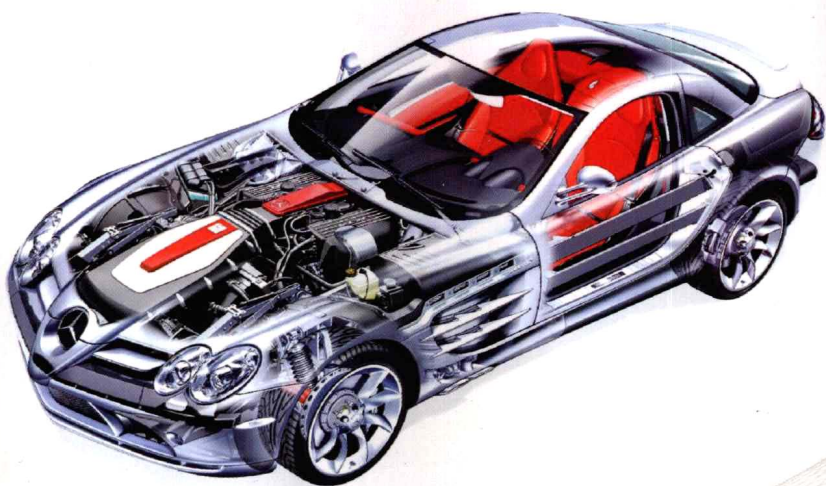


· 高职高专汽车技术服务与营销专业系列教材 ·



汽车机械基础

主 编 康国初
副主编 韩振生 邹贵祖
主 审 李 梅



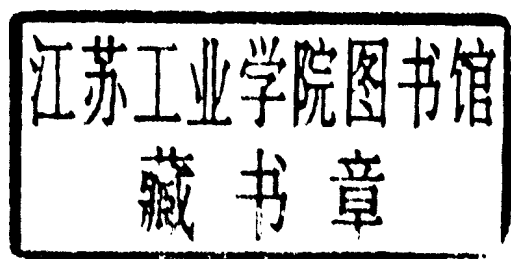
Q I C H E J I X I E J I C H U



重庆大学出版社
<http://www.cqup.com.cn>

汽车机械基础

主 编 康国初
副主编 韩振生 邹贵祖
参 编 戚叔林 王风军 于 友 李建兴
主 审 李 梅



重庆大学出版社

内 容 提 要

本书是紧密结合汽车技术服务行业职业需求编写的。它包括了金属工艺学、金属材料与热处理、静力学、材料力学、平面连杆机构、凸轮机构、联接与轴承、带与链传动、齿轮传动、轮系、液压传动基础元件、基本回路与典型汽车液压系统等内容。本书编写力求简洁明了,注重理论联系实际,强调各种知识在实际中的应用,着重培养学生分析、解决问题的能力,充分体现了高等职业教育特色。

本书可作为汽车检测与维修、汽车技术服务与营销、汽车制造与装配技术、工程机械等专业的技术基础课教材,也适用于各类成人高校的相关专业。

图书在版编目(CIP)数据

汽车机械基础/康国初主编. —重庆:重庆大学出版社,
2008.6

(高职高专汽车技术服务与营销专业系列教材)

ISBN 978-7-5624-4497-8

I. 汽… II. 康… III. 汽车—机械学—高等学校:技术
学校—教材 IV. U463

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 061128 号

汽车机械基础

主 编 康国初

副主编 韩振生 邹贵祖

主 审 李 梅

责任编辑:彭 宁 李定群 版式设计:彭 宁

责任校对:任卓惠 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街 174 号重庆大学(A区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn (市场营销部)

全国新华书店经销

重庆东南印务有限责任公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:17.5 字数:437 千

2008 年 8 月第 1 版 2008 年 8 月第 1 次印刷

印数:1—3 000

ISBN 978-7-5624-4497-8 定价:28.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

前言

本书是依据汽车技术服务领域职业的需求进行内容组织的。全书共分 15 章,由多年从事一线教学工作、具有丰富实践经验的双师型教师,融合高职高专的教学特点而编写的。

本书在编写过程中力求突出以下特点:

(1) 知识点多

本书包含了金属工艺学、金属材料及热处理、工程力学、材料力学、机械原理与机械零件、液压传动等几门课程的主要内容。

(2) 简洁明了、够用为度

本书在编写过程中摒弃了理论性较强的内容,以实用为标准,注重知识在实践中的应用,着重培养学生分析问题、解决问题的能力,充分体现了高职教育的特色。

(3) 内容新颖

本书在编写过程中吸收了国内外比较成熟的新理论、新技术,并注重介绍在汽车上的应用。本书配有大量的结构原理插图,有助于学生的学习和理解,同时编写时全部采用了新颁布的国家标准。

本书由康国初任主编并负责全书统稿工作,韩振生、邹贵祖任副主编。具体编写分工为:邹贵祖编写第 1,2,3 章;王风军编写第 4,5 章;于友编写第 6,7 章;李建兴编写第 8,11 章;康国初编写第 9,10 章;戚叔林编写第 12,13 章;韩振生编写了第 14,15 章。

