

机械制造工艺及设备

热加工篇

孙连山 石显民 主编



科学出版社

机械制造工艺及设备

热加工篇

孙连山 石显民 主编

科学出版社

1993

(京)新登字 092 号

内 容 简 介

《机械制造工艺及设备》这套书,是根据教学改革和生产实践的需要编写的,它对机械加工工艺方面的基本知识作了较全面系统的介绍,在理论阐述上,力求重点突出,层次分明,深入浅出,简明实用。

本书是《机械制造工艺及设备》的热加工篇,全书共十三章。内容包括:金属材料的基本知识,金属和合金的晶体结构及结晶过程,常用金属材料,钢的热处理,砂型铸造,常用合金铸件的生产,特种铸造,金属压力加工,自由锻造,模型锻造,板料冲压,焊接,常用金属材料的焊接。

本书可作为高等工科院校、高等职业技术师范院校、成人高校(职大、函大)机械类专业和近机械类专业的教学用书,也可供从事机械制造的技术人员阅读。

机械制造工艺及设备 热加工篇

孙连山 石显民 主编

责任编辑 李淑兰

科学出版社 出版发行

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

北京和平印刷厂印刷

★

1991年9月第 一 版

开本: 787×1092/16

1993年12月第二次印刷

印张: 9%

印数: 3 101—6 170

字数: 206000

ISBN 7-03-002786-8/TH·18

定价: 7.50元

前 言

随着教学改革的不深入，在高等院校中愈来愈多的人认识到，先基础教学，后专业教学，先通才教育，后专才教育的两段式教学方法，对提高教学质量、增强学生适应能力，从而为社会培养高质量的科技人才具有十分重要的意义。然而，目前的教材尚不能很好地适应这种改革形势，因此，我们在教学实践的基础上，编写了《机械制造工艺及设备》这套试用教材。这套教材共三本，包括冷加工篇、热加工篇和实习篇。每本书的内容各有所侧重，凡在实习教学中可以讲授的内容，都放在实习篇一书中介绍。

本书综合介绍了热加工的基础知识，其中包括金属材料的性能、钢的热处理、铸造、锻压、焊接等内容。通过本课程的学习，可以使学生初步掌握金属材料的选用、铸造、锻压、焊接的基本知识以及各种加工工艺方法及其应用范围，从而具有一定的处理实际生产问题的能力。

我们在编写本书时，已考虑到了机械类各专业的不同需要，因此本书具有一定的通用性，可作为机械类专业和近机械类专业的教学用书。

本书由孙连山、石显民任主编；侯雪程、戴鹏芳任副主编；黄景超、杨向博任主审。安承业、马兴尧对全书稿进行了整理、审定。参加编写的人员还有：刘永山、史颖、刘炜丽、陈萍等。

由于编写时间仓促，作者水平所限，书中难免存在缺点和错误，敬请读者批评指正。

孙连山 石显民

1991年5月于长春

003958

目 录

第一章 金属材料的基本知识	(1)
1-1 金属材料的机械性能	(1)
1-2 金属材料的物理化学和工艺性能	(7)
复习题	(9)
第二章 金属和合金的晶体结构及结晶过程	(10)
2-1 金属的晶体结构	(10)
2-2 合金的晶体结构	(13)
2-3 铁碳合金	(16)
复习题	(22)
第三章 常用金属材料	(23)
3-1 碳素钢	(23)
3-2 合金钢	(27)
复习题	(32)
第四章 钢的热处理	(33)
4-1 钢在加热和冷却时的组织转变	(33)
4-2 钢的热处理工艺	(34)
复习题	(37)
第五章 砂型铸造	(38)
5-1 造型方法及其选择	(38)
5-2 合金的铸造性能	(42)
5-3 铸造工艺设计	(49)
复习题	(54)
第六章 常用合金铸件的生产	(56)
6-1 铸铁件生产	(56)
6-2 铸钢件生产	(61)
6-3 有色合金铸件的生产	(62)
6-4 铸件结构工艺性	(65)
复习题	(70)
第七章 特种铸造	(71)
7-1 熔模铸造	(71)
7-2 金属型铸造	(72)
7-3 压力铸造	(73)
7-4 离心铸造	(74)
复习题	(75)

