

▲ 高等学校教材

● 金属 工艺学

(机械类各专业用)

▲ 钱增新 陈全明 主编



高等教育出版社

本书是根据原教育部全属工艺学教材编审小组 1984 年 4 月审订的“金属工艺学教学大纲(机械类)补充说明”的基本要求编写的,并经金属工艺学课程教学指导小组审查通过,推荐出版。

本书共分六章,包括金属材料性质、铸造、压力加工、焊接、金属切削加工和典型零件的工艺过程。使用本书时,可结合各校和专业的具体情况,进行必要的调整或增删,有的内容可供学生自学。

本书具有如下特点

- 1 加强基本原理,使学生加深对工艺实质和特点的理解,应用实例分析比较,以培养学生分析和解决问题的能力。
- 2 力求做到讲授与学习内容合理分工和配合,注意避免简单重复,并在实习的基础上总结、提高。
- 3 对教材体系作了局部调整,如砂型铸造和自由锻造等基本工艺围绕工艺规程的制订组织内容,切削加工方法按常用表面加工进行叙述,对典型零件工艺过程进行分析,以加强课程的横向联系,体现综合性特点,充实了一些内容,如简要介绍成组工艺和计算机辅助工艺过程设计等。此外,更新和改进了大部分插图,采用新的国家标准。

本书可作为高等院校机械类各专业的教材,也可供有关技术人员参考。

高等学校教材

金 属 工 艺 学

(机械类各专业用)

钱增新 陈全明 主编

*

高等教育出版社出版

新华书店上海发行所发行

上海中华印刷厂印装

*

开本 787×1092 1/16 印张 19.5 字数 441,000

1987 年 4 月第 1 版 1987 年 5 月第 1 次印刷

印数 0,001—3,800

书号 15010 0847 定价 2.90 元

前 言

本书是根据原教育部金属工艺学教材编审小组 1984 年 4 月审订的“金属工艺学教学大纲(机械类)补充说明”的基本要求编写的。本书可作为高等工科院校机械类各专业的教材,也可供有关技术人员参考。

本书共有六章,包括金属材料性质、铸造、压力加工、焊接、金属切削加工和典型零件的工艺过程。使用本书时,可结合各校和专业的具体情况,进行必要的调整或增删,有的内容可供学生自学。

本书在以下几个方面作了一定努力和考虑:

1. 加强基本原理,使学生加深对工艺实质和特点的理解;应用实例分析比较,以培养学生分析和解决问题的能力。

2. 力求做到讲授与实习内容的合理分工和配合,注意避免简单重复,并在实习的基础上总结、提高。

3. 对教材体系作了局部调整,如砂型铸造和自由锻造等基本工艺围绕工艺规程的制订组织内容;切削加工方法按常用表面加工进行综述,以突出重点和实用性;对典型零件工艺过程进行分析,以加强课程的横向联系,体现综合性特点;充实了一些新内容,如简要介绍成组工艺和计算机辅助工艺过程设计等。

4. 更新和改进了大部分插图。表面粗糙度、尺寸精度和硬度等计量单位,均采用新的国家标准。

此外,考虑到《金属工艺学习题集》业已出版,故本书未编入复习题和作业题,以便师生在教学中有更多的选择余地。

参加本书编写工作的有:孙鼎伦、钱增新、陈全明、毕振扬、叶士良、仲正华。此外,黄锦康、李金伯、孙玉华参加了编务工作。吕水娥、段云海描绘插图。本书由钱增新、陈全明主编。

本书承南京工学院冯铁强、浙江大学黄振源和上海交通大学孙以安、华中工学院徐鸿本分别担任热加工部分和冷加工部分的审稿工作。经 1985 年 11 月在上海召开的金属工艺学课程教学指导小组扩大会议审查通过。在编写过程中,得到许多兄弟院校、科研单位和工厂的帮助和指导,在此一并致谢。

由于编者水平有限,加之编写时间紧促,书中定有不少缺点和错误,恳请使用本书的教师和读者批评指正。

编 者

1986 年 3 月于同济大学

目 录

绪论	1	三、铸造工艺的制订	56
第一章 金属材料性质	3	§2-3 钢和有色合金的铸造特点	64
§1-1 金属材料的机械性能	3	一、钢的铸造特点	64
一、强度、刚度和塑性	3	二、有色合金的铸造特点	66
二、硬度	6	§2-4 特种铸造	68
三、冲击韧性	7	一、改革砂型铸造的途径	68
四、疲劳强度	8	二、常用的特种铸造方法	69
§1-2 金属的晶体构造与结晶	9	三、铸造方法的选择	76
一、金属的晶体构造	9	§2-5 铸件结构工艺性	78
二、金属的结晶	11	一、铸件的外形设计	79
§1-3 铁碳合金状态图	13	二、铸件的内腔设计	81
一、纯铁的同素异晶转变	13	三、铸件壁及其连接设计	83
二、铁碳合金的基本组织	14	第三章 压力加工	87
三、铁碳合金状态图的建立	16	§3-1 压力加工基本原理	88
四、铁碳合金状态图的分析	18	一、金属的塑性变形	88
五、铁碳合金状态图的应用	21	二、金属的可锻性	93
§1-4 钢的热处理	22	三、金属的变形规律	96
一、退火和正火	23	§3-2 自由锻造	96
二、淬火及回火	24	一、自由锻造设备	97
三、表面热处理	25	二、自由锻造工艺规程的制订	99
§1-5 常用金属材料	26	三、自由锻件的结构工艺性	103
一、钢	26	§3-3 模型锻造	105
二、铸铁	29	一、锤上模锻	105
三、有色金属	33	二、压力机上模锻的特点及应用	110
四、金属材料的选择和应用举例	35	三、胎模锻造	114
第二章 铸造	39	四、模锻件的结构工艺性	115
§2-1 铸造基本原理	40	五、锻造工艺方案的比较简介	116
一、铸型的充填	40	§3-4 板料冲压	117
二、铸件的收缩	42	一、板料冲压的基本工序	117
三、合金的偏析和吸气性简介	48	二、其它成形工艺	121
§2-2 砂型铸造工艺	48	三、板料冲压工艺实例	122
一、手工造型方法的选择	49	四、冲压件的结构工艺性	124
二、机器造型	51	§3-5 少无切削锻压工艺简介	125

