

全国高职高专一体化教学（机械专业）通用教材

QuanGuo GaoZhi GaoZhuan YiTiHua JiaoXue (JiXie ZhuanYe) TongYong JiaoCai

金属加工工艺与实训

JinShu JiaGong GongYi Yu ShiXun

主编 常永坤 张胜来



本书立足于高职应用型教育这一特点，
“以加强基础知识、重视实践技术、培养动手能力”为指导思想，
注重培养学生的工程应用与实践能力，体现一体化教学的特色。

本书在传统金属加工工艺基础上，合理扬弃与充实，
并将该领域发展的前沿知识收入，
以更有利于学生掌握新的知识和技能。



山东科学技术出版社
www.lkj.com.cn

YITI HUA JIAOXUE

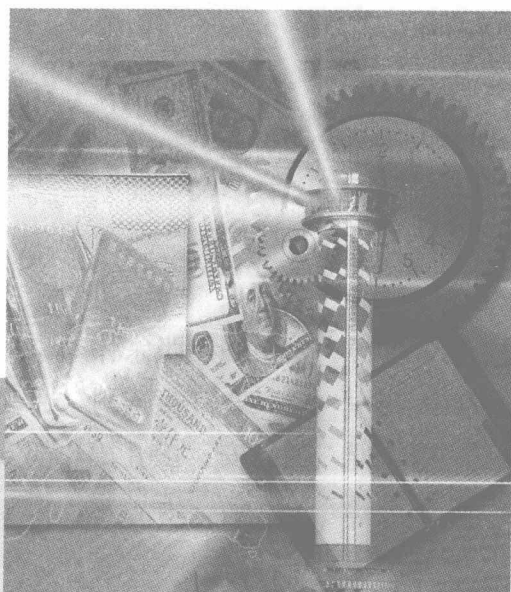
YTH

全国高职高专一体化教学(机械专业)通用教材
QuanGuo GaoZhi GaoZhuan YiTiHua JiaoXue (JiXie ZhuanYe) TongYong JiaoCe

金属加工工艺与实训

主编 常永坤 张胜来

JinShu JiaGong GongYi Yu ShiXun



图书在版编目 (CIP) 数据

金属加工工艺与实训/常永坤,张胜来主编. —济南:
山东科学技术出版社,2007
全国高职高专一体化教学通用教材
ISBN 978 - 7 - 5331 - 4633 - 7

I. 金... II. ①常... ②张... III. ①金属加工—工
艺学—高等学校:技术学校—教材 IV. TG

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 010493 号

全国高职高专一体化教学(机械专业)通用教材

金属加工工艺与实训

主编 常永坤 张胜来

出版者:山东科学技术出版社

地址:济南市玉函路 16 号
邮编:250002 电话:(0531)82098088
网址:www.lkj.com.cn
电子邮件:sdkj@sdpress.com.cn

发行者:山东科学技术出版社

地址:济南市玉函路 16 号
邮编:250002 电话:(0531)82098071

印刷者:高唐县华宇装璜印刷有限公司

地址:高唐县聊禹路 56 号
邮编:252800 电话:(0635)3672399

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:17.25

版次:2007 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 5331 - 4633 - 7

定价:26.00 元

编 委 会

主 任:常永坤 张胜来

副主任:孙式灵 王洪龄 高念文 陈 力
郑开阳

编 委:张 伟 胡安水 李宗明 陶晓军
赵文杰 张玉平 周苏东 张宗伟
刘希震 赵大华 晁储军

《金属加工工艺与实训》编者

主 编:常永坤 张胜来

副主编:王洪龄 刘 强 张宗伟 李 鹏

参 编:陶晓军 董义香 高连勇 吕爱英
周轶群 何树安 王开德 胡安渠
周重峰 陶 辉 万 军 梁 峰

QIANYAN

金属加工工艺与实训是一门研究有关制造金属机件的工艺方法的综合性技术学科。它主要研究：各种工艺方法本身的规律性及其在机械制造中的应用和相互联系；金属机件的加工工艺过程和结构工艺性；常用金属材料性能对加工工艺的影响；工艺方法的综合比较等。