第八章 金属压力加工	(76)
8-1 金属的塑性变形	(78)
8-2 金属的可锻性	(82)
复习题	(84)
第九章 自由锻造	(85)
9-1 自由锻工艺规程的制定	(85)
9-2 自由锻件结构工艺性	(92)
9-3 胎模锻造	(94)
9-4 高合金钢的锻造	(94)
复习题	(95)
第十章 模型锻造	(97)
10-1 锤上模锻	(97)
10-2 压力机上模锻的特点及应用	(102)
10-3 平锻机上模锻	(103)
复习题	(104)
第十一章 板料冲压	(105)
11-1 分离工序	(105)
11-2 变形工序	(108)
11-3 板料冲压件的结构工艺性	(111)
复习题	(113)
第十二章 焊接方法	(114)
12-1 电弧焊	(115)
12-2 其他焊接方法	(127)
复习题	(132)
第十三章 常用金属材料的焊接	(133)
13-1 金属材料的可焊性	(133)
13-2 常用金属材料的焊接	(134)
13-3 焊接结构设计	(139)
复习题	(142)

第一章 金属材料的基本知识

1-1 金属材料的机械性能

1-1-1 概述

机械零件大多由金属材料所制成，它们在使用过程中，要受到各种不同程度的外力的作用，例如，起重机的钢索，柴油机上的连杆等都要受到静载荷、动载荷和交变载荷的作用，这些作用力对金属材料有一定的破坏性，为了保证机器能正常工作，机械零件绝不能有破裂或超过允许的变形。因此要求这些零件应具有有一种抵抗外力作用而不至于产生破坏的能力。这种能力就是金属材料承受外力作用反映出来的各种力学性能，即所谓的机械性能。机械性能包括强度、弹性、塑性、硬度、韧性和疲劳强度等。这些性能指标是通过试验方法测得的。

1-1-2 金属材料的机械性能

1. 强度

金属材料在外力作用下抵抗塑性变形和破坏的能力称为强度。

强度是衡量材料抵抗载荷作用能力的指标，强度值越大，抵抗载荷作用的能力也越大。材料的强度指标有抗拉强度、抗弯强度、抗压强度、抗扭强度、抗剪强度等五种。工程中最常用的是抗拉强度。金属材料的抗拉强度是通过拉伸试验测定的。拉伸试验如图 1-1 所示。它是将具有一定形状和尺寸的标准试样安装在拉伸试验机上，然后缓慢递增地施加轴向静拉力 F ，随着载荷的增加试样逐渐产生伸长变形，直到断裂为止。我们可以把力 F 与其对应的伸长量 ΔL （即 $L_1 - L_0$ ）绘成拉伸曲线图。

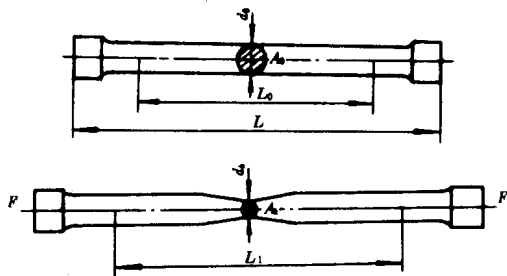


图 1-1 拉伸试样图

拉伸曲线图，反映了金属材料在拉伸过程中的弹性变形、塑性变形，直至断裂前的全部力学性质。弹性变形是金属材料的变形随外力消失而消失的变形。金属材料在外力消除后保留下来的永久性残余变形则称为塑性变形。拉伸曲线与试样尺寸有关，为了消除试样尺寸对材料性能的影响，可分别以应力 $\sigma\left(\frac{F}{\pi r_0^2}\right)$ 和应变 $\varepsilon\left(\frac{\Delta L}{L_0}\right)$ 代替 F 和 ΔL 绘成应

力-应变曲线图。 σ - ϵ 曲线与 F - ΔL 曲线相似,如图 1-2 所示。

从图 1-2 可以看出 σ - ϵ 曲线的各变化阶段。

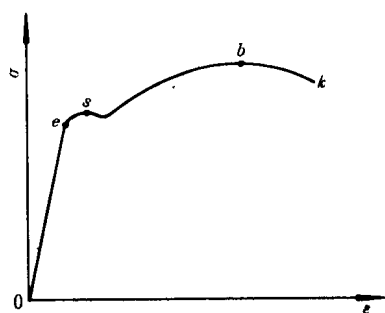


图 1-2 低碳钢的拉伸曲线图

第一阶段为曲线 $0e$ 段,此段为弹性变形阶段,载荷的作用力与伸长量成正比例, e 点所对应的应力称为弹性极限 σ_e ,符合虎克定律。

第二阶段为曲线 es 段,此段为弹性-塑性变形阶段。这一阶段的特点,是在应力不增加或增加得很少的情况下,应变却在继续增加。在 e 点之后出现了不可恢复的变形, e 点是弹性变形和塑性变形的过渡点,即弹性变形终止塑性变形开始的点。对应 s 点的应力称为屈服极限 (σ_s)。这里应指出:只有良好塑性的材料才有明显的屈服点;大多数金属材料