由于编者水平有限,书中误漏之处难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

2008 年 2 月

目 录

第1章 机械工程材料基础知识	1
1.1 金属及合金的主要性能	1
1.2 金属及合金的晶体结构与结晶	6
复习思考题	10
第2章 钢的热处理	12
2.1 铁碳合金	12
2.2 钢的热处理基本知识	16
2.3 钢的表面热处理	19
复习思考题	21
第3章 常用金属材料和非金属材料	22
3.1 碳素钢的分类、牌号及用途	22
3.2 合金钢的分类、牌号及用途	24
3.3 铸铁的分类、牌号及用途	28
3.4 有色金属合金	30
3.5 非金属材料	33
复习思考题	35
第4章 静力学基础	36
4.1 静力学的基本概念与公理	36
4.2 约束、约束反力及受力图	38
4.3 力偶和力矩	42
4.4 平面力系	45
4.5 空间力系	55
复习思考题	61
第5章 材料力学基础	64
5.1 基本概念	64
5.2 轴向拉伸和压缩	67
5.3 剪切和挤压	76
5.4 圆轴扭转	79
5.5 弯曲	87

5.6 组合变形的强度计算	96
复习思考题	100
第6章 机构组成及运动简图	102
6.1 机构的组成	102
6.2 平面机构运动简图	104
6.3 平面机构具有确定运动的条件	106
6.4 机构传动的类型与用途	109
复习思考题	110
第7章 平面连杆机构	112
7.1 铰接四杆机构	112
7.2 铰接四杆机构的演化形式	114
7.3 铰接四杆机构的运动特性	116
7.4 铰接四杆机构的运动设计	118
复习思考题	120
第8章 凸轮机构	122
8.1 凸轮机构的组成、特点及类型	122
8.2 凸轮传动机构常用的运动规律	124
8.3 盘形凸轮机构的设计	127
复习思考题	131
第9章 带传动与链传动	133
9.1 带传动概述	133
9.2 V带与V带轮	135
9.3 V带传动的工作能力分析	139
9.4 V带传动的设计	143
9.5 V带传动的使用与维护	149
9.6 链传动	151
复习思考题	153
第10章 齿轮传动	155
10.1 齿轮传动的类型、特点和齿廓啮合基本定律	155
10.2 渐开线直齿圆柱齿轮及其传动	157
10.3 圆柱齿轮的结构和精度	165
10.4 直齿圆柱齿轮传动的强度计算	169
10.5 斜齿圆柱齿轮传动	176
10.6 直齿圆锥齿轮传动	179
复习思考题	181
第11章 蜗杆传动	183
11.1 蜗杆传动的特点和类型	183

11.2 蜗杆传动的基本参数和尺寸	184
11.3 蜗杆传动的结构	187
复习思考题	189
第 12 章 轮 系	191
12.1 轮系的类型与功用	191
12.2 定轴轮系的传动比计算	193
12.3 周转轮系的传动比计算	196
12.4 混合轮系的传动比计算	198
复习思考题	199
第 13 章 联接与支承	201
13.1 键联接	202
13.2 销联接	206
13.3 螺纹联接	208
13.4 支承	211
复习思考题	220
第 14 章 液压传动的基本元件	221
14.1 液压泵	221
14.2 液压油缸	232
14.3 液压控制阀	236
14.4 液压辅件	246
复习思考题	250
第 15 章 液压基本回路 with 汽车典型液压系统	251
15.1 方向控制回路	251
15.2 压力控制回路	253
15.3 汽车典型液压系统	256
复习思考题	261
附录 常用液压与气压元件图形符号	263
参考文献	269

第 1 章

机械工程材料基础知识

1.1 金属及合金的主要性能

任何机器工作的时候都会受到外力(载荷)的作用,如吊车吊运货物时,钢丝绳会受到重物的拉力作用;汽车发动机曲轴会受到拉力、压力,甚至交变外力和冲击力的作用。在这些外力作用下,材料所表现出的一系列变形或断裂的特性,称为材料的力学性能,它包括强度、塑性、硬度、韧性、疲劳强度等。它不仅是一般机械零部件在设计、制造时选择材料的主要依据,而且也是验收、鉴定材料性能的重要参数之一。

1.1.1 强度和塑性

(1) 强度

1) 强度的定义及衡量

在外力作用下材料所表现出的抵抗永久变形和断裂的能力,称为强度。由于外力作用形式不同,强度可分为抗拉强度、抗压强度、抗扭强度及抗弯强度等。其大小用材料在破坏前所承受的最大应力来衡量,常用的指标有屈服强度和抗拉强度。

一个物体受外力作用,在其内部微粒之间将产生一个大小相等、方向相反、相互作用的力,称为内力。物体单位面积上所受的内力称为应力。

2) 强度的测量

屈服强度和抗拉强度可通过拉伸实验来测定。下面以一根低碳钢制成的拉伸试样为例,来说明拉伸试验的过程。

试验前,将被测金属材料制成一定形状和尺寸的标准试样(见 GB 228—87《金属拉伸试验试样》)。钢的标准拉伸试样如图 1.1 所示。

试验时,将拉伸试样装夹在拉伸实验机的夹头上,缓慢加载,随着外力(负荷)的不断增大,试样会产生拉伸变形,长度不断增加,直至试样拉断。在整个试验过程中,把外加负荷与试样相应的伸长量,画在以负荷 F 为纵坐标,伸长量 ΔL 为横坐标的坐标系中,便可得到负荷与变形量的关系曲线,称为拉伸曲线。如图 1.2 所示为低碳钢的拉伸曲线,由图可知,曲线可分