一、特种锻造	125	§5-3 工件的定位和夹具概念	200
二、挤压	127	一、定位、夹紧和安装	200
三、零件的轧制	130	二、工件定位的六点定则	200
第四章 焊接	132	三、基准及其选择	202
§4-1 常用的焊接方法	133	四、夹具概念	204
一、手工电弧焊	133	§5-4 常用表面加工综述	205
二、气焊的特点及应用范围	138	一、外圆面加工	205
三、其它焊接方法简介	139	二、孔加工	216
四、焊接方法的选择	147	三、平面加工	226
§4-2 焊接质量及其控制	149	四、螺纹加工	231
一、焊接温度场概念	149	五、成形表面加工	236
二、焊接接头的组织和性能变化	151	§5-5 圆柱齿轮齿形加工	239
三、焊接应力和变形	152	一、圆柱齿轮传动的使用要求及精度等 级	239
四、焊接质量检验	157	二、圆柱齿轮齿形加工	240
§4-3 常用金属的焊接特点	159	三、齿形精加工概念	248
一、可焊性概念	159	四、圆柱齿轮齿形加工方法的选择	251
二、钢的焊接特点	159	§5-6 特种加工	251
三、铸铁的焊接特点	161	一、电火花加工	251
四、有色金属的焊接特点	163	二、电解加工	255
§4-4 焊接结构工艺性	164	三、超声波加工	257
一、焊缝位置应便于操作	165	四、激光加工	259
二、焊缝布置应有利于减少焊接应力和 变形	165	§5-7 切削加工零件的结构工艺性	261
三、焊缝布置应考虑焊接结构的受力情 况	167	一、合理地确定零件精度及表面粗糙度	261
四、焊缝位置与加工面的关系	168	二、正确标注尺寸	262
第五章 金属切削加工	169	三、零件结构应便于加工	263
§5-1 金属切削加工的基本知识	169	第六章 典型零件的工艺过程	270
一、切削运动和切削要素	169	§6-1 工艺过程的基本知识	270
二、刀具材料及几何形状	172	一、生产过程和工艺过程	270
三、金属切削过程的物理现象	180	二、机械加工工艺过程的组成	270
四、切削用量的选择	187	三、生产类型	271
五、工件材料的切削加工性概念	187	§6-2 毛坯的选择	272
§5-2 金属切削机床的基本知识	189	§6-3 机械加工工艺过程的制订	273
一、机床的常用传动机构	189	一、定位基准的选择	274
二、普通车床的传动系统	191	二、工艺路线的拟定	274
三、磨床的液压传动系统简介	194	三、加工余量的确定	275
四、组合机床和数控机床简介	195	§6-4 零件的工艺过程实例	276
		一、轴类零件	276

二、盘类零件	281
三、箱体类零件	284
§6-5 提高机械加工劳动生产率的 途径	289

§6-6 成组工艺和计算机辅助工艺 过程设计简介	291
一、成组工艺	292
二、计算机辅助工艺过程设计	298

绪 论

金属工艺学是研究机械零件制造工艺的综合性技术学科。它是高等工科院校多数专业必修的一门技术基础课。

在机械制造过程中,通常先将金属材料用铸造、压力加工或焊接等方法制成毛坯,再经切削加工得到所需的零件。为了改善材料和零件的性能,常要进行热处理。最后,将零件装配成机器。

金属工艺学是在总结劳动人民长期实践的基础上发展起来的。我国古代在金属加工工艺方面的成就极其辉煌,以1980年12月从秦始皇陵陪葬坑出土的两乘大型彩绘铜车马为例,每乘各有一车四马,由一名御官俑驾驭,其材料以青铜为主,并配有金银饰品,大小约为真实车、马、人的二分之一。其中已修复的二号铜车马(图0-1),结构精致,形态逼真,由三千多个零部件组成,综合采用了铸造、焊接、凿削、研磨、抛光以及各种联接等工艺。虽然在地下埋藏两千余年,链条仍非常灵活,窗门启闭自如,转动轮轴即可行走。铜车马制作的精湛技艺,集中反映了我国劳动人民在金属工艺方面的巨大贡献,为人类古代文明的宝库增添了异彩。