没有明显的屈服点。

第三阶段为曲线 sb 段,它是金属材料的塑性变形阶段。这说明材料屈服以后,变形抗力有很大提高,这种现象称为硬化现象。但达到 b 点时试样出现了缩颈现象,随着缩颈部分的伸长,变形将集中在缩颈处,该处截面急剧缩小 (A_k)。 b 点对应的应力是试样断裂前所承受的最大载荷的能力,称为强度极限,用 σ_b 表示。

第四阶段为曲线 bk 段,此阶段为断裂段。当载荷的作用力达到 b 点以后,即使施加很少的力,甚至不加力,试样的缩颈也在很快地增加,到 k 点时试样已不足以抵抗外力的作用,发生突然断裂。此时 k 点所对应的应力为 σ_k ,称为断裂强度。它表示 σ - ϵ 曲线的结束。

金属材料的强度指标,通常用应力的大小来表示,其计算公式为

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

式中, σ ——应力 (MPa);

F ——试验时外加载荷的作用力 (N);

A_0 ——试样的原始横截面面积 (mm^2)。

根据图 1-2 上各特性点的不同意义,可以确定出金属材料的各种机械强度值。

(1) 弹性极限 σ_e 。这是金属材料在拉伸力 F_e 作用下,与伸长量 ΔL 成正比例关系变化的最大应力值,符合虎克定律,即拉伸曲线上开始偏离直线时的应力值:

$$\sigma_e = F_e/A_0 \quad (1-2)$$

式中, F_e ——应力与应变成直线关系时的最大载荷的作用力 (N)。

(2) 屈服极限 σ_s 。在拉伸试验过程中,当载荷的作用力增加到 F_s 时,载荷不再增加或增加很小时,试样仍能产生明显的塑性变形,此时的应力称为屈服极限,用 σ_s 表示:

$$\sigma_s = F_s/A_0 \quad (1-3)$$

式中, F_s ——试样屈服时的载荷作用力 (N)。

实际上只有少数的金属材料才有明显的屈服现象,对于没有明显屈服现象的金属材料,如工具钢、调质钢等,工程上把试样产生 0.2% 残余塑性变形时的应力规定为材料的屈服极限,用 $\sigma_{0.2}$ 表示。而大部分机械零件都要求在弹性状态下工作,不允许有过量的塑性变形出现,塑性变形的开始即认为是材料的失效现象。所以屈服极限是确定材料许用

应力的重要数据，也是设计零件和选材的主要依据。

(3) 强度极限 σ_b 。强度极限又叫抗拉强度，是金属材料断裂前所能承受的最大载荷作用力 F_b (N) 时的应力值：

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0} \quad (1-4)$$

强度极限表示材料承受最大均匀塑性变形的抗力，也表示材料在拉伸条件下抵抗破坏所能承受的最大应力值。它是设计零件和选材的主要依据， σ_b 越大表示金属材料的强度越高，抵抗破裂的能力越强。

σ_s 和 σ_b 是金属材料强度值的两个主要性能指标， σ_s/σ_b 的比值称为屈强比。此比值越大，则材料强度的有效利用率越高，比值越小，则材料强度的有效利用率越低，但可靠性增加了。

常用金属材料的屈强比如下：

低碳钢： $\frac{\sigma_s}{\sigma_b} \approx 0.6$ ；低合金结构钢： $\frac{\sigma_s}{\sigma_b} \approx 0.65—0.75$ ；合金结构钢： $\frac{\sigma_s}{\sigma_b} \approx 0.84—0.86$ 。

钢的强度与含碳量有着密切的关系，随着含碳量的不断增加，其强度也将不断地增高，见表 1-1。

表 1-1 钢的强度与含碳量的关系

含碳量 C (%)	抗拉强度 σ_b (MPa)	屈服强度 σ_s (MPa)
0.15	380	230
0.30	500	300
0.45	610	360
0.60	690	410
0.75	1100	900

(4) 断裂强度 σ_k 。断裂强度是拉断试样时的载荷作用力 F_k (N) 与缩颈处断裂截面积 A_k 的比值：

$$\sigma_k = F_k / A_k \quad (1-5)$$

断裂强度是拉断试样时的真实应力，表示材料对断裂时的抵抗能力。对塑性材料来说 σ_k 的意义不大，因为产生缩颈后试样所能承受的外力不但没有增加反而减少了；对于脆性材料来说 $A_k = A_0$ ，因此抗拉强度就是断裂强度，即 $\sigma_k = \sigma_b$ 。