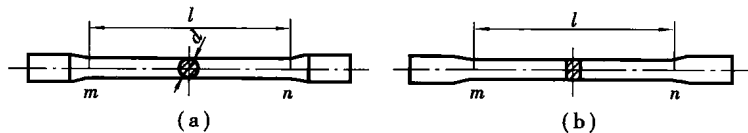


图 1.1 钢的标准试样示意图

(a) 圆试样 (b) 矩形截面试样

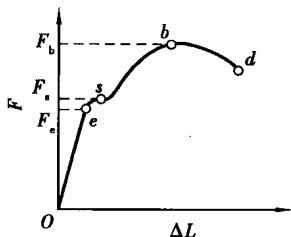


图 1.2 低碳钢的拉伸曲线

为弹性变形,弹、塑性变形,以及断裂 3 个阶段。

①弹性阶段 在拉伸曲线中, Oe 段是直线,当负荷为零时,伸长量为零;当负荷由零增加到 F_e 时,试样在负荷的作用下均匀伸长。在这一阶段中,当负荷去掉时,试样可以完全恢复原状,这种随负荷去除而消失的变形称为弹性变形。这一阶段对应的最大负荷 F_e 称为弹性极限负荷。

②弹、塑性变形 当负荷超过 F_e 时,试样除产生弹性变形外,开始出现塑性变形,即在外力去除后试样不能完全恢复原来的形状。塑性变形为外力去除后不能恢复的变形。

当负荷增加到 F_s 时,在拉伸曲线上出现一水平线段,表明此时负荷没有增加,变形仍在继续进行,这种现象称为屈服现象,此时所对应的最小负荷称为屈服负荷。屈服现象产生后,当负荷继续增加时变形也逐渐增加,在试样整个长度方向上产生均匀而显著的塑性变形。

③断裂 当负荷增加到 F_b 时,变形显著集中在材料最薄弱的部位,即产生非均匀的塑性变形,试样上开始出现局部直径变细的缩颈现象。由于试样断面缩小,负荷也逐渐降低,当达到 d 点时,试样发生断裂,因此, F_b 是试样拉断前承受的最大负荷。

通过拉伸曲线上的特性点,就可测得下列一些强度指标:

a. 弹性极限 σ_e 。材料产生纯弹性变形的最大应力。可计算为

$$\sigma_e = \frac{F_e}{A_0} \quad \text{MPa} \quad (1.1)$$

式中 F_e ——弹性极限负荷, N;

A_0 ——试样原始横截面积, mm^2 。

弹性极限 σ_e 是由试验得到的,其值受测量精度影响较大,故常以产生微量塑性伸长应力 $\sigma_{0.01}$ 为弹性极限。

b. 屈服极限(屈服强度) σ_s 。材料产生屈服现象时的最小应力,即材料开始发生明显塑性变形的最小应力,可计算为

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0} \quad \text{MPa} \quad (1.2)$$

式中 F_s ——屈服极限负荷, N;

A_0 ——试样原始横截面积, mm^2 。

很多金属材料(如大多数合金钢、有色金属)的拉伸曲线不出现平台,脆性材料(如普通铸铁、镁合金等)甚至断裂之前也不发生塑性变形,因此,工程上一般规定以试样产生 0.2% 微量塑性变形时的应力作为该材料的屈服极限(也称屈服点),并以符号 $\sigma_{0.2}$ 表示。

c. 强度极限(抗拉强度) σ_b 。材料断裂前所能承受的最大应力,可计算为

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0} \quad \text{MPa} \quad (1.3)$$

式中 F_b ——试样断裂前承受的最大负荷, N;

A_0 ——试样原始横截面积, mm^2 。

$\sigma_e, \sigma_s, \sigma_b$ 是设计机械零件和检查机械零件质量的基本依据。金属材料的强度越高, 则机械零件或金属构件抵抗变形或断裂的能力越强, 即承受负荷作用的能力越强, 相应使用过程中的可靠性高, 使用寿命长。

材料的 σ_s ($\sigma_{0.2}$), σ_b 均可在材料手册或资料文献中查得。一般机器构件都是在弹性状态下工作的, 不允许有微小的塑性变形。因此, 在机械设计时, 一般以 σ_s 或 $\sigma_{0.2}$ 为强度指标, 并加上适当的安全系数。由于抗拉强度测定比较方便, 而且数据也较准确, 因此, 设计零件时有时也可以直接采用强度指标, 但 σ_b 需使用较大的安全系数。

(2) 塑性

金属材料在外力作用下, 产生永久变形而不破坏的能力称为塑性, 其大小用材料在断裂前的最大变形量来衡量。常用的指标有延伸率 δ 和断面收缩率 ψ , 可通过拉伸实验来测量。