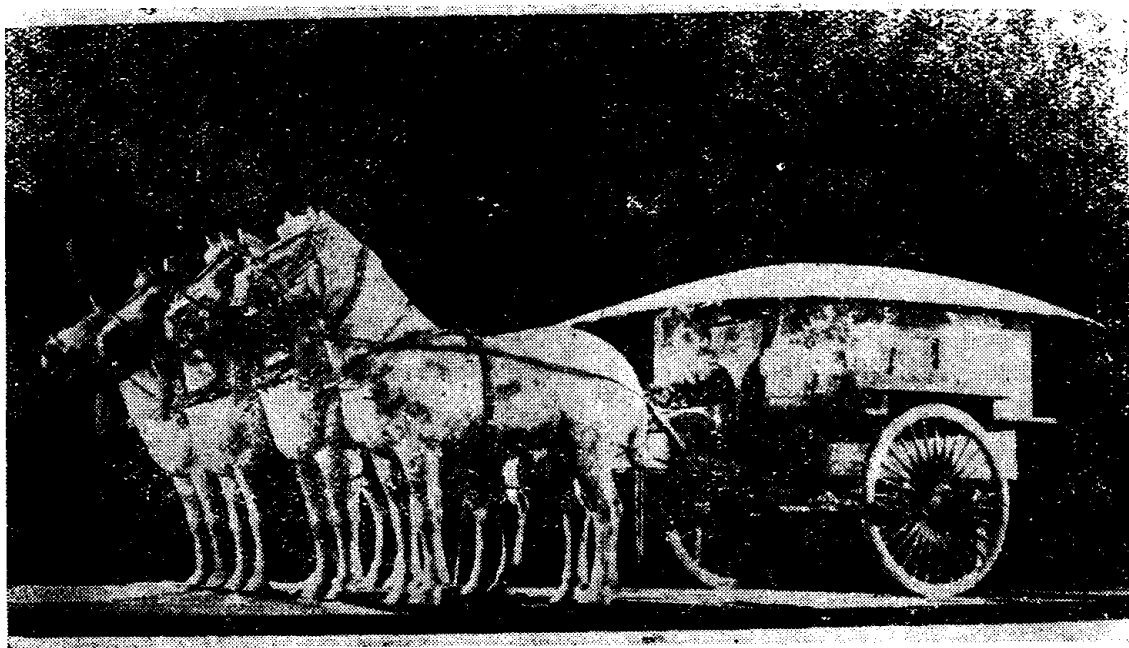


图 0-1 秦代铜车马

可是,由于封建社会制度的长期统治,特别是解放前近百年帝国主义的侵略和反动派统治,阻碍了生产力的发展,使我国科学技术处于停滞落后状态。

新中国成立后,我国机械工业取得了很大的发展和成绩,经历了由仿制到自行设计,从生产普通机械到制造精密和大型机械、从生产单机到制造成套设备的发展过程。例如,五十年代,自行制造汽车、拖拉机及飞机;六十年代制造万吨水压机和精密机床(如齿轮磨床、坐标镗

床等);七十年代,发展大型成套设备和万吨级远洋巨轮;八十年代,为我国航天工业、原子能工业提供技术装备,研制成功加工计算机硬磁盘的高精度机床等。目前,我国已形成了产品门类基本齐全、分布比较合理的机械工业体系。机械产品不仅装备了国内各个生产部门,而且开始进入国际市场。然而,与工业发达的国家相比,我国机械工业在产品质量、生产能力、技术水平、经济效益和管理水平等方面,还存在较大差距,不能适应国民经济发展的需要。因此,机械工业必须加快自身科学技术的发展,尤其应重视制造工艺技术的研究。

本课程的目的和任务是:了解常用金属材料的性能和零件加工工艺的基础知识,为学习其它有关课程和今后从事机械设计与制造方面的工作奠定必要的工艺基础。学生在学完本课程后,应达到以下基本要求:

- (1) 了解常用金属材料的性质、应用范围和选择原则;
- (2) 掌握各种主要加工方法的基本原理、工艺特点和设备,具有合理选择毛坯和零件加工方法的能力;
- (3) 初步掌握零件的结构工艺性。

本课程的实践性很强,必须在金工教学实习获得感性认识的基础上进行课堂教学,才能收到预期的效果。在教学过程中,应加强理论联系实际。课程中有些工艺知识,特别如结构工艺性等内容,尚需在有关后继课和课程设计、毕业设计中反复练习、提高,才能较好地掌握和应用。

第一章 金属材料性质

金属是制造机器的基本材料。为了合理选用金属材料,并把它加工成零件,必须掌握金属材料的使用性能和工艺性能。使用性能是指材料适应工作条件所必须具备的性能,包括机械性能、物理性能(如比重、熔点、导热性、导电性等)和化学性能(如耐蚀性、耐热性等)。工艺性能是指材料在加工过程中所表现的性能,包括铸造性能、可锻性、可焊性和切削加工性等。

金属材料包括纯金属和合金两大类。合金是在一种金属元素基础上,加入其它元素,组成具有金属特性的新材料。例如,钢铁是以铁为基础的铁碳合金,黄铜是以铜为基础的铜锌合金等。合金往往比纯金属具有更好的机械性能和工艺性能,成本较低,故制造机械零件大都采用合金,很少采用纯金属。

本章以介绍常用的钢铁材料为主,研究其性能、成分和组织三者的关系和变化规律,为学习本课程的铸造、压力加工、焊接和切削加工等部分准备必要的材料基础知识。

§1-1 金属材料的机械性能

机械零件在使用过程中,往往受到各种外力的作用。金属材料在外力作用时反映出来的性能,称为机械性能(又称力学性能)。它是设计零件时选择材料的重要依据。

金属材料的机械性能主要有强度、刚度、塑性、硬度、冲击韧性和疲劳强度等。

一、强度、刚度和塑性

材料的强度、刚度和塑性指标可以通过拉伸试验加以测定。

拉伸试验是在拉伸试验机上进行的。试验前,先将金属材料制成标准拉伸试样,如图 1-1 所示。图中 d_0 为试样直径, l_0 为测定试样伸长用的标距长度。

试验时,把试样夹持在拉伸试验机的两个夹头上,缓慢加载,随着载荷的不断增加,试样不断被拉长,直到拉断为止。图 1-2 所示为用低碳钢试样做拉伸试验时测得的拉力(F)和伸长量(Δl)的关系曲线,称为低碳钢拉伸曲线。

从图可知,在开始的 oe 阶段,试样的伸长量随拉力成正比例增长。若去除外力后,试样恢复原状,这种变形称为弹性变形。超过 e 点后,若去除外力,试样不能完全恢复原状,尚有一部分伸长量被保留下来。这种在外力消除后仍存在的永久变形,称为塑性变形。当外力增加到 F_s 时,拉伸曲线在 s 点后出现水平线段,即表示外力不增加,试样继续伸长,这种现象称为屈服。屈服现象过后,试样又随外力增加而逐渐伸长。在拉伸曲线 b 点,外力为 F_b ,试样出现局