2. 塑性

在拉伸试验中，试样在拉力作用下，会产生塑性变形，使长度增加断面面积缩小，最后直至被拉断。

反映金属材料塑性能力的指标通常是用 δ 和 ψ 来表示：

$$\delta = \frac{\Delta L}{L} \times 100\% = \frac{(L_1 - L_0)}{L_0} \times 100\% \quad (1-6)$$

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

式中， δ ——延伸率；

ψ ——断面收缩率;

L_0 ——试样的原始长度 (mm);

L_1 ——试样被拉断后的长度 (mm);

ΔL ——试样的绝对伸长量 (mm);

ΔA ——横截面积收缩量 (mm^2)。

δ 和 ψ 的数值越大, 说明材料的塑性越好, δ 和 ψ 的数值越小, 说明材料的塑性越差, 即脆性越大。钢的塑性与其含碳量有关, 见表 1-2。

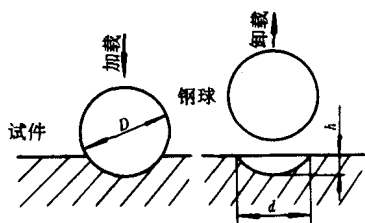
表 1-2 钢的塑性与含碳量的关系

含碳量 C (%)	延伸率 δ (%)	断面收缩率 ψ (%)
0.15	27	55
0.30	21	50
0.45	16	40
0.60	12	35
0.75	7	30

试样的尺寸对延伸率的数值也有影响, 同一材料, 不同的试样尺寸测得的数据不尽相同。因此对试样的尺寸要作标准规定, 即 $L_0 = 5d_0$ (d_0 如图 1-1 所示, 为试件原始直径尺寸), 用 “ δ_5 ” 表示, 或 $L_0 = 10d_0$, 用 “ δ_{10} ” 表示。

金属材料具有良好的塑性, 是进行压力加工的必要条件。钢的强度和塑性除与含碳量有关外, 还与温度有关: 温度越高, 强度越低, 塑性越好。所以钢在锻造时要加热到再结晶温度以上。

3. 硬度



金属材料表面抵抗硬物压入或磨损而产生的塑性变形的能力叫做硬度。它是一个综合性的物理量, 表示了材料在局部范围内抵抗弹性变形、塑性变形和破坏的能力, 是一个重要的机械性能指标。

金属材料的硬度值可用专门仪器测试, 实际生产中最常用的测试设备有布氏硬度机、洛氏硬度机、维氏硬度机, 分别测出的硬度为布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度。

(1) 布氏硬度 (HBS)。布氏硬度的测量, 是将一定直径的淬硬钢球 (标准钢球), 在一定载荷力 F 的作用下, 压入被测金属材料的表面, 并保持一定的时间后卸载载荷, 然后用读数计测出压痕直径 d (或压痕表面积 A), 计算出单位面积上所受的壓力即是布氏硬度值, 用 HBS (N/mm^2) 表示。测试原理见图 1-3。

$$\text{HBS} = \frac{F}{\pi D h} = \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1-8)$$

式中, D ——标准钢球直径 (mm);

h ——卸除载荷后的压入深度。

布氏硬度值试验标准钢球与载荷的关系见表 1-3 (GB231-84)。

表 1-3 布氏硬度试验标准钢球与载荷的关系

材 料	布氏硬度值 HBS	载荷 F 与钢球 直径 D 的关系	钢球直径 D (mm)	载荷 F (N)	载荷持续时间 (s)
黑色 金属	>140	$F=300D^2$	10.0	30 000	10
	<140	$F=100D^2$	5.0	2500	10
有色 金属	>130	$F=300D^2$	10.0	30 000	30
	35—130	$F=100D^2$	10.0	10 000	30

布氏硬度的测试压痕面积较大, 不受组成相及微小不均匀度的影响, 不能试验太硬的材料。它常用来测定铸铁、低合金结构钢、调质钢和有色金属等。

布氏硬度与抗拉强度的近似换算关系为

钢: $\sigma_b = (0.34-0.36) \text{ HBS}$; 纯钢: $\sigma_b = 0.48 \text{ HBS}$; 青铜: $\sigma_b = 0.4 \text{ HBS}$; 铸铁: $\sigma_b = \frac{\text{HB}-40}{6} \approx 0.1 \text{ HBS}$; 硬铝: $\sigma_b = 0.37 \text{ HBS}$; 铸铝: $\sigma_b = 0.26 \text{ HBS}$; 黄铜: $\sigma_b = 0.53 \text{ HBS}$ 。