1) 延伸率 δ

它是指试样被拉断后, 试样总的伸长量与原始长度的比值的百分率, 即

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\% \quad (1.4)$$

式中 l_0 ——试样原始标距长度, mm;

l_1 ——试样拉断后的标距长度, mm。

在材料手册中, 通常看到 δ_5 和 δ_{10} 两种符号, 它分别表示 $l_0 = 5d$ (短试样) 和 $l_0 = 10d$ 两种不同试样测定的伸长率。 l_1 是试样的均匀伸长和产生缩径后非均匀伸长的总和。显然, 短试样中缩颈的伸长量所占的比例较大, 故同一材料所测得的 δ_5 和 δ_{10} 值是不同的, δ_5 的值较大, 而 δ_{10} 的值较小, 因此, 相同符号的伸长率才能相互比较。

2) 断面收缩率 ψ

它是试样被拉断后, 其断面横截面积的收缩量与试样原始横截面积的比值的百分率, 即

$$\psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} = 100\% \quad (1.5)$$

式中 S_0 ——试样原始横截面积, mm^2 ;

S_1 ——试样拉断后断口的横截面积, mm^2 。

断面收缩率不受试样标距长度的影响, 因此, 它能更可靠地反映材料的塑性。

金属材料的 σ, ψ 越高, 塑性越好。材料塑性的好坏, 对零件的加工和使用具有十分重要的意义。例如, 塑性好的材料 (低碳钢、黄铜), 容易变形, 适于压力加工、焊接生产, 且工艺过程简单, 质量容易控制。此外, 重要的受力零件也要求具有一定塑性, 以防止超载时发生断裂。

必须指出, 塑性指标不能直接用于零件的设计计算, 只能根据经验来选定材料的塑性。一般来说, 延伸率达 5% 或断面收缩率达 10% 的材料, 即可满足绝大多数零件的要求。

1.1.2 硬度

硬度是指材料抵抗局部变形, 特别是塑性变形、压痕或划痕的能力, 即材料抵抗比它更硬

的物质压入其内的能力。它不仅反映了材料的软硬程度,而且还是表示材料综合性能的一项指标。

硬度值的大小是通过硬度试验来测定的。由于硬度可在原材料或零件表面直接测量,不破坏试件,设备也比较简单,试验方法简便、迅速,而且对大多数金属材料,可以从硬度值估算出它的抗拉强度。因此,在生产中广泛用来检验原材料、半成品或成品的性能是否满足使用要求。在设计中,通常以硬度作为零件或材料应达到的性能指标。

在工业生产中,通常采用的硬度实验方法有以下两种:

(1) 布氏硬度

布氏硬度试验方法是以直径为 D 的淬火钢球或硬质合金球作压头,在一定负荷 F 的作用下,压入被测材料表面,并保持一定的时间,然后卸除负荷,材料表面上出现一个压坑(压痕)。布氏硬度实验原理如图 1.3 所示。

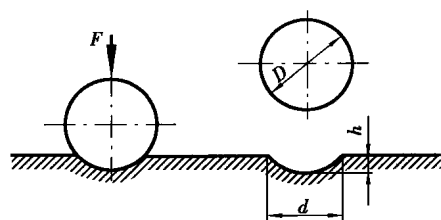


图 1.3 布氏硬度实验原理图

以压痕单位面积上的压力来表示被测金属材料的硬度值,即

$$HB = \frac{F}{S} = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1.6)$$

式中 F ——试验力,kg;
 S ——压痕凹印表面积,mm²;
 D ——压头直径,mm;
 d ——压痕直径,mm。

由布氏硬度计算式(1.6)可知,压痕越小,硬度值越大,材料越硬;反之,材料越软。

淬火钢球作压头测得的硬度值用符号 HBS 表示,一般用于测量硬度值在 450 以下的材料;硬质合金作压头测得的硬度值用符号 HBW 表示,一般用于测量硬度值在 450 以上的材料。符号 HBS 和 HBW 之前用数字标注硬度值,符号后面依次用数字注明压头直径(mm)、试验力(kg)及试验力保持时间(s)(10~15 s 不标注)。例如,500 HBW5/750,表示用直径 5 mm 硬质合金球在 750 kg 试验力作用下保持 10~15 s,测得的硬度值为 500。

目前,布氏硬度主要适用于铸铁、有色金属,以及经退火、正火和调质处理的钢材。

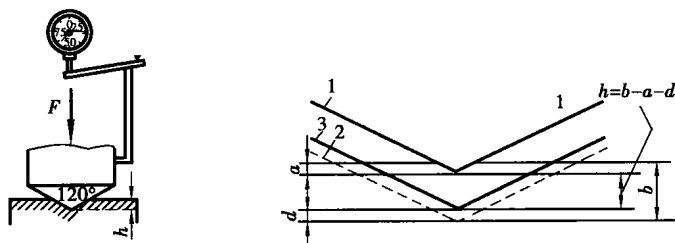


图 1.4 洛氏硬度试验原理

(2) 洛氏硬度

洛氏硬度的实验原理如图 1.4 所示。它是用顶角为 120° 的金刚石圆锥或直径为 1.588 mm 的淬火钢球作压头,在一定负荷(初负荷 F_1)的作用下压入被测材料表面,其目的是为了消除表面不同状态对试验结果的影响,此时压头处于图中位置 1;然后再施加一定负荷(主负荷 F_2),总负荷为 $F = F_1 + F_2$,此时压头处于图中位置 2;保持一定时间后,卸除主负荷

