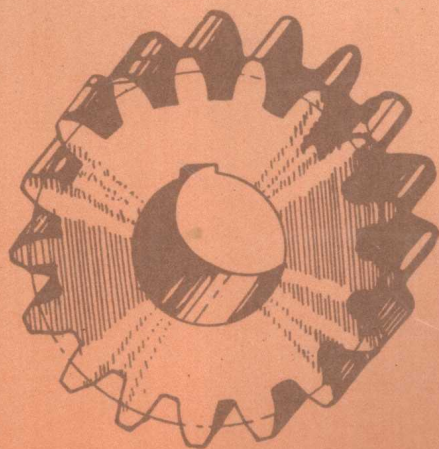


金属工艺学

龚浩 主编



中国商业出版社

(京)新登字 073 号

图书在版编目(CIP)数据

金属工艺学/龚浩主编. —北京:中国商业出版社,

1995. 2

ISBN 7-5044-2318-1

I. 金… I. 龚… III. 金属加工—工艺 N. TG

中国版本图书馆 CIP 数据核字(94)第 13111 号

责任编辑:蓝垂华 张 辉

装帧设计:胡 卫

15008

中国商业出版社出版发行

(100053 北京广安门内报国寺1号)

新华书店总店北京发行所经销

蚌埠中发书刊发行有限责任公司激光照排

安徽省蚌埠市红旗印刷厂印刷

787×1092毫米 16开 印张:11 插页:1 296千字

1994年11月第1版 1994年11月第1次印刷

印数:1—10000册 定价:10.80元

* * * *

(如有印装质量问题可更换)

推 荐 说 明

本书由全国部分大中专、技校教师根据近机类专业《金属工艺学》教学计划和教学大纲的要求编写而成。主要阐述金属材料的基础知识及选用方法,冷、热加工的基础知识及其加工工艺。全书主要特点如下:

(一)融汇贯通了近代金属工艺学的最新研究成果,各类资料均执行新的国家标准和 ISO 标准;

(二)全书内容新颖,布局严谨,文字通俗易懂,深入浅出,专业术语符合标准化、规范化的要求,便于教学使用;

(三)既考虑了本专业学科知识的系统性,又恰当处理和把握了基础理论的深度,符合大中专技校培养应用型人才的教学要求。

经审定,特向各校推荐,以满足教学急需。本书可作为近机类大、中专学校、技工学校教材,亦可作为工矿企业机械操作和维修人员自学和培训用书。

本书由龚浩任主编,杨晓川任副主编。参编人员有龚浩、杨晓川、王敬龙、陈永泰等。其中绪论、第一、二、三、四、五、六、七章由杨晓川总纂;第八、九、十、十一、十二章由龚浩总纂。全书由郑州粮食学院高仲萱副教授主审。

本书在编写过程中,参考、引用了有关论著,借鉴了有关同类教材的优点,同时得到许多学校领导和教师的大力支持,特此一并致谢!由于编者水平及时间所限,书中不妥之处在所难免,敬请广大读者提出宝贵意见,以便进一步修订完善。

国内贸易部教育司

1994 年 11 月

目 录

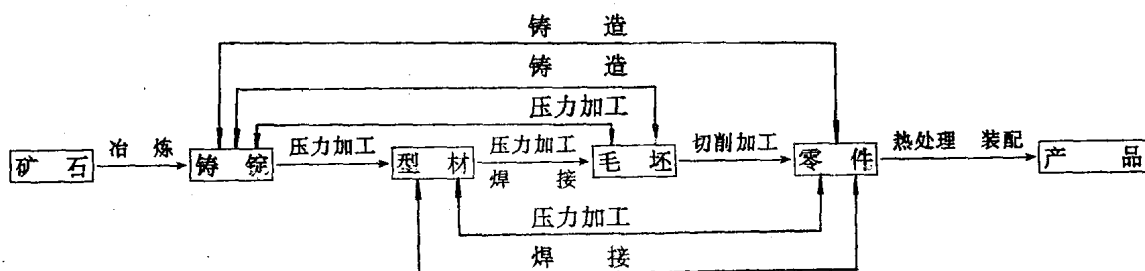
绪论	(1)
第一章 金属的机械性能	(2)
第一节 强度和塑性	(2)
第二节 硬度	(4)
第三节 冲击韧度	(6)
第四节 金属的疲劳	(7)
* 第五节 金属的蠕变	(8)
第二章 金属与合金的基本知识	(10)
第一节 金属的晶体结构	(10)
第二节 实际金属的晶体结构	(11)
第三节 纯金属的结晶过程	(13)
第四节 合金的基本概念和基本结构	(15)
第五节 铁碳合金的基本组织和状态图	(17)
第三章 钢的热处理	(22)
第一节 热处理过程中钢的组织转变	(23)
第二节 钢的热处理工艺	(28)
第四章 金属材料与非金属材料	(36)
第一节 碳钢	(36)
第二节 合金钢	(40)
第三节 铸铁	(49)
第四节 有色金属及其合金	(56)
第五节 非金属材料	(64)
第六节 金属的腐蚀及防护方法	(68)
第七节 典型零件的选材及热处理	(70)
第五章 铸造	(77)
第一节 砂型铸造	(77)
第二节 金属材料的铸造性能	(81)
第三节 浇注、落砂和清理	(83)
* 第四节 特种铸造简介	(84)
第六章 压力加工	(87)
第一节 概述	(87)
第二节 锻造	(89)
第三节 板料冲压	(94)
第七章 金属的焊接	(98)
第一节 概述	(98)