(2) 洛氏硬度 (HR)。如图 1-4 所示, 洛氏硬度的测量原理, 是将金刚石圆锥压头或钢球, 在一定载荷力作用下, 压入被测载金属材料的表面, 卸载后测出压头压入的深度 h ($h_1 - h_0$), 并规定每 0.002mm 压痕深度为一个洛氏硬度基本单位值, 用符号 HR 表示:

$$\text{HR} = \frac{k - (h_1 - h_0)}{0.002} \quad (1-9)$$

式中, k ——常数, 采用钢球压头时 $k=0.26$, 采用金刚石圆锥压头时 $k=0.2$;

h_0 ——预载荷作用时压入的深度 (mm);

h_1 ——总载荷作用卸载后压入的深度 (mm)。

根据压头型式和采用的标尺, 洛氏硬度又分为 HRA, HRB, HRC 几种标度。洛氏硬度测试规范见表 1-4。

表 1-4 洛氏硬度测试规范表

标 度	压 头	计 算 公 式	预载荷力 (N)	总载荷力 (N)
HRA	120°金刚石圆锥	$100 - \frac{h_1 - h_0}{0.002}$	100	600
HRB	$\phi 1.588 \text{ mm}$ 钢球	$130 - \frac{h_1 - h_0}{0.002}$	100	1 000
HRC	120°金刚石圆锥	$100 - \frac{h_1 - h_0}{0.002}$	100	1 500

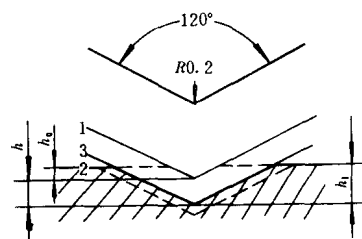


图 1-4 洛氏硬度测试原理

- 1—预载时压头位置;
- 2—急载时压头位置;
- 3—卸载时压头位置。

洛氏硬度可以用来测量硬度很高的金属材料，其测量过程很简单，洛氏硬度的测试压痕较小，可以用来测量薄片和成品，它几乎不损伤工件表面，但测量的精确度较差。由于洛氏硬度压头小，压入时会受到被测件表面的凹凸不平或材料内部组织不均匀的影响，

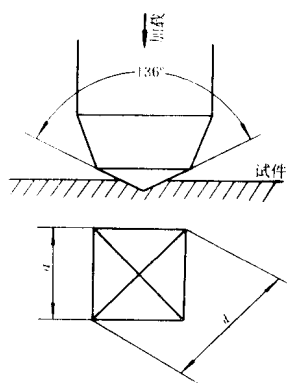


图 1-5 维氏硬度测试原理图

因此，在测量过程中要先加预载荷以减小表面凹凸不平的影响。测量时应在材料的不同部位测量数点，然后取其平均值作为该金属材料的硬度值。

(3) 维氏硬度 (HV)。维氏硬度试验方法与布氏硬度试验方法相似，也是根据压痕面积上作用的载荷力计量硬度值。它采用顶角为 136° 的正四棱锥体金刚石作为压头，在一定载荷力 F 的作用下，压入被测材料的表面，结果在试样表面留下一个正四棱锥形的压痕，根据压痕对角线的长度 d 可以算出压痕的面积 A ，并最后计算出维氏硬度值 $HV = F/A$ ，其测试原理见图 1-5。

维氏硬度可以测量硬度很高的薄件（硬质合金，渗碳层）而不致将其压穿，同时还能测量材料的显微组织的硬度。

4. 冲击韧性

许多机器零件，在工作时要受到冲击力的作用，如机床齿轮箱中的齿轮，发动机的活塞、连杆，汽锤的锤头等。由于瞬时外力的冲击作用所引起的零件的变形和应力值比静载荷时大得多，即使原来强度较高的材料或在拉伸时表现出较好塑性的材料，也往往会因瞬时冲击力的作用而发生脆断。因此在设计受冲击载荷的零件时必须考虑所用材料的冲击韧性。

金属材料在冲击载荷作用下抵抗断裂的能力称为冲击韧性。通常我们采用一次摆锤弯曲冲击的试验来测定金属材料的冲击韧性，即把被测（标准）试样被一次击断所需的冲击功 M_k 与缺口处单位面积的比来表示冲击韧性：

$$a_k = \frac{M_k}{A} \quad (1-10)$$

式中， a_k —— 冲击值 (J/cm^2)；

M_k —— 冲击功，折断试样所消耗的冲击功 (J)；

A —— 试样缺口处的截面面积 (cm^2)。

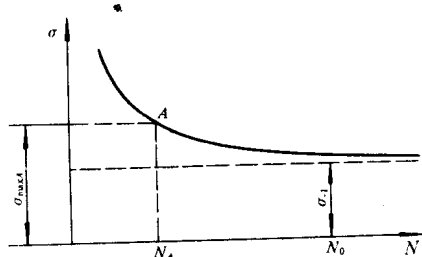


图 1-6 疲劳曲线图

对脆性材料作冲击试验时，一般不开缺口，如铸铁。

冲击值 a_k 的大小与很多因素有关，它不仅受到试样的形状、尺寸、表面粗糙度和内部组织的影响，还与周围的环境温度有关。因此 a_k 值是衡量材料抗冲击能力的相对指标，它一般只作为选择材料的参考，不直接用于强度计算。

