素有关,如材料的组织成分、硬度、强度、塑性、韧性、导热性、加工硬化及热处理等。

4. 焊接性

金属焊接性是金属材料对焊接加工的适应性,是指金属在一定的焊接方法、焊接材料、工艺参数及结构形式条件下获得优质焊接接头的难易程度。它包括两个方面内容:一是工艺性能,即在一定工艺条件下焊接接头产生工艺缺陷的倾向,尤其是出现裂纹的可能性;二是使用性能,即焊接接头在使用中的可靠性,包括力学性能及耐磨、耐腐蚀等特殊性能。金属焊接性决定于金属材料的本身性质和加工条件。

5. 热处理工艺性能

衡量热处理工艺性能的指标有:淬硬性、淬透性、淬火变形及淬裂、表面氧化及脱碳、过热及过烧、回火稳定性、回火脆性等。

第二节 金属的晶体结构与结晶

一、纯金属的晶体结构

(一) 晶体与非晶体

晶体内部的原子按一定的几何形状有规则地重复排列,如图 1-8(a)所示,它具有固定的熔点和各向异性的特征,如金刚石、石墨及固态金属与合金。

非晶体内部的原子无规则地堆积在一起,它没有固定熔点,且呈现各向同性,如沥青、玻璃、松香等。

应当指出,晶体和非晶体在一定条件下可以互相转化。例如,玻璃经高温、长时间加热能变成晶体玻璃;通常晶态的金属,如在液体中急冷(冷却速度 $>107^{\circ}\text{C}/\text{s}$),也可获得非晶态金属。非晶态金属与晶态金属相比,具有高的强度与韧性等一系列突出性能,故已为人们所重视。

(二) 晶格、晶胞和晶格参数

1. 晶格

为了便于分析晶体中原子的排列规律,可将原子近似地看成一个点,并用假想的线条(直线)将各原子中心连接起来,形成一个空间格子,如图 1-8(b)所示。这种抽象的、用于描述原子在晶体中规则排列方式的空间几何图形,称为晶格。晶格中直线的交点,称为结点。

2. 晶胞

由于晶体中原子有规则排列且具有周期性的特点,为便于讨论,通常只从晶格中选取一个能够完全反映晶格特征的、最小的几何单元来分析晶体中原子排列的规律,这个最小的几何单元称为晶胞,如图 1-8(c)所示。整个晶格就是由许多大小、形状和位向相同的晶胞在空间重复堆积而形成的。

3. 晶格参数

晶胞大小和形状可用晶格参数来表示。晶格参数包括晶胞的棱边长度 a 、 b 、 c 和棱边夹角 α 、 β 、 γ ,如图 1-8(c)所示。晶胞的棱边长度 a 、 b 、 c 又称为晶格常数。

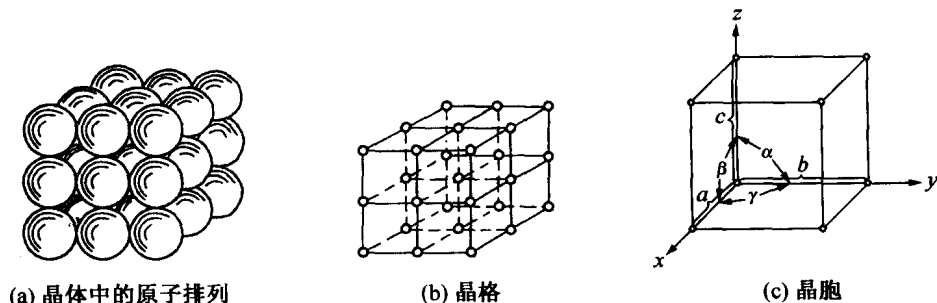


图 1-8 简单立方晶格与晶胞示意图

(三) 典型的 3 种晶体结构

各种金属晶体结构的主要差别在于晶格类型和晶格常数的不同,大多数金属具有比较简单的晶体结构。最常见和最典型的晶体类型有 3 种,即体心立方晶格、面心立方晶格和密排六方晶格。具体晶体类型及特征参数如表 1-2 所示。

表 1-2 晶体类型及特征参数

结构类型	体心立方晶格	面心立方晶格	密排六方晶格
原子分布	晶胞为一立方体,立方体的 8 个顶角各排列着 1 个原子,立方体中心有 1 个原子,如图 1-9 所示	晶胞也是一立方体,立方体的 8 个顶角和 6 个面的中心各排列着 1 个原子,如图 1-10 所示	晶胞是一个六方柱体,柱体的 12 个顶角和上、下面中心各排列着 1 个原子,在上、下面之间还有 3 个原子,如图 1-11 所示
晶格参数	$a=b=c$ $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$	$a=b=c$ $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$	$a_1=a_2=a_3\neq c$ $\alpha=\beta=90^\circ \quad \gamma=120^\circ$
晶胞中原子数目	$(1/8) \times 8 + 1 = 2(\text{个})$	$(1/8) \times 8 + (1/2) \times 6 = 4(\text{个})$	$(1/6) \times 12 + (1/2) \times 2 + 3 = 6(\text{个})$
原子半径	$r = \frac{\sqrt{3}}{4}a$	$r = \frac{\sqrt{2}}{4}a$	$r = \frac{1}{2}a$
致密度	0.68	0.74	0.74
举例	α -铁、铬、钨、钼、钒等	γ -铁、铝、铜、镍、金、银等	镁、锌、铍、 α -Ti 等

注:致密度 = $\frac{\text{晶胞中原子占有的体积}}{\text{晶胞体积}}$

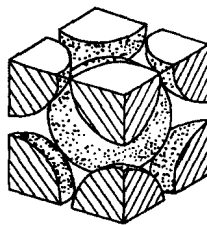
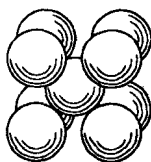
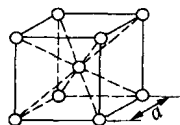


图 1-9 体心立方晶胞示意图

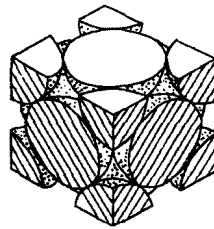
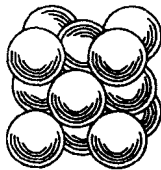
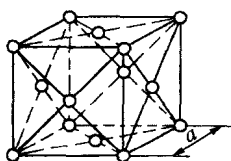


图 1-10 面心立方晶胞示意图