常用于制造金属机件的基本方法有下列几种：铸造、压力加工、焊接、切削加工和热处理。在机械制造过程中，通常是先用铸造、压力加工或焊接等方法制成毛坯，再进行切削加工，然后得到所需的零件。当然，铸造、压力加工、焊接等工艺方法，也可以直接生产零部件。此外，为了改善零件的某些性能，常要经过热处理或其他处理，最后将制成的零件加以装配、调试，合格后始成为机器。

随着科学技术和生产力的不断发展，金属加工工艺的内容结构也将有所发展。本学科的综合发展是有关学科间的交叉渗透，而不是兼收并蓄、包罗万象、内容越来越庞杂，它仍属工艺学范畴。

金属加工工艺学是实践性很强的技术基础课，它对于学生进行技能训练极为有利，能使培养的学生对金属加工各工种的实践有详细的了解和掌握。在教学中，应当把理论学习与实践学习结合起来，有条件的学校可采用一体化教学模式，在实训中穿插讲授理论知识点，这样更有利于学生理解和掌握基本知识点和技能点。

本教材立足于高职应用型教育这一特点，以“加强基础知识、重视实践技术、培养动手能力”为指导思想，注重培养学生的工程应用与实践能力，体现一体化教材的特色。

全书共十章，内容在传统金属加工工艺基础上结合高职院校的教学特点进行的合理的扬弃与充实，又将该领域发展的一些前沿知识收入介绍给读者。本书由枣庄技术学常永坤、

张胜来担任主编，王洪龄、刘强、张宗伟、李鹏担任副主编，陶晓军、董义香、高连勇、吕爱英、周轶群、何树安、王开德、胡安渠、周重峰、陶辉、万军、梁峰参与编写。

本书由评审专家在百忙之中认真审阅，并提出宝贵的修改意见，在此表示诚挚的感谢。由于编者水平有限，难免有错误和不妥之处，恳请读者给予批评指正。

编 者

目 录

MULU

第一章 金属材料的基本知识	1
第一节 金属材料的力学性能.....	1
第二节 金属的晶体结构与结晶.....	6
第三节 合金的相结构和相图	12
第四节 铁碳合金	15
第五节 钢的热处理	23
第六节 常用钢材	29
本章小结	32
习题	33
实训	33
实训一 金属材料的硬度测量	33
实训二 钢的热处理实验	36
第二章 铸 造	39
第一节 概 述	39
第二节 合金铸造性能	40
第三节 砂型铸造	46
第四节 特种铸造简介	59
本章小结	62
习题	63
实训	63
第三章 压力加工	70
第一节 压力加工的实质、特点和应用.....	70
第二节 金属的塑性变形	72
第三节 自由锻	77
第四节 模 锻	82
第五节 板料冲压	89
第六节 特种锻造及锻造新技术新工艺	91
本章小结	96
习题	96

实训	97
实训一 自由锻的基本工序	97
实训二 模锻锤的特点及应用	98
第四章 焊 接	100
第一节 焊接的实质	101
第二节 手弧焊	102
第三节 气焊与气割工艺	106
第四节 焊接结构	109
第五节 焊接检验	112
第六节 其它焊接方法简介	114
本章小结	121
习题	121
实训	122
实训一 手工电弧焊操作	122
实训二 氧-乙炔气焊	123
第五章 金属切削加工的基本知识	127
第一节 切削加工概述	128
第二节 金属切削刀具	128
第三节 金属切削过程及其物理现象	131
第四节 工件材料切削加工性	140
第五节 提高劳动生产率的途径	145
本章小结	147
习题	147
第六章 车、钻、镗加工	148
第一节 车 床	149
第二节 车床附件及工件的装夹方法	151
第三节 车削方法和工艺特点	153
第四节 钻 削	160
第五节 镗 削	166
本章小结	170
习题	171
实训	171
实训一 车削加工	171
实训二 钻削加工	173
实训三 钻模体的镗削	174