5. 疲劳强度

机械中有许多零件(如曲轴),由于在交变载荷的作用下工作,其应力往往随时间发生周期性的变化。经过一段时间后零件发生突然折断的现象叫做疲劳。这时的应力值远远低于材料的强度极限(σ_b),甚至低于材料的屈服极限(σ_s),这种破坏现象称为金属的疲劳破坏。我们必须对疲劳破坏给予足够的重视。

金属材料在无数次重复交变载荷作用下不引起断裂的最大应力值叫做疲劳强度。

金属材料所承受的重复载荷的应力(σ)与断裂前的应力循环次数(N)之间的关系曲线称为疲劳曲线,如图 1-6 所示。

当交变应力降至某值后,疲劳曲线趋于水平,即表示该材料在此应力下可能经受无数次应力循环也不发生疲劳断裂,我们称这个应力值叫做疲劳强度极限。在疲劳曲线上任意一点 A 的坐标记为 $\sigma_{\max A}$ 和 N_A , N_A 表示最大应力为 $\sigma_{\max A}$ 时,试件断裂前所能经受的应力循环次数,称为最大应力 $\sigma_{\max A}$ 的循环次数。实际上试验不可能无限制地进行下去,试验规范规定用试验次数 N_0 代替无限多的循环次数,此时的疲劳强度极限称为纯弯曲疲劳极限,用 σ_{-1} 表示。

试验规范规定钢和铸铁等黑色金属材料通常取 $N_0=10^7$ 作为循环基数;对有色金属则取 $N_0=10^8$ 作为循环基数。材料的应力循环次数达到 N_0 时仍不发生疲劳断裂就认为不会再生疲劳破坏了。

金属材料产生疲劳破损的原因与材料的化学成分,材料的内部缺陷,表面状态(粗糙度、划痕),组织结构,夹杂物的多少及能引起应力集中的缺陷等因素有关。它们导致微裂纹的产生。微裂纹随着应力循环次数的增加,会逐渐扩展,致使零件不能承受载荷作用而突然断裂。

为了提高零件的疲劳强度,在设计零件时,应注意零件结构形状的合理性,以避免应力集中。另一方面要降低零件的表面粗糙度并采用表面强化处理,如表面淬火、渗碳、氮化、喷丸等方法来提高零件的疲劳强度。

1-2 金属材料的物理化学和工艺性能

1-2-1 物理性能

金属材料的物理性能是它本身固有的性能,主要包括密度、熔点、热膨胀性、导电性、导热性和磁性。

(1) 密度。密度是物体的质量与体积之比,单位为 kg/m^3 。

密度是金属材料的一个重要物理性能。由于机器零件的用途不同,对材料密度的要求也有所不同,特别是在航空工业中,为了增加有效载重量,更需要考虑密度的因素。飞机的一半以上的零件是用密度小、强度高的铝或铝合金制造的。

(2) 熔点。金属材料从固态向液态转变时的熔化温度称为熔点。熔点对于热加工有很重要的意义,它可以影响铸造、锻造、焊接等工艺。工业上常用易熔合金制造熔断器,用难熔合金制造耐高温零件,广泛用在火箭、导弹、飞机等方面。

(3) 热膨胀性。热膨胀性是指金属材料受热时体积增大，冷却时体积缩小的一种性能，常用线膨胀系数 α 表示其大小：

$$\alpha = \frac{L_2 - L_1}{L_1(t_2 - t_1)} (1/^\circ\text{C}) \quad (1-11)$$

式中， L_1 —— 膨胀前长度 (mm)；

L_2 —— 膨胀后长度 (mm)；

t_1 —— 膨胀前温度 ($^\circ\text{C}$)；

t_2 —— 膨胀后温度 ($^\circ\text{C}$)。

对于精密测量工具，如千分尺，块规等，为了保持高度测量准确性，防止量具自身误差的出现，就要用线胀系数很小的金属材料来制造。

(4) 导热性。导热性是指金属材料传导热能的性质。

纯金属的导热性最好。金属中杂质的含量对金属的导热性影响很大，在金属材料中加入合金元素会使材料的导热性能降低。钢中成分越复杂，导热性就越差，因此合金钢的导热性就比碳素钢的导热性差。