F_2 , 仍保持初负荷 F_1 , 此时由于弹性变形的恢复使压头略有上升, 压头处于图中位置 3。压头在主负荷作用下压入材料的深度 (见图中 h), 称压痕深度。金属越硬, h 越小。

为了适应人们习惯上数值越大硬度越高的观念, 故人为的规定一常数 K 减去压痕深度 h 的值作为洛氏硬度指标, 并规定每压入 0.002 mm 为一个洛氏硬度单位, 用符号 HR 表示, 即

$$\text{HR} = \frac{K - h}{0.002} \quad (1.7)$$

式中 K ——常数, 取决于压头类型, 金刚石压头取 0.20, 钢球压头取 0.26;

h ——压痕深度。

为了能用一种硬度计测定从软到硬的材料硬度, 采用了不同的压头和负荷组成了 3 种不同的洛氏硬度标度, 每一个标度用一个字母在洛氏硬度符号 HR 后加以注明, 即 HRA, HRB, HRC 3 种标度, 其中以 HRC 应用最广。洛氏硬度值标注方法为硬度符号前面注明硬度数值, 如 60 HRC, 70 HRB 等。

由于洛氏硬度试验可从试验机表盘上直接读出硬度值, 操作简便, 且压痕小, 可做成品检验。因此, 它是目前应用最广的一种硬度试验方法。

1.1.3 冲击韧性和疲劳强度

冲击韧性和疲劳强度是金属材料的动态力学性能。

(1) 冲击韧性

冲击载荷是一种突然作用的载荷, 通常以高速作用在零件上, 比静载荷作用的破坏性大得多。材料抵抗冲击载荷作用而不破坏的能力, 称为冲击韧性 (简称韧性)。材料韧性的好坏, 可通过冲击韧度来衡量。

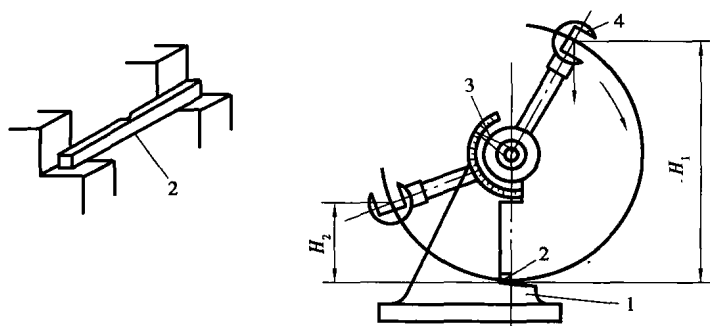


图 1.5 冲击试验原理图

1—支座; 2—试件; 3—指针; 4—摆锤

金属材料的冲击韧度是通过摆锤式一次冲击实验来测量的, 其试验原理如图 1.5 所示。

试验时, 首先将带有槽口 (缺口) 的标准试样放在试验机的支座上; 然后将重力为 G 的摆锤举至一定高度 H_1 , 使其具有一定的位能 GH_1 ; 再使摆锤由此高度自由落下, 将试样冲断; 冲断试样后摆锤继续向前升高到 H_2 的高度, 此时摆锤剩余能量为 GH_2 。摆锤对冲断试样所失去的能量即冲击负荷使试样冲断所做的功, 称为冲击功, 则

$$A_k = G(H_1 - H_2)$$

材料在单位截面上所受的冲击功, 称为冲击韧度 (α_k), 即

$$\alpha k = \frac{A_k}{A} \quad \text{J/cm}^2 \quad (1.8)$$

式中 A_k ——冲击功, J;

A ——试样缺口处原始截面面积, cm^2 。

αk 值越大, 表示材料的韧性越好, 材料抵抗一次冲击而不破坏的能力越强。

(2) 疲劳强度

许多汽车零件(如齿轮、连杆、弹簧等), 在工作时, 通常会受到一种大小、方向随时间发生周期性变化的负荷作用, 这种负荷称为交变负荷。

零件在交变负荷作用下, 发生断裂时的应力远低于该材料的强度极限, 甚至低于屈服极限, 这种现象称为金属的疲劳, 由此引起的断裂称为疲劳断裂。由于疲劳断裂通常突然发生在零件的使用过程中, 故易造成严重的事故。

材料在无数次重复的交变负荷作用下不破坏的最大应力, 称为疲劳强度, 其大小表示金属材料抵抗疲劳的能力。

疲劳强度是在疲劳试验机上测得的。试验时由于不可能进行无数次的交变负荷作用, 因此, 一般规定钢在经受 10^7 次、有色金属经受 10^8 次的交变负荷作用时, 不产生断裂的最大应力称为疲劳强度。