第二节 手工电弧焊	(99)
第三节 气焊与气割	(104)
第四节 常用金属材料焊接的特点	(108)
* 第五节 焊接应力与变形	(110)
第八章 金属切削机床与刀具的基本知识	(113)
第一节 部分金属切削机床型号的识别方法	(113)
第二节 切削加工运动和切削要素	(114)
第三节 刀具的材料和几何角度	(117)
第四节 金属切削过程	(125)
第九章 主要机械加工方法简介	(129)
第一节 车削的工艺特点及应用	(129)
第二节 钻镗的工艺特点及应用	(133)
第三节 刨削的工艺特点及应用	(135)
第四节 铣削的工艺特点及应用	(136)
第五节 磨削的工艺特点及应用	(137)
第六节 基本表面加工工艺方法	(138)
第七节 典型零件加工工艺过程简介	(139)
第十章 齿轮加工	(142)
第一节 渐开线齿轮概述	(142)
第二节 圆柱齿轮齿形的加工	(144)
* 第三节 齿轮精加工简介	(147)
第十一章 装配与维修	(150)
第一节 钳工工作的主要内容	(150)
第二节 装配的基本知识	(151)
* 第三节 设备维修的基本知识	(156)
第四节 维修简介	(158)
第十二章 特种加工	(160)
第一节 电火花加工原理及应用	(160)
第二节 电解加工原理及应用	(161)
第三节 超声波加工原理及应用	(162)
第四节 激光束加工原理及应用	(164)
附录一	(165)
附录二	(167)

绪 论

金属工艺学是一门综合性的技术学科,它系统地介绍了机械制造中所用原材料的性能,冷、热加工的各种工艺方法以及它们之间相互联系的基础知识。主要内容包括:金属材料、热处理、铸造生产、金属压力加工、金属焊接、切削加工等。

在机器生产中,从金属材料及其选用,到经过加工成为机械零件,再通过装配成为机械产品的过程,可以用以下的图表来表示。



金属工艺学是在生产实践中发展起来的学科,它是一门既古老、又充满活力的学科。远在商代(公元前1562~1066年)我国就有了冶铸青铜的技术,春秋时代开始应用铸铁。战国时代已能制造锋利的刀剑,说明那时就已有冶铸、锻造和热处理等原始金工技术。南北朝(公元420~589年)时已能炼钢,比欧洲早1000多年。7世纪的唐朝已经应用了锡焊和银焊。8世纪已有了手工操作车床,到明朝又出现了很多简单的金属切削加工设备。清初(1668年)曾用马作动力使用直径近二丈的镶片铣刀铣削天文仪的大铜环,并用同样的方法进行磨削。明朝宋应星所著《天工开物》一书,就记载有冶铁、铸铁、锻铁、淬火等各种金属加工方法,这是世界上关于金属工艺学的最早著作之一。

在我国各工农业生产部门、科研单位和国防工业中,金属材料及其加工都是不可缺少的重要组成部分,机械制造业在实现四个现代化的过程中担负着重大的任务。随着科学技术的发展,新材料、新工艺以及新技术的出现和应用,不断地充实、丰富和发展着金属工艺学的内容,特别是新金属材料以及非金属材料的采用,将加深和扩大对材料及其加工方法和可加工性的研究。

在工科类中等专业学校中,金属工艺学是一门专业基础课。其目的和任务是使学生具有选择常用金属材料的基本知识,以及确定一般零件的基本加工方法的初步能力,为学习后续课程和从事技术工作奠定必要的基础。

金属工艺学作为一门实践性很强的课程,学生在学习前首先要通过教学实习,获得铸、锻、焊、车、铣、刨、磨、钳等工种的感性知识,掌握初步的操作技能,这样才能理论联系实际,取得较好的学习效果。

学习本课程的基本要求是:

- (1) 初步掌握常用金属材料的牌号、用途和一般选用方法,并了解常用的热处理工艺。
- (2) 了解各种主要加工方法的基本原理和工艺特点。
- (3) 了解零件结构工艺性的基础知识。
- (4) 初步了解机械零件加工路线的基本知识。
- (5) 具有简单零件加工的基本操作技能。