第七章 铣、刨、插、拉加工	177
第一节 铣 床	178
第二节 铣床附件及工件的一般装夹方法	179
第三节 铣刀、铣削用量和铣削方式	182
第四节 铣削方法	186
第五节 刨 削	192
第六节 插 削	197
第七节 拉 削	199
本章小结	201
习题	201
实训	202
实训一 加工 V 形块	202
实训二 刨削定位块	203
第八章 磨 削	205
第一节 磨 具	205
第二节 磨削工艺特点及磨削用量	211
第三节 万能外圆磨床及磨削工艺	212
第四节 平面磨床及磨削工艺	215
第五节 磨削液	217
第六节 磨床液压传动	218
本章小结	219
习题	220
实训	220
实训一 用纵向法磨光轴	220
实训二 平行面的磨削	223
第九章 齿形加工	227
第一节 渐开线齿轮概述	228
第二节 滚齿加工	231
第三节 铣 齿	243

第四节 插 齿.....	245
本章小结.....	247
习题.....	247
实训.....	248
第十章 数控技术与特种加工.....	249
第一节 数控机床和加工中心.....	249
第二节 特种加工.....	253
本章小结.....	258
习题.....	258
实训.....	259
实训一 数控车床的操作	259
实训二 电火花成型加工	263
参考文献.....	265

第一章 金属材料的基本知识

本章要点

- 金属材料的力学性能
- 金属的晶体结构与结晶
- 合金的相结构与相图
- 铁碳合金
- 钢的热处理
- 常用钢材

本章难点

- 金属材料力学性能指标的物理意义与试验方法
- 纯金属的结晶过程
- 二元合金相图
- 钢在加热和冷却时的组织转变
- 钢的分类、牌号和用途

金属材料在现代工农业生产中占有极其重要的地位。人们不仅在机械制造、交通运输、国防与科学技术等部门需要使用大量的金属材料,而且在日常生活用品中也离不开金属材料。随着机械工业朝高速、自动、精密、智能方向迅速发展,在机械产品的设计和制造过程中,所遇到的金属材料及热处理方面的问题日益增多。实践表明,合理选用金属材料,确定适当热处理工艺,妥善安排工艺路线对充分发挥金属材料本身的性能潜力,提高产品零件的质量,节省金属材料,降低生产成本等方面有着重大的影响。

第一节 金属材料的力学性能

金属材料的力学性能是指金属材料抵抗各种外加载荷破坏的能力,是根据材料在载荷作用下所反映出来的变形行为来评定的。外加载荷的性质不同,评定材料力学性能的

指标也不同。常用的力学性能指标有：强度、塑性、硬度、刚度、韧性和疲劳强度等。本节主要讨论各种机械性能指标的宏观物理现象及其测定方法。

一、强度和塑性

金属材料的强度和塑性是通过拉伸试验测定出来的。拉伸试验的方法是将图 1.1 所示的标准试样安装在拉伸试验机上,并对试样施加一个缓慢增加的轴向拉力,随着轴向拉力的增加,试样产生变形。将试验的结果(拉力和变形量)绘制在用绝对伸长量 ΔL 为横坐标,拉力 F 为纵坐标的坐标纸上,就绘制出一条拉力与伸长量的关系曲线。图 1.2 为低碳钢的拉伸曲线。分析拉伸曲线可以看到金属材料受到拉力作用时变形的特点。