对于导热性能差的金属材料，应采取适当措施避免急剧加热和冷却，以防止产生过大的内应力或出现微裂纹。

(5) 导电性。导电性是指金属材料传导电流的能力。所有金属材料都具有导电性，其中以银的导电性为最好，其次是铜和铝。工业上常用铜和铝作为导电材料，如电缆和高压输电线。导电性能差的高电阻合金，如镍铬合金可以用来制造仪表零件或电炉加热元件。

(6) 磁性。金属材料具有的导磁性能称为磁性。具有磁性的金属都能被磁铁吸引，如铁、镍等都具有较高的磁性。磁性随温度的变化而变化，铁在 768°C 以上就失去磁性。

1-2-2 化学性能

化学性能是指金属材料在室温或高温条件下抵抗氧气或腐蚀介质侵蚀的能力。

(1) 耐腐蚀性。金属材料在常温下抵抗氧、活泼介质腐蚀的能力称为耐腐蚀性。

对于接触腐蚀介质的化工机械设备，在设计中不仅要考虑零件的机械性能，而且还要考虑材料的耐腐蚀性能。

(2) 抗氧化性。金属材料在加热时抵抗氧气氧化的能力称为抗氧化性。加热时随温度升高金属材料的氧化作用加速，例如钢在锻、铸、焊和热处理过程中会发生氧化和脱碳现象，造成材料的损耗和各种性能的改变。因此在加热时应采取适当措施，防止金属材料氧化。

(3) 化学稳定性。化学稳定性是指金属材料的耐腐蚀性和抗氧化性的统称。例如工业上的锅炉、火箭、导弹等许多零件都要在高温或腐蚀性介质下工作，因此要求制造这些零件的材料具有良好的化学稳定性和热稳定性。

1-2-3 工艺性能

工艺性能是指在不同的制造工艺过程中，金属材料所表现出来的承受加工的能力。它是金属材料的物理、化学和机械性能的一种综合性能。按工艺方法可分为：铸造性能、锻

造性能、焊接性能、切削加工性能、热处理性能等。

在设计零件和选择工艺方法时都要考虑材料的工艺性能。例如：灰口铸铁具有良好的铸造性能和切削加工性能，因此被广泛用来制造铸件，而它的可锻性极差，所以不能制成锻件。

复 习 题

1. 金属材料机械性能的常用指标有哪些？说出它们的物理意义。 $\sigma_{0.2}$ 的意义是什么？
2. 布氏、洛氏、维氏硬度的测试方法如何？用于测量硬度时有何优缺点？
3. 为什么冲击值 α_k 不能用于设计计算？
4. 将钟表发条拉成一条直线，这是弹性变形还是塑性变形？怎样区别它的变形性质？

第二章 金属和合金的晶体结构及结晶过程

2-1 金属的晶体结构

2-1-1 晶体的概念

自然界中存在的固态物质，按其原子排列的特征可分为晶体和非晶体两大类。非晶体的原子作无规则的排列，如松香、玻璃和沥青等。晶体的原子则按一定顺序作有规则的排列，如金刚石、石墨和一切固态的金属与合金。

由于晶体与非晶体的内部结构不同，两者的性能也有所不同。晶体具有一定的熔点，非晶体则没有。

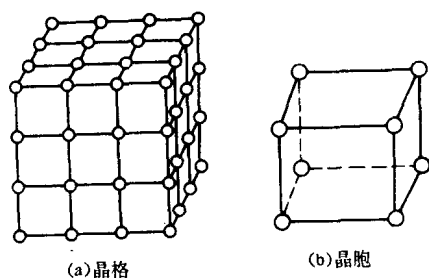


图 2-1 简单立方晶格与晶胞示意图

为了便于分析和描述晶体内原子排列的规律，人们常用一些假想的线条将晶体中各原子的中心点连接起来构成几何空间格架。各原子的中心处在空间格架的结点上，结点则代表原子的振动中心，原子在晶体中处于平衡位置。这种描述原子排列规律，抽象化了的几何空间格架称为晶格，见图 2-1 (a)。晶格中能反映原子排列规律的最小几何单元称为晶胞，如图 2-1 (b) 所示。整个晶格实际上就是由许多晶胞在空间重复堆砌而成的。晶胞中各棱边的长度 a, b, c 称为晶格常数，其大小以 $\text{\AA}$ (埃) 来度量 ($1\text{\AA} = 10^{-8}\text{cm}$)。晶胞中的棱边间的夹角称轴间夹角，分别以 α, β 和 γ 表示。若晶格常数 $a=b=c$ 和 $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$ 时，便称为简单立方晶格。