第一章 金属的机械性能

金属材料是制造机器的主要原材料,在生产和日常生活中被广泛使用。金属具有四大特征:1. 金属的固体状态是晶体;2. 金属是良好的导热体和导体;3. 金属具有特有的颜色和光泽;4. 金属具有延展性。这些可贵的特征使得金属材料在使用时具有许多优良的性能。金属的性能总的来讲可以分成两大类:一类叫做使用性能,它反映金属材料在使用过程中所表现出来的性能,如机械性能(强度、硬度、塑性、韧度等);物理性能(导电性、导热性、热膨胀性等);化学性能(抗氧化性、耐腐蚀性等)。另一类叫做工艺性能,它反映金属材料在加工制造过程中所表现出来的特性,如铸造性能、塑性成型性、焊接性和切削加工性等。金属材料的使用者只有在全面地了解金属材料的各种性能之后,才可能真正做到正确、经济、合理地选用金属材料。

任何一部机器都是由一些不同的零部件所组成,而每一个零部件在使用时都要承受各种形式外力(如拉伸、压缩、弯曲、扭转、剪切等)的作用,因此,掌握金属材料在外力作用下所表现出来的特征就显得格外重要。这种特征通常用金属的机械性能或力学性能来表示,主要包括强度、塑性、硬度、冲击韧度、金属的疲劳等机械性能指标。

第一节 强度和塑性

由金属材料制成的机械零件,在使用过程中,往往都要承受各种形式的载荷(即外力)的作用,致使零件产生变形——尺寸和形状发生改变,当载荷和变形超过一定的限度时,必然要导致零件发生破裂。因而,要求金属材料具有一种抵抗载荷作用而不超过允许变形量且不发生破坏的能力,即强度指标。测定这种抵抗破坏能力大小的最普遍、最简单的方法,通常是用拉伸试验进行的。

试验时,将一根退火的低碳钢制成标准的圆形试样,放在拉伸试验机上,缓慢加载,随着载荷的不断增加,试样的长度也逐渐被拉长,产生变形。在整个试验过程中,把外加载荷 P 与试样的相应变形量 ΔL ,画在以载荷 P 为纵坐标、变形量 ΔL 为横坐标的图上,便可以得到如图 1—1 所示的载荷—变形量关系曲线,或称拉伸曲线。

由拉伸曲线图可见,当载荷 P 为零时,其变形量 ΔL 也为零。当载荷增加至 P_e 时,试样在载荷作用下均匀地伸长,伸长量与所加载荷成正比关系,此时去掉载荷后,试样能完全恢复到原来形状,没有残余变形,即处于弹性变形阶段。载荷超过 P_e 后,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,试样不能恢复到原来形状的永久性变形。载荷继续增加到 P_s 时,图上出现水平线段,即载荷不增加,变形仍继续增加,这种现象称为“屈服”。屈服现象是金属发生明显塑性变形的主要标志。发生屈服现象以后,载荷再增加时,变形也还随之逐渐增大,当载荷增加到 P_b 时变形将显著地集中在材料最薄弱的部分,一般在试样根部附近出现局部直径变细,即发生“颈缩现象”,使截面积急剧缩小,载荷开始下降,直到 K 点时,试

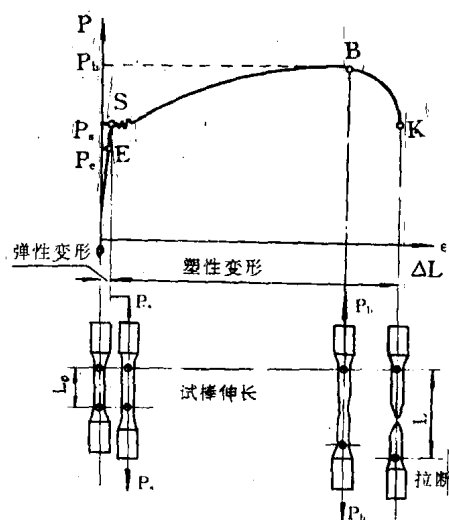


图 1—1 低碳钢的拉伸曲线图

样发生断裂,整个拉伸试验结束。因此, P_b 是试验过程中的最大载荷。

一、强度

金属材料在载荷作用下抵抗变形和破坏的能力称为强度。常用来衡量金属强度的指标有屈服强度和抗拉强度。

试样在载荷 P 作用下,金属材料内部产生的抵抗力叫做内力,其大小与外力相等、方向相反,如图 1—2 所示。材料单位面积上的抵抗力称为应力,用符号 σ 表示,其计算公式为:

$$\sigma = \frac{P}{S_0} (\text{MPa})$$

式中: P ——试样承受的载荷(N);

S_0 ——试样的横截面积(mm^2)。

(一) 屈服强度(屈服极限,