图 1-1 标准拉伸试样

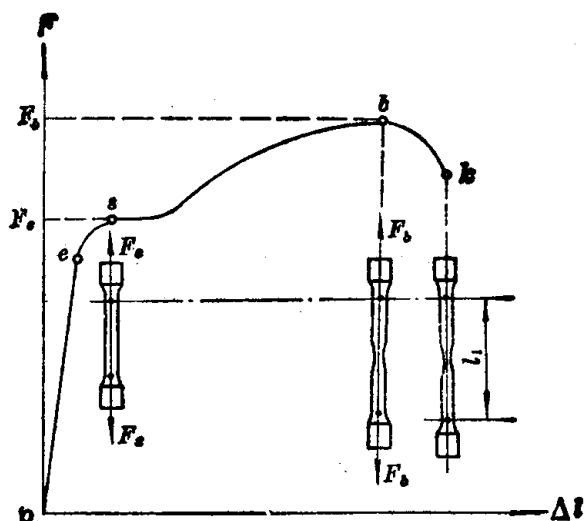


图 1-2 低碳钢拉伸曲线

部变细的缩颈现象。由于试样横截面缩小,所需外力开始下降,变形主要集中于颈部。当达到 k 点时,试样在缩颈处断裂。因此,试样在整个拉伸过程中,先后经历了弹性变形、弹—塑性变形和断裂三个阶段。

(一)强度

强度是金属材料在外力作用下,抵抗塑性变形和断裂的能力。

当材料受外力作用而未引起破坏时,其内部产生与外力相平衡的内力。单位面积上的内力,称为应力。强度的高、低是以材料所能承受的应力数值大小来表示的。常用的强度指标有屈服强度和抗拉强度。

1. 屈服强度

屈服强度是材料产生屈服现象时的应力,用符号 σ_s 表示。

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

式中 F_s ——试样产生屈服现象时的拉力(N);

A_0 ——试样原来的横截面积(mm^2)。

由于许多金属材料(如铸铁、高碳钢等)没有明显的屈服现象,很难测定 σ_s 。因此,工程上

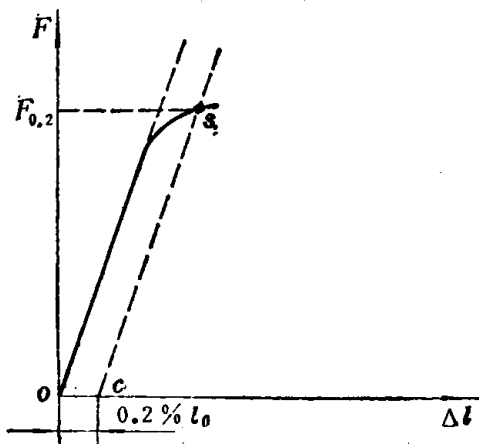


图 1-3 条件屈服强度的测定

规定产生 0.2% 的塑性变形时的应力,称为该材料的条件屈服强度,用 $\sigma_{0.2}$ 表示。 $\sigma_{0.2}$ 的确定方法如图 1-3 所示:在拉伸曲线横坐标上截取 c 点,使 $oc = 0.2\% l_0$,过 c 点作斜线的平行线,交曲线于 s 点,则可找出相应的拉力 $F_{0.2}$,从而计算出 $\sigma_{0.2}$ 。

2. 抗拉强度

抗拉强度是材料在断裂前所能承受的最大应力,用符号 σ_b 表示。

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

式中 F_b ——试样在断裂前的最大拉力(N);

A_0 ——试样原来的横截面积(mm^2)。

σ_s 和 σ_b 是选用金属材料所依据的重要强度指标。究竟采用 σ_s 还是 σ_b 作设计时的强度指标,需视零件的工作要求而定。若只要求零件在使用时不断裂,如钢丝绳等,则以材料的 σ_b 来计算强度;若零件在使用时,不允许产生塑性变形,如内燃机气缸盖螺栓等,则以材料的 σ_s 来计算强度。

(二)刚度

刚度是金属材料抵抗弹性变形的能力。一般的机械零件大都在弹性状态下工作,对刚度有一定要求,如起重机臂架、机床床身、精密机床主轴等,在使用时不允许产生过大的弹性变形。

材料在弹性范围内,应力 σ 和应变 ε (指单位长度的变形量)成正比关系,比例常数称为弹性模数 E ,其物理意义为引起单位变形时所需的应力。工程上常用 E 作为衡量材料刚度的指标。

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F/A_0}{\Delta l/l_0} = \frac{Fl_0}{\Delta l A_0} \quad (\text{MPa})$$

式中 Δl ——试样在弹性范围内的变形量(mm);

F ——试样所受拉力(N);

l_0 ——试样原标距长度(mm);

A_0 ——试样原横截面积(mm^2)。

从上式可知,当 F 、 l_0 和 A_0 一定时, E 与 Δl 成反比,即弹性模数愈大,在一定应力作用下产生的弹性变形愈小,则刚度愈大。

弹性模数(E)主要决定于金属的本身性质,与晶格类型和原子间距有关,而与强化金属的手段(如热处理,合金化,冷变形等)无关。对钢来说,在室温时, E 在 $1.9 \times 10^5 \sim 2.2 \times 10^7 \text{ MPa}$ 范围内。 E 随温度升高而逐渐降低。

提高零件刚度的主要途径有两个:一是改变零件的结构形式(如采用加强筋等)和增加横截面积;二是选择具有较大弹性模数的材料。

(三)塑性

塑性是金属材料在外力作用下,产生永久变形而不破坏的性能。

常用的塑性指标有延伸率(δ)和断面收缩率(ψ):

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\%$$

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%$$

式中 l_0 ——试样原标距长度(mm);

l_1 ——试样拉断后标距长度(mm);

A_0 ——试样原横截面积(mm^2);

A_1 ——试样断裂处的横截面积(mm^2)。

δ 的大小与试样的尺寸因素有关。用长试样($l_0=10d_0$)测得的延伸率用 δ_{10} 表示, 通常写成 δ ; 用短试样($l_0=5d_0$)测得的延伸率用 δ_5 表示。对于同一材料用短试样测得的延伸率大于长试样的延伸率, 即 $\delta_5>\delta_{10}$ 。因此, 在比较不同材料的延伸率时, 应采用同样尺寸规格的试样。而 ψ 与试样的尺寸因素无关。对于材料质量引起的塑性改变, ψ 比 δ 反应敏感。例如, 在大型锻件表面和内部分别取样, 往往 ψ 相差悬殊, 而 δ 变化不大。所以, ψ 能更可靠地代表金属材料的塑性。

金属材料的塑性好坏, 对零件的加工和使用都具有重要的实际意义。塑性好的材料不仅能顺利地进行锻压、轧制等成型工艺, 而且在使用时万一超载, 由于产生塑性变形, 能避免突然断裂。所以, 大多数机械零件除要求具有较高强度外, 还必须有一定的塑性。一般 δ 达 5% 或 ψ 达 10%, 已能满足零件的使用要求。过高地追求塑性指标, 会降低材料的强度, 是不恰当的。

二、硬 度

硬度是金属材料抵抗更硬物体压入的能力, 也表示抵抗局部塑性变形的能力。

硬度测定常用压入法: 把一定的压头压入金属材料表面层, 然后根据压痕的面积或深度, 测定其硬度值。根据压头和压力的不同, 常用的硬度指标有布氏硬度(HBS 或 HBW)和洛氏硬度(HRC)。

(一)布氏硬度(HBS 或 HBW)

布氏硬度试验原理如图 1-4 所示: 用直径为 D 的淬火钢球或硬质合金球, 以相应的试验力 F 压入试样表面, 经规定的保持时间后, 卸除试验力, 测量试样表面的压痕直径 d 。布氏硬度值是试验力除以压痕球形表面积($A_{\text{球}}$)所得的商,

$$\text{布氏硬度} = \frac{F}{A_{\text{球}}} = \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})},$$

单位为 kgf/mm^2 , 一般只标其数值而不注明单位。根据国家标准 (GB 231—84) 规定: 硬度值写在布氏硬度符号前。当压头用淬火钢球时, 符号为 HBS; 压头用硬质合金球时, 符号为 HBW。

布氏硬度试验的测量误差小, 测定的硬度值准确、稳定。但淬火钢球压头测量硬材料时容

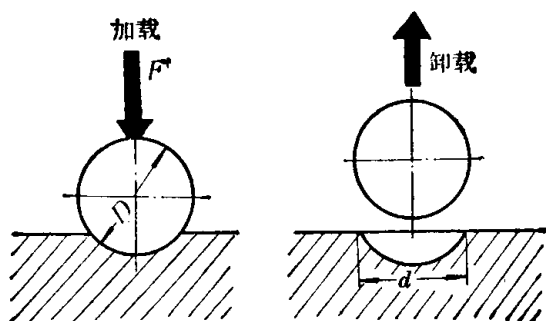


图 1-4 布氏硬度试验原理图

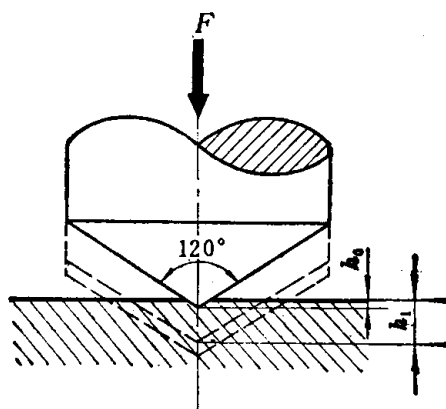


图 1-5 洛氏硬度试验原理图

易变形,故只能测定 $HBS < 450$ 的金属材料,如灰铸铁,有色金属及经过退火、正火和调质处理的钢材等。为避免压头变形,可用硬质合金球压头测定,适用于 $HBW < 650$ 的金属材料。当布氏硬度值超过 350 时,用淬火钢球和硬质合金球测定同样的金属材料,其试验结果将明显不同。

(二)洛氏硬度(HRC)

洛氏硬度(HRC)试验原理如图 1-5 所示:先预加初载荷 10 kgf,将顶角为 120° 的圆锥形金刚石压头紧密接触试样表面,并压入深度 h_0 ,再加上 140 kgf 的主载荷(与初载荷一共为 150 kgf),经规定的保持时间后,卸去主载荷,待材料回弹少许,此时的压入深度为 h_1 ,就以 $(h_1 - h_0)$ 来衡量硬度值。 $(h_1 - h_0)$ 愈大,则硬度值愈低。

洛氏硬度(HRC)和布氏硬度(HBS)在数值上有以下近似关系:

$$HRC \approx \frac{1}{10} HBS$$

与布氏硬度比较,洛氏硬度试验操作简单迅速,可直接读数,但由于压痕小,测量误差稍大,通常需要在不同部位测量数次,取其平均值。洛氏硬度(HRC)试验适用于测定淬火钢等较硬材料的硬度值。

硬度试验设备简单,操作方便迅速,又不损坏零件,而且硬度和强度间有一定关系(如对低碳钢 $\sigma_b \approx 3.6 HBS$ 等),故在零件的技术条件中常标注硬度要求。

三、冲击韧性

前面讨论的都是在静载荷作用下的机械性能指标。但是,有些机械零件(如冲床冲头、起重机吊钩、汽车变速齿轮等)在工作过程中,往往受冲击载荷的作用,从而引起比静载荷大得多的应力和变形,因此必须考虑材料的冲击韧性,把冲击韧性值作为设计时的一项重要参考性指标。

冲击韧性是金属材料抵抗冲击载荷的能力。为了确定材料的冲击韧性值,必须进行冲击试验。

(一)摆锤式一次冲击试验

首先按照国家标准 GB 229—63 的规定,将金属材料制成如图 1-6 所示的带缺口冲击试样。其次把试样安放在冲击试验机的机架上,使试样的缺口位于两支座中间,并背向摆锤的冲

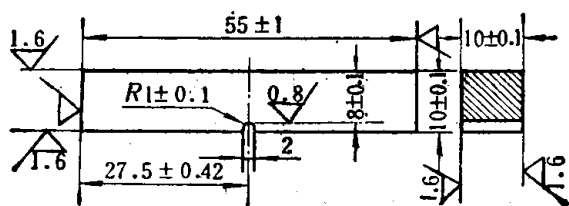


图 1-6 带缺口的冲击试样

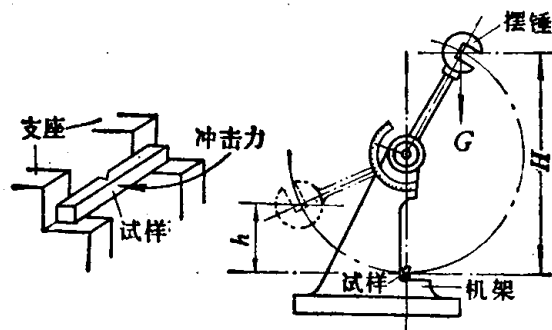


图 1-7 摆锤式一次冲击试验原理示意图

击方向,如图 1-7 所示。然后,把摆锤从一定高度落下,将试样冲断。冲断试样时,在试样横截面的单位面积上所消耗的功,称为冲击韧性值,用符号 a_K 表示。

$$a_K = \frac{A_K}{A} = \frac{G(H-h)}{A} \quad (\text{J/cm}^2)$$

式中 A_K ——冲断试样所消耗的功(J);
 G ——摆锤重量(N);
 H ——冲断前摆锤的高度(m);
 h ——冲断后摆锤的高度(m);
 A ——试样缺口处的横截面积(cm^2)。

(二)多次冲击试验

实际上,在冲击载荷下工作的机械零件,很少受大能量的一次冲击,往往是经受小能量的多次冲击,冲击损伤的积累,引起裂缝扩展而造成断裂,故用 a_K 值来反映冲击韧性有一定的局限性。例如,目前广泛采用的球墨铸铁曲轴,其 a_K 值只有 $12 \sim 15 \text{ J/cm}^2$,但使用情况良好。所以,在小能量、多次冲击工作条件下的零件,应进行多次冲击试验,以测定其多次冲击抗力指标。

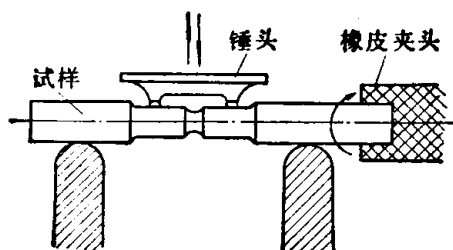


图 1-8 多次冲击弯曲试验示意图

图 1-8 为多次冲击弯曲试验示意图。将试样放在试验机上,使之受到锤头的小能量多次冲击。冲击频率为 450 周次/分和 600 周次/分,冲击能量为 $10 \sim 150 \text{ J}$ (依靠改变冲击行程长度来调节)。多次冲击抗力指标,一般用某冲击能量下的冲断周次 N ,或用要求的冲击工作寿命时的冲断能量 A 来表示。

研究结果表明:多次冲击抗力是取决于材料强度和塑性的综合性指标。当冲击能量大时,材料的多次冲击抗力主要决定于塑性;冲击能量小时,则主要决定于强度。

四、疲劳强度

许多机械零件,如机床主轴、齿轮、弹簧等,是在交变应力作用下工作的。所谓交变应力,是指应力的方向、大小、方向随时间作周期性的变化。例如,轴类零件在旋转时,其表面反复经受拉和压,属于对称循环交变应力,如图 1-9 所示。虽然零件中的交变应力数值低于材料的屈服强度,但在长时间运转后也会发生断裂,这种现象称为疲劳断裂。疲劳断裂是突然发生的,常常造成严重事故,必须引起足够重视。

通过疲劳试验,可以测得材料所受的交变应力 σ 与其断裂前应力循环次数 N 的关系曲线,称为疲劳曲线(图 1-10)。从曲线可知:应力愈低,则在断裂前能够承受的循环次数愈多;当应力降低到某一数值时,疲劳曲线与横坐标平行,即表示材料可经受无数次应力循环而不发生疲劳断裂。工程上规定,材料经受相当循环次数(对钢铁 $N=10^7$ 次,对有色金属 $N=10^8$ 次)不发生断裂的最大应力,称为疲劳强度。对称循环交变应力的疲劳强度,用 σ_{-1} 表示。经测

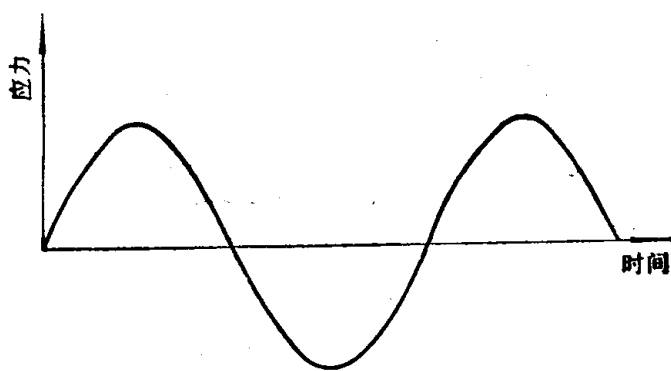


图 1-9 对称循环交变应力

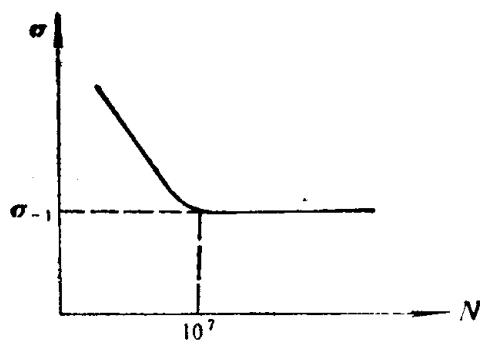


图 1-10 钢铁材料的疲劳曲线

定, 钢材的 σ_{-1} 只有 σ_b 的 50% 左右。

产生疲劳断裂的原因, 一般认为是由于材料内部的缺陷(如夹杂物、气孔等)及材料在加工时留下的刀痕等引起应力集中, 开始时产生微裂纹, 再在交变应力作用下逐渐扩展, 最后突然断裂。

提高机械零件的疲劳强度措施, 一方面应合理设计零件的结构形状, 以避免应力集中; 另一方面在加工时要减小表面粗糙度值和采用表面强化工艺, 如表面淬火、化学热处理、滚压、喷丸处理等, 这些方法不仅直接提高了表面层的强度, 而且使表面层产生残余压应力, 阻碍裂纹的产生和扩展, 对提高疲劳强度有良好的效果。

§1-2 金属的晶体构造与结晶

不同材料在外力作用下会表现出不同的机械性能, 如低碳钢比高碳钢具有较好的塑性、韧性, 但硬度却低得多。即使是化学成分相同的材料, 采用不同的加工工艺或热处理, 也会使性能产生明显的差异, 其根本原因是改变了金属的内部结构。因此, 只有从研究金属的内部结构着手, 才能掌握金属材料性能变化的规律。

一、金属的晶体构造

(一) 晶体的概念

固态物质按其原子排列的特征, 可分为非晶体和晶体两种。非晶体的原子呈无规则的排列, 如塑料、玻璃、松香等。凡原子按规则排列的固态物质, 称为晶体, 如食盐、石墨和所有固态金属及其合金等。晶体的特性是有固定的熔点, 如铁的熔点为 1538°C , 铜为 1083°C , 而且晶体的性能随着原子的排列方位而改变, 即具有各向异性。

晶体中原子的排列可用X射线分析等方法加以测定。晶体中最简单的原子排列情况, 如图 1-11 a) 所示。

(二) 晶体结构的表示方法

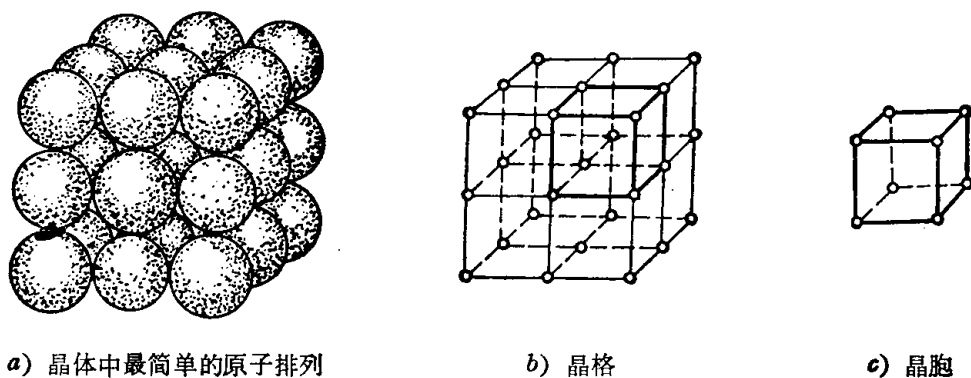


图 1-11 晶体结构示意图

1. 晶格

为了便于描述晶体中原子排列的规律,把每个原子看成一个点,把这些点用假想的线条连接起来,便形成一个空间格子,称为晶格,如图 1-11 b)所示。晶格中的每个点称为结点。晶格中各种不同方位的原子面,称为晶面。

2. 晶胞

晶体中原子排列具有周期性变化的特点,因此只要在晶格中取出最基本的几何单元进行分析,便能确定原子排列的规律。组成晶格的最基本几何单元称为晶胞,如图 1-11 c)所示。晶格可以看成由晶胞堆积而成。

3. 晶格常数

晶胞的形状和大小是用晶胞的棱边长度 a 、 b 、 c 和棱边的夹角 α 、 β 、 γ 来表示的,如图 1-12 所示。晶胞的棱边长度 a 、 b 、 c 称为晶格常数,其大小以 $\text{\AA}$ (埃)为单位 ($1 \text{\AA} = 1 \times 10^{-8} \text{ cm}$)。当晶格常数 $a=b=c$, 棱边夹角 $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$ 时,这种晶胞称为简单立方晶胞。

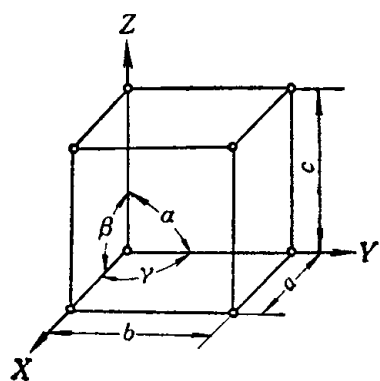


图 1-12 晶胞的表示方法

(三) 金属的晶格类型

金属的晶格类型很多,主要有以下两种:

(1) 体心立方晶格 它的晶胞是一个立方体,原子分布在立方体的各结点和中心处,如图 1-13 a)所示。属于这种晶格类型的金属有铬、钼、钨、 α 铁(温度在 912°C 以下的纯铁)等。

(2) 面心立方晶格 它的晶胞也是一个立方体,原子分布在立方体的各结点和各面的中心处,如图 1-13 b)所示。属于这种晶格类型的金属有铝、铜、

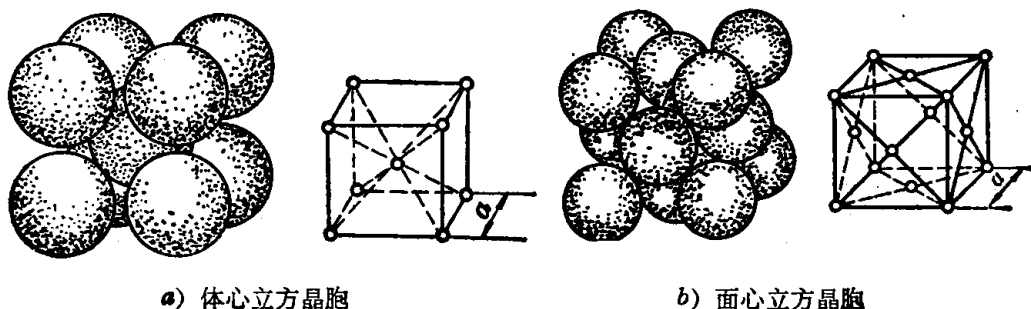


图 1-13 常见的金属晶格类型

镍、 γ 铁(温度在 $1394\sim 912^{\circ}\text{C}$ 之间的纯铁)等。

具有不同晶格类型的金属,其性能不同。例如,同样是铁元素,但 γ 铁比 α 铁具有较好的塑性,

(四)金属的实际晶体结构

上面介绍的晶体由原子排列方位完全一致的晶格组成,这是理想的单晶体结构情况。实际上,金属是一种多晶体结构,如图 1-14 所示。这种原子排列方位基本一致,但外形不规则的小晶体,称为晶粒。由于金属是多晶体结构,单个晶粒的各向异性彼此相互抵消,金属就显示出各向同性。若对金属进行单方向的塑性变形(如冷轧、冷拉等),使各个晶粒的晶格趋向一致,则多晶体金属又会显示出各向异性。

晶粒和晶粒之间的界面,称为晶界。显然,为了适应晶粒间晶格方位的过渡,晶界处的原子排列是不规则的,晶格处于歪扭状态,对金属的塑性变形起阻碍作用。晶粒愈细小,晶界愈多,使金属的强度、硬度增加,塑性、韧性有所改善。

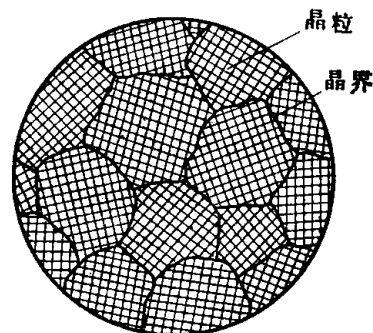


图 1-14 金属的多晶体结构示意图

此外,由于结晶过程及其它加工条件的影响,金属晶体在局部区域还存在一些缺陷,例如,晶格某些结点上缺少原子(称为空位),或是某些原子占据了晶格的间隙位置(称为间隙原子),如图 1-15 a)所示。也可能有一列或若干列原子发生了某种有规律的错排现象(称为位错),图 1-15 b)表示在晶格中多出了半个原子面(ABCD),犹如刀刃般地切入,故称为刃型位错。在位错线 CD 附近,晶格发生歪扭并造成应力集中。这些晶体缺陷的存在对金属机械性能有较大影响。

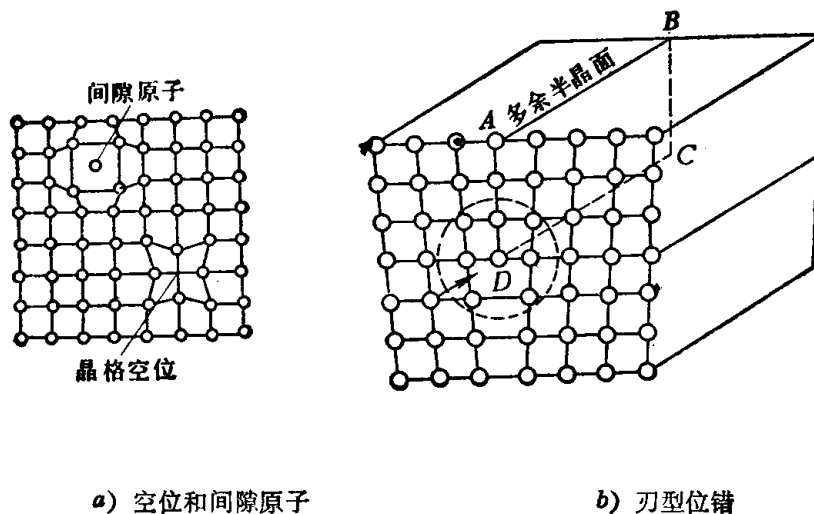


图 1-15 晶体缺陷

二、金属的结晶

金属的结晶是指金属由液态转变为固态的凝固过程,即金属原子由不规则排列状态转变为有规则排列状态的过程。

(一)纯金属的冷却曲线