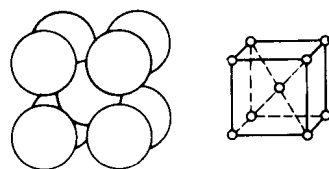
2-1-2 常见的金属晶格类型

1. 体心立方晶格

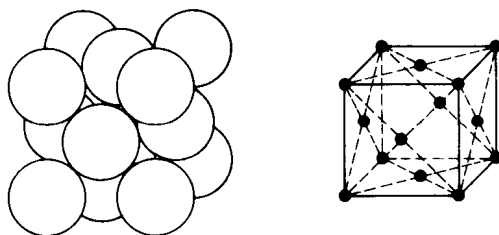
这种晶格在立方体晶胞的八个角上各有一个原子，而且立方体的中心还有一个原子，所以叫体心立方晶格，如图 2-2 (a) 所示。在这类晶格中，每个角上的原子为周围 8 个晶胞所共有。实际上每个晶胞中所含的原子数为 $(1/8) \times 8 + 1 = 2$ 个原子。晶胞中所含的原子体积与晶胞体积之比称致密度。致密度越大原子排列的越紧密。体心立方晶体的致密度为 68%，具有体心立方晶格的金属有 $\alpha\text{-Fe}$ 、铬、钴、钨、钒。这类金属都具有相当大的强度和较好的韧性。

2. 面心立方晶格

这种晶格在立方体晶胞的八个角上各有一个原子, 而且在每个面的中心还各有一个原子, 所以叫面心立方晶格, 如图 2-2 (b) 所示。这类晶格每个角上的原子也同样为周围 8 个晶胞所共有, 每个面中心的原子为两个晶胞所共有。实际上每个晶胞中仅含有 $(1/8) \times 8 + (1/2) \times 6 = 4$ 个原子。属于这类晶格结构的金属有 γ -Fe、铜、铝、银、金、镍。面心立方晶格的金属塑性都比较好。



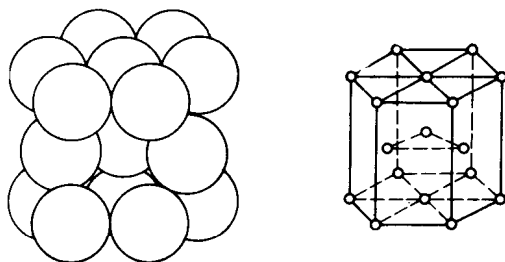
(a) 体心立方晶格



(b) 面心立方晶格

3. 密排六方晶格

这种晶格在晶胞的 12 个顶角上各有一个原子, 上下两个正六边形的底面中心也各有一个原子, 构成了六方柱体; 此外在晶胞上下中心还均匀地分布有三个原子, 所以叫密排六方晶格, 如图 2-2 (c) 所示。在这类晶格中, 每个角上的原子均为六个晶胞所共有; 上下底面中心的原子为两个晶胞所共有; 晶胞内部的三个原子为自身所有。故每个晶胞实际所含的原子数为 $(1/6) \times 6 \times 2 + (1/2) \times 2 + 3 = 6$ 个原子。属于这类晶格结构的金属有铍、镁、锌、 α -Ti、 β -Cr。



(c) 密排六方晶格

图 2-2 金属晶格的类型

需要指出的是, 晶格中的原子是按一定的振幅, 围绕着结点作振动, 振幅的大小随物体材料温度的升高而增大, 原子活动能力也随之增强。这说明温度对金属材料的结构和性能有很大的影响。

2-1-3 金属的结晶过程和同素异构转变

1. 金属的结晶过程

液态金属冷却到凝固温度时, 原子便由无秩序的状态转变为有秩序的状态。金属由液态转变为晶体的过程叫做结晶。

每一种金属都存在着一一定的平衡结晶温度, 即液态金属与其晶体处于平衡状态的温度。在此温度下熔化速度与结晶速度相等, 称之为理论结晶温度, 用 T_0 表示。此时液体与晶体数量相对不变, 两者处于平衡状态, 只有冷却到低于 T_0 时才开始结晶, 这种现象称为过冷。实际结晶温度 T 总低于理论结晶温度 T_0 , 两者之差 $\Delta T = T_0 - T$, 称为过冷度。金属材料的过冷度不是恒定不变的, 它的大小与金属的纯度、冷却速度有关。金属的纯