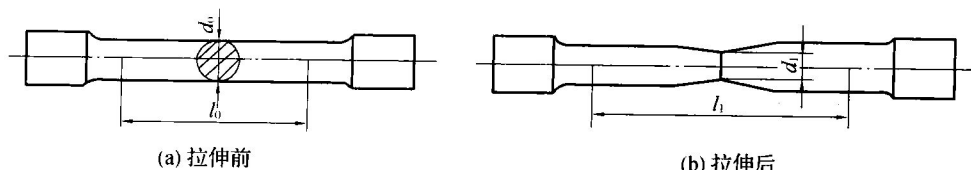


图 1.1 圆形拉伸试样

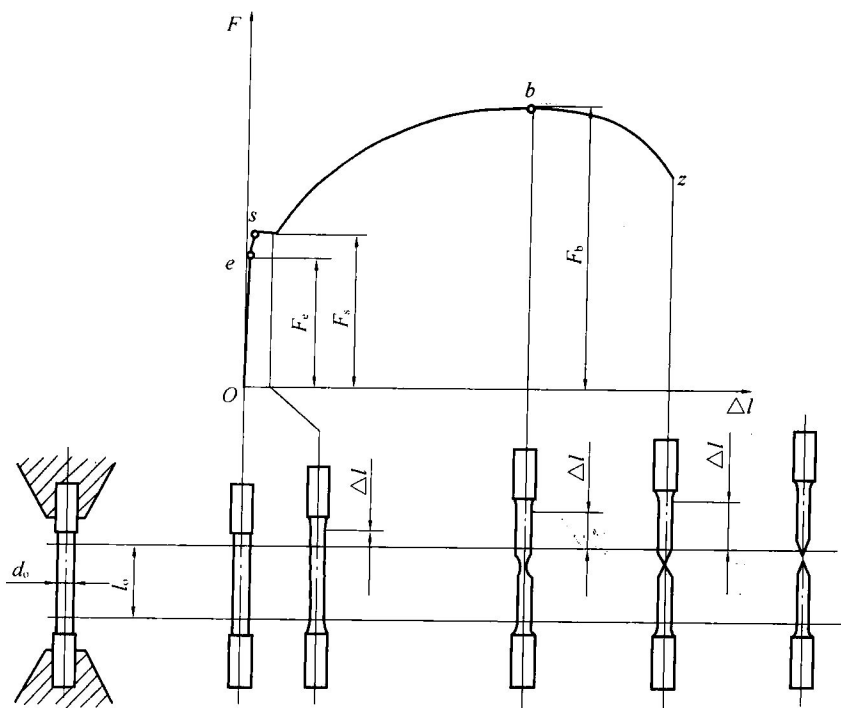


图 1.2 普遍低碳钢的力—伸长曲线

1. 强度

强度是指金属材料在外力下抵抗塑性变形与断裂的能力。

材料在外力作用下会或多或少地产生变形,当所受外力去除后能恢复原来形状的性能,称为弹性。这种随着外力去除而消失的变形称为弹性变形,其大小与外力成正比。从



拉伸曲线上可以看出,拉伸曲线 Oe 段是直线,金属材料处在弹性变形阶段。金属材料在外力作用下产生变形,当外力去除后,试样恢复到原来形状。

金属材料由弹性变形过渡到塑性变形时的应力称为弹性极限,用符号 σ_e 来表示。

$$\sigma_e = \frac{F_e}{S_0}$$

式中: σ_e ——弹性极限,MPa;

F_e ——材料开始塑性变形时所加的拉力,N;

S_0 ——试样原始横截面积,mm²。

当外力大小超过 F_e 时,外力卸载后试样的伸长只能部分恢复。这种不随外力去除而消失的变形称为塑性变形。当外力大小增加到 F_s 时,图上的一段曲线几乎呈水平状态,表示这时外力不增加试样仍将继续发生塑性变形,这种现象称为“屈服”。材料开始产生屈服时的最低应力称为屈服点,用符号 σ_s 来表示。

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0}$$

式中: σ_s ——屈服点,Pa;