一般, 钢材的疲劳强度 $\sigma_{-1} \approx (0.45 \sim 0.55) \sigma_b$ 。

1.2 金属及合金的晶体结构与结晶

1.2.1 金属的晶体结构与结晶

(1) 金属的晶体结构

1) 晶体结构的基本知识

固态物质按其内部原子或分子排列的特征, 可分为晶体和非晶体。晶体内部的原子是按一定的几何规律做周期性排列的, 如金属(包括纯金属和合金)都属于晶体物质; 非晶体内部的原子是杂乱无序、无规律的堆积在一起, 如普通玻璃、松香等。

由于金属都属于晶体物质, 其原子是按一定规律在空间紧密堆积在一起, 如图 1.6(a) 所示。为了便于研究, 用一些直线将各原子的中心连接起来, 就得到一个立体的几何格架(见图 1.6(b)), 称为晶格。又由于晶体中原子排列具有周期性, 从晶格中可以选出一个能完全反映晶格特征的最小单元(见图 1.6(c), 称为晶胞。实际上, 整个晶格是由许多大小、形状、位向相同的晶胞在空间重复堆积而成的。晶胞的 3 个互相垂直的棱边长度 a, b, c 及三棱边夹角 α, β, γ 称为晶格常数, 通常用它们来表示晶胞的大小和形状。在立方晶格中, $a = b = c$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ 。

2) 常见金属的晶格结构

绝大多数金属的晶体结构类型都属于以下 3 种晶格类型:

①体心立方晶格 这种晶格如图 1.7 所示。其晶胞是一个立方体, 除晶胞的 8 个角上各有一个原子外, 中心还有一个原子。属于体心立方晶格的金属有 $\alpha\text{-Fe}$, Cr , W , V 等。不同的金

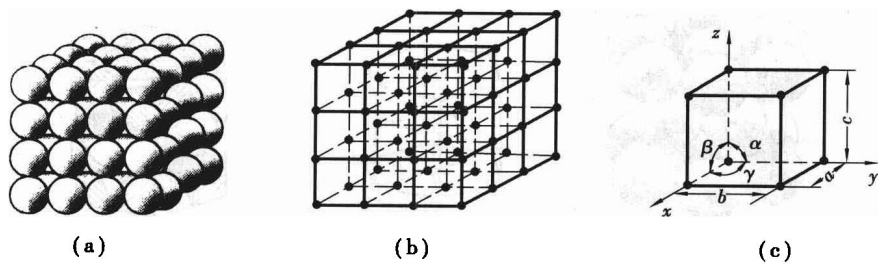


图 1.6 简单立方晶体中原子排列示意图

(a) 晶体中原子的排列 (b) 晶格 (c) 晶胞

属由于其原子直径不同,晶格常数不同。

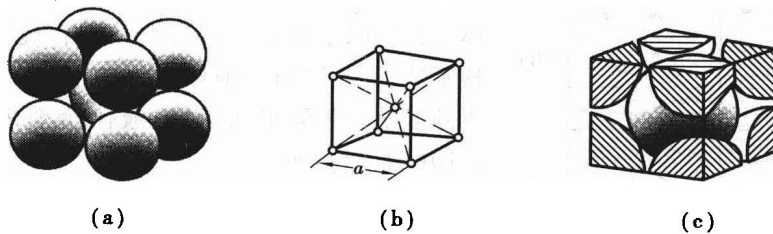


图 1.7 体心立方的晶胞示意图

(a) 模型 (b) 晶胞 (c) 晶胞原子

②面心立方晶格 这种晶格如图 1.8 所示。其晶格是一个立方体,除在晶胞的 8 个角上各有一个原子外,在每个面的中心还有一个原子。属于面心立方晶格的金属有 γ -Fe, Al, Cu, Au, Ag 等,同样,不同的金属其晶格常数也不同。

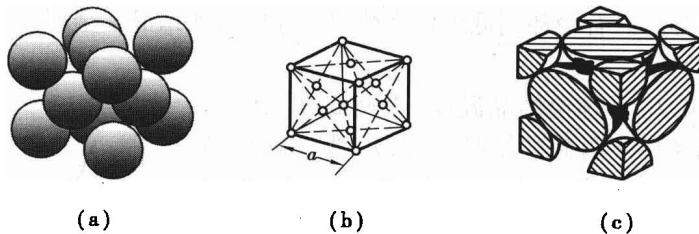


图 1.8 面心立方的晶胞示意图

(a) 模型 (b) 晶胞 (c) 晶胞原子数

③密排六方晶格 这种晶格如图 1.9 所示。其晶胞是一个六方柱体,在六方柱体的每个角上及上、下六方形底面中心各有一个原子,晶胞的中间还有 3 个原子。属于密排六方晶格的金属有 Mg, Zn, Be, Cd 等。

(2) 金属的结晶

金属制品一般都要经过熔化、浇铸的工序。金属由液态转变为固态(晶体)的过程,称为结晶。

1) 纯金属的结晶及过冷现象

①纯金属结晶的基本过程及其产物 金属的结晶过程如图 1.10 所示。液态金属缓慢冷却过程中,当冷至某一温度(结晶温度)时,在液体中将形成一些原子做有规律排列的小集团