F_s ——材料产生明显塑性变形时所加的拉力,N;

S_0 ——试样原始横截面积,mm²。

由于不少金属材料在拉伸试验时没有明显的屈服现象,为了确定各种金属材料的 σ_s 值,国标规定这类材料的屈服点为试样产生的塑性变形量达到试样标距的 0.2% 时材料所承受的应力值,并用符号 $\sigma_{0.2}$ 表示。

当拉力继续增加超过 s 点后,变形量随着外力的增加而急剧增加。当拉力超过 b 点时,变形集中在试样的某一部位上,试样在那个部位上出现缩颈现象,拉伸变形集中在缩颈处。随着拉力的增加,缩颈越来越严重,见图 1.1(b),试样已不能抵抗拉力的作用,而在 z 点(图 1.2)发生断裂。 b 点的拉力是试样在拉断前所能承受的最大载荷,其所对应的应力 σ_b 称为抗拉强度。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0}$$

式中: σ_b ——抗拉强度,MPa;

F_b ——试样拉断前所能承受的最大拉力,N;

S_0 ——试样原始横截面积,mm²。

弹性极限 σ_e 和抗拉强度 σ_b 是金属材料两个重要的指标,也是设计零件的重要依据。因为零件不能在强度超过 σ_e 的条件下工作,否则会引起机件的塑性变形;零件更不能在强度超过 σ_b 的条件下工作,否则会导致机件的破坏。

2. 塑性

塑性是指金属材料在外力作用下,产生永久变形而不被破坏的性能。伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 是拉伸条件下,衡量金属塑性变形能力的性能指标。

(1) 伸长率 伸长率是试样拉断后标距长度的增量与原标距的百分比,用符号 δ 来表示。

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

式中： δ ——试样的伸长率，%；

L_0 ——试样的标距，mm；

L_1 ——试样拉断后的长度，mm。

(2) 断面收缩率 断面收缩率是试样拉断后缩颈处横截面积的最大缩减量与原横截面积的百分比，用符号 ψ 来表示。

$$\psi = \frac{S_0 - S_k}{S_0} \times 100\%$$

式中： ψ ——断面收缩率，%；

S_0 ——试样的初始横截面积，mm²；

S_k ——试样断裂后断口最小的横截面积，mm²。

材料的塑性指标在工程技术中具有重要的实际意义。 δ 和 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。另外，金属材料具有较好的塑性，可以保证不会因超负荷而突然断裂，增加了金属材料使用时的安全感。

二、刚度

材料抵抗弹性变形的能力叫做刚度。刚度的大小由弹性变形范围内应力与应变（单位长度的变形量）的比值，即弹性模数 E 来表示，它相当于引起单位弹性变形时所需要的应力， E 在拉伸图上表现为 Oe 的斜率。 E 越大，就表明在一定的应力作用下产生的弹性变形越小，亦即刚度越大。

一般零件在使用过程中均处于弹性变形状态。对于要求弹性变形小的零件，如柴油机曲轴、镗床的镗杆等零件，应选用刚度大的材料。

三、硬度

硬度是指金属材料抵抗外物压入其表面的能力，也可以说是抵抗局部变形，特别是塑性变形、压痕或划痕的能力。它是材料的重要性能之一。

一般来说，硬度越高的材料，其耐磨性越好。机械制造业所用的刀具、量具、模具等，都应具备足够的硬度，才能保证使用性能和寿命。有些机械零件如齿轮等，也要求有一定的硬度，以保证足够的耐磨性和使用寿命。

硬度试验方法比较简单、迅速，可直接在原材料或零件表面上测试，因此被广泛应用。常用的硬度测量方法是压入法，主要有布氏硬度（HB）、洛氏硬度（HR）和维氏硬度（HV）等。

四、冲击韧性

金属材料抵抗冲击载荷的能力称为冲击韧性，简称韧性。

许多机械零件在工作时要承受冲击载荷，如锻锤的锤头和锤杆、柴油机的曲轴、冲床的冲头等。由于瞬时外力的冲击作用所引起的变形和应力，比静载荷作用下大很多，因

此,对于这些零件如果仍用强度极限这一静载荷作用下的指标来进行设计计算,就不能保证零件工作的安全性,必须依据材料的韧性指标进行设计。

冲击载荷用能量来衡量,所以韧性指标以材料受冲击破坏时单位面积上所消耗的能量来表示。工程通常用金属摆锤(U形缺口)冲击法来测定金属材料的韧性。

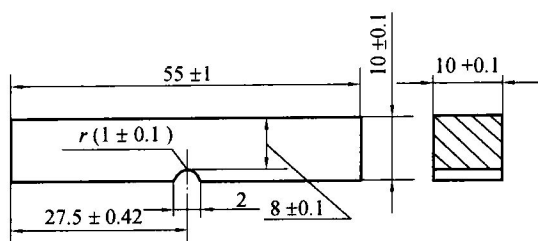


图 1.3 U 形缺口冲击试样

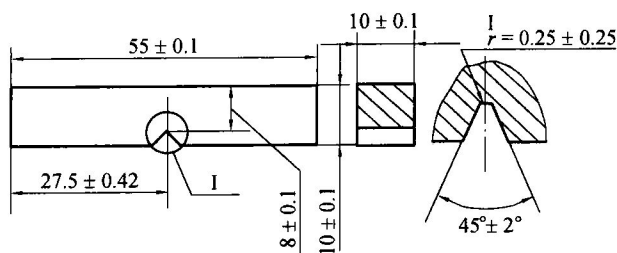


图 1.4 V 形缺口冲击试样

冲击试样的类型很多,常用的标准试样是一个带有 U 形或 V 形缺口的 10mm × 10mm × 55mm 试样,如图 1.3 和图 1.4 所示。

试验时将被测材料按试验标准做成试样,安放在冲击试验机上,如图 1.5 所示。把具有一定重量 G 的摆锤带到高度 H_1 ,此时

摆锤位能为 GH_1 ,然后使其下落,冲击试样,摆锤冲断试样后剩余的能量为 GH_2 ,则击断试样所消耗的冲击功为 $A_{kv} = G(H_1 - H_2)$,冲击功可以直接从试验机的刻度盘上读出。 A_{kv} 除以试样缺口处的截面积 $S(\text{cm}^2)$,即得冲击韧性 a_{kv} :

$$a_{kv} = \frac{A_{kv}}{S} (\text{J}/\text{cm}^2)$$

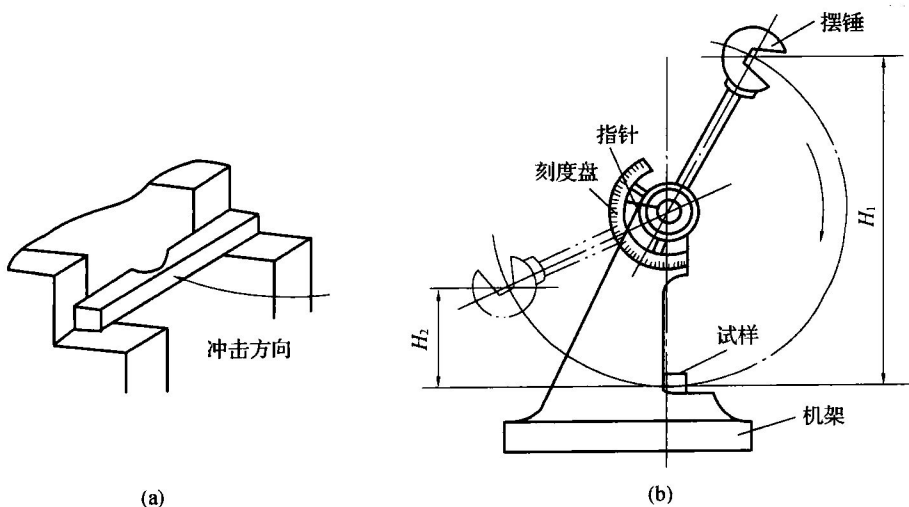


图 1.5 冲击试验示意图

机器零件在冲击载荷作用下,很少受一次大能量冲击而破坏,很多情况下由于小能量多次冲击的损伤积累,引起裂纹的产生和扩展。实践证明,金属材料承受小能量多次重复冲击的能力,主要决定于金属材料的强度,材料的强度高,寿命就长。过分追求高的冲击

值没有必要。

五、疲劳强度

许多机械零件如曲轴、齿轮、轴承、叶片和弹簧等,都是在交变载荷作用下工作的,这种载荷的大小、作用方向随时间作周期性或无规则的变化,在金属材料内部引起的应力也具有反复性和波动性。这种随时间作周期性变化的应力称为交变应力。在交变载荷下,零件受的应力虽然低于其屈服点,但经过长时间的工作会产生裂纹或突然断裂,这种现象称为材料的疲劳。金属抵抗这种疲劳破坏的能力称为疲劳强度。疲劳破坏是机械零件失效的一种主要形式,据统计,在机械零件失效中,大约有 80% 以上是属于疲劳破坏的,而且疲劳破坏事前并无明显征兆,往往表现为突然破坏,所以危害极大。

疲劳强度是在疲劳试验机上测定的。实验证明,金属材料所受交变应力 σ 与其断裂前所能经受的应力循环次数 N 之间有如图 1.6 所示的曲线关系,这条曲线称为疲劳曲线。曲线表明,金属承受的交变应力 σ 越低,则断裂前应力循环次数越大。当应力低于一定值时,疲劳曲线变成与横坐标平行的直线。这一现象表明当应力低于此值时,试样可经受无限次周期循环而不破坏,此应力值称为材料的疲劳强度,用 σ_r 表示。对于对称循环应力(如图 1.7)的疲劳强度用 σ_{-1} 表示。实际上,材料不可能做无限次交变应力试验。对于黑色金属一般规定应力循环 10^7 周次而不破坏的最大应力为此种材料的疲劳强度,对于有色金属、不锈钢等通常规定应力循环次数为 10^8 周次。

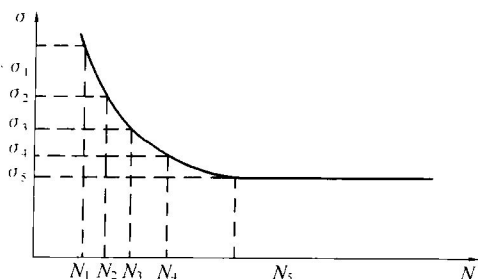


图 1.6 疲劳曲线示意图

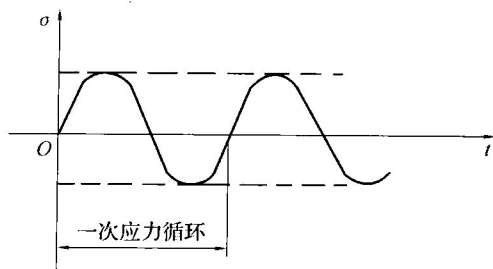


图 1.7 对称循环应力图

机械零件之所以产生疲劳破坏,是由于材料表面或内部有缺陷(如夹杂、划痕、尖角等)。这些地方的局部应力大于屈服点,从而产生局部塑性变形而开裂。这些微裂随应力循环次数的增加而逐渐扩展,使承载的截面积大大减小,以致不能承受加载而突然破坏。为了提高零件的疲劳强度,除通过合理选材,细化晶粒,减少材料和零件的缺陷,改善零件的结构设计,避免应力集中,减小零件表面粗糙度等方法外,还可以采取表面强化的方法,如为提高零件的表面质量,对零件表面进行喷丸处理、表面淬火、渗、镀工艺等。