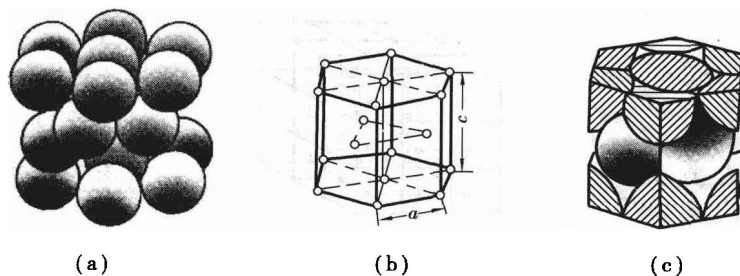


图 1.9 密排六方的晶胞示意图

(a)模型 (b)晶胞 (c)晶胞原子数

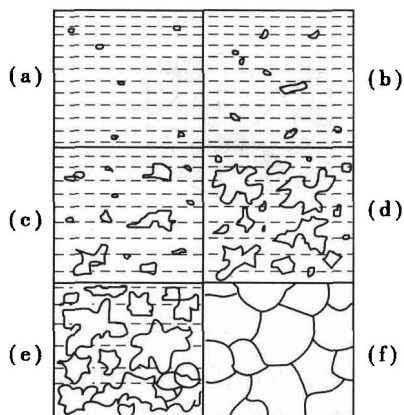


图 1.10 金属结晶过程示意图

(晶核),如图 1.10(a)所示;随时间延长、温度降低,液体中其他原子以其为核心继续做有规律排列,而使晶核不断长大,同时在液体中还会不断形成新的晶核并不断长大,直至相互接触,液体全部消失为止,如图 1.10(b)~(f)所示。

因此,结晶的基本过程是一个晶核不断形成和长大的过程。结晶的产物一般是由许多外形不规则的小晶体(晶粒)构成。晶粒之间由于成长的方位或结构不同而形成的分界面,称为晶界。

②过冷现象 对每一种金属,存在一平衡温度。在该温度下液态金属与其固态晶体处于平衡状态,这时液体中的原子结晶为晶体的速度与晶体中的原子溶入液体中的速度相等。只有冷却到低于该平衡温度才能有效结晶。金属结晶时的这种现象称为过冷,如图 1.11 所示。

由图 1.11 可知, T_0 为理论结晶温度(平衡温度),它是在无限缓慢的冷却条件下得到的结晶温度; T_n 为实际结晶温度,它是在某一具体的冷却条件下(如炉冷、空冷等)得到的结晶温度。两者温度之差称为过冷度,以 ΔT 表示,即

$$\Delta T = T_0 - T_n$$

实践证明,过冷度的大小与冷却速度有关。冷却速度越快,过冷度越大,实际结晶温度越低。

2) 晶粒大小对金属力学性能的影响

金属结晶后晶粒的大小对金属的力学性能和化学性能都有很大的影响。晶粒越细小,不但其强度、硬度高,而且塑性、韧性也越好。因此,生产中,为改善金属的机械性能,都希望得到细晶粒组织。

在生产中,常用细化晶粒的方法有以下 3 种:

①增加冷却速度 过冷度对生核率 N 和长大率 v 的影响如图 1.12 所示。过冷度越大, N/v 越大,结晶后的晶粒越细;反之,则越粗。铸造生产中,由砂型铸造改为金属型铸造,可提高铸件的力学性能,即利用增大过冷度来细化晶粒所致。

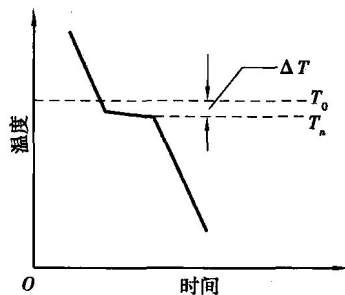


图 1.11 纯金属的冷却曲线及过冷

②变质处理 在液态金属中加入某些难熔物质,使其在金属液中形成大量分散的固体质点,起非自发形核(人工晶核)的作用,从而细化晶粒。例如,在浇铸铁液前加入石墨粉、硅钙合金,在铝合金液中加入微量的钛和铝,都能大大地细化晶粒。

③附加振动 在金属结晶时,对金属液附加机械振动、电磁振动等,使液态金属发生相对运动,将结晶初期形成的晶粒打碎,增加晶核数量,以达到细化晶粒的目的。

(3) 金属的同素异构转变

大多数金属在结晶后晶格类型是不变的,但有少数金属(如铁、锡、钛、锰等)结晶后,在不同的温度时,具有不同的晶格结构。这种金属在固态下,晶格结构随温度发生变化的现象,称为金属的同素异构转变。