第二节 金属的晶体结构与结晶

不同的金属材料具有不同的力学性能,即使是同一种金属材料,在不同的条件下其性

能也是不同的。金属性能的这些差异,从本质上来说,是由其内部结构所决定的。因此,掌握金属的内部结构及其对金属性能的影响,对于选用和加工金属材料,具有非常重要的意义。

固态物质,根据其原子的聚集状态的不同分为晶体和非晶体两大类。所谓晶体是其原子按一定的几何规律作有规则的排列而形成的聚集状态,如食盐、金刚石和石墨,金属和合金在固态时一般是晶体。非晶体则是其原子无规则地堆积在一起形成的无序的聚集状态,如普通玻璃、石蜡和松香等。

一、纯金属的晶体结构

1. 晶体结构的概念

(1) 晶格和晶胞 晶体内部原子是按一定的几何规律排列的。为了便于理解,把金属中的原子近似地看成是刚性小球,则金属晶体就可看成是由刚性小球按一定几何规则紧密堆积而成的物体,如图 1.8 所示。

为了形象地描述晶体中原子排列的情况,可以将原子简化成一个点,用假想的线将这些点连接起来,构成有明显规律性的空间格架。这种表示原子在晶体中排列规律的空间格架称为晶格,如图 1.9(a) 所示。

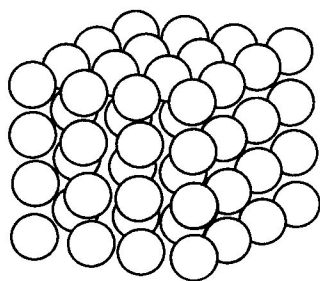


图 1.8 晶体内部原子排列示意图

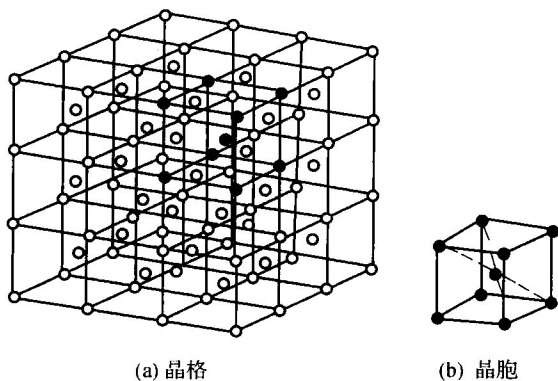


图 1.9 晶格和晶胞示意图

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 1.9(b) 所示。

(2) 晶格常数 不同元素的原子半径大小不同,在组成晶胞后,晶胞大小是不相同的,晶胞的大小和形状可

用晶胞的棱边长度 a, b, c 及棱边夹角 α, β, γ 表示,如图 1.10 所示。晶胞的棱边长度称为晶格常数。对于立方晶格来说,晶胞的三个方向上的边长是相等的 ($a = b = c$),用一个晶格常数 a 表示即可。晶格常数的单位为 $\text{\AA}$ (埃, $1\text{\AA} = 10^{-10}\text{m}$)。

(3) 晶面和晶向 在晶体中由一系列原子组成的平面,称为晶面。图 1.11 所示为简单立方晶格的一些晶面。

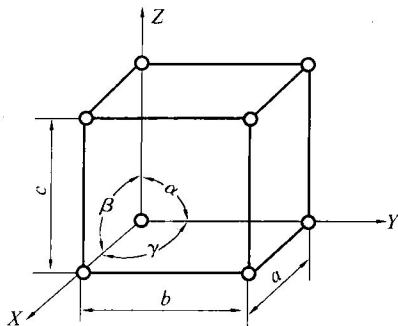


图 1.10 简单立方晶格的晶胞表示方法