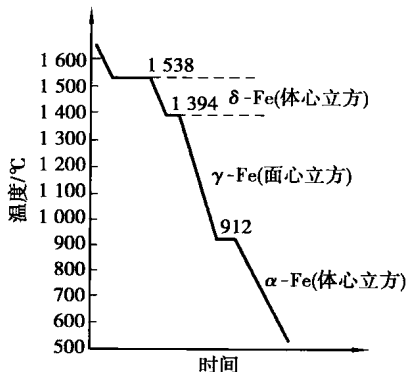


图 1.13 纯铁冷却曲线

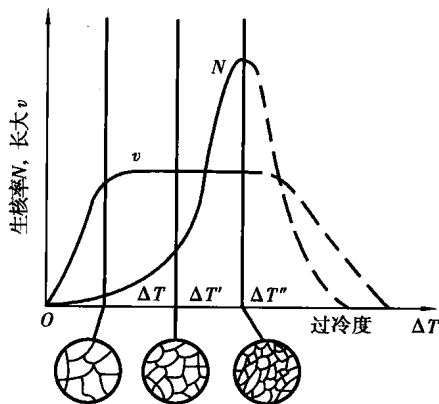


图 1.12 过冷度对生核率 N 和长大率 v 的影响

如图 1.13 所示为纯铁的冷却曲线(冷却时,温度随时间变化的关系曲线),液态纯铁缓冷到 1 538 °C 时,结晶为体心立方的铁,称为 δ -Fe;继续冷却到 1 394 °C 时,发生同素异晶转变,转变为面心立方的铁,称为 γ -Fe;继续冷却到 912 °C 时,又发生同素异晶转变,转变为体心立方的铁,称为 α -Fe。

纯铁的这种特性是钢铁材料能够通过热处理改变其组织结构和性能的根本原因之一。

1.2.2 合金的基本相结构

在机械工业中,由于纯金属本身的力学性能有限,很少直接用做机械零部件,而是将它们熔炼成合金,以改善其力学性能,满足使用要求。因此,在机械工业中使用的金属材料绝大多数都是合金材料。

(1) 基本概念

1) 合金

合金是指将两种或两种以上金属或金属与非金属熔合在一起,获得具有金属特性的一类物质。绝大多数的合金是通过熔化、精炼而成的,只有少数合金是固态下通过粉末冶金制成的。

2) 组元

组元是组成合金最基本的、能独立存在的物质。例如,普通黄铜是由铜和锌组成的二元合金。

3) 合金系

合金系是指组元一定而成分比例不同的一系列合金。例如,各种碳素钢,尽管它们的含碳量各不相同,却都是铁碳合金二元系中的合金。

4) 相

相是指合金中成分相同、结构相同,并与其他部分有明显界面分开的均匀组成部分。例如,纯铁在室温下的平衡组织是由许多外形不同的晶粒组成,各晶粒之间虽有界面分开,但都是 α -Fe的体心立方晶格,是一种单相组织。而在铁中加入碳制成铁碳合金后,出现了一种新相 Fe_3C ,其成分结构与 α -Fe完全不同。因此,铁碳合金在室温下的平衡组织是一种双相组织。

(2) 合金的基本相结构

合金在固态下,由于组元之间相互作用的不同,其组织结构一般是由许多晶格结构不同的晶粒所构成。根据合金组元之间相互作用不同,合金固态下的基本结构有以下两种:

1) 固溶体

合金两组元在液态下相互溶解、结晶时,其中一组元保持原有晶格,另一组元则以原子的形式均匀地分布在该组元的晶格中,形成成分、性能均匀的固态合金,称为固溶体;其中能保持晶格结构的组元,称为溶剂;晶格结构消失的组元,称为溶质。

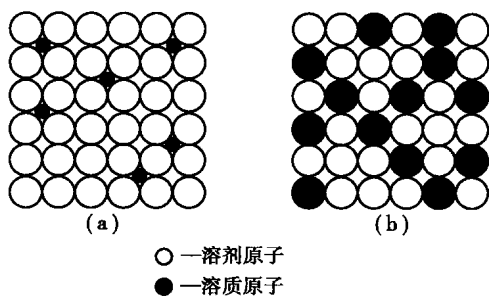


图 1.14 固溶体的两种类型

(a) 间隙固溶体 (b) 置换固溶体

如图 1.14 所示,固溶体分为间隙固溶体和置换固溶体。间隙固溶体中溶质原子存在于溶剂晶格的间隙中;置换固溶体中溶质原子存在于溶剂晶格结点上。

形成固溶体时,随着溶质原子的溶入,将使溶剂晶格产生畸变,从而使其强度、硬度升高,这种现象称为固溶强化。这也就是合金比纯金属强度、硬度高的主要原因,它是提高金属力学性能的重要途径之一。

2) 金属化合物

合金组元之间按一定比例相互作用而生成的一种新的具有金属特性的固态物质,称为金属化合物。例如, Fe_3C 是由铁和碳组成的金属化合物, WC 是钨和碳组成的金属化合物。

金属化合物具有以下两个主要特性:

- ① 金属化合物的晶格结构与其组元的晶格完全不同。
- ② 金属化合物具有硬而脆的性能特点。

在合金中出现金属化合物时,能提高其强度、硬度和耐磨性,但会降低塑性和韧性。

合金在固态下的组织一般是由两种或两种以上的固溶体和金属化合物所构成的混合物,称为机械混合物。合金的性能取决于机械混合物中各组成物的性能及其形状、大小和分布状况。因此,为了满足工业上对合金的性能要求,可通过各种工艺改变合金组织中各相的形状、数量、大小及分布状态等方法来改变合金的组织,进而改变合金的性能。

复习思考题

1. 什么是金属的力学性能? 金属的力学性能主要有哪些? 各用什么指标来衡量?
2. 通过拉伸试验可测定哪些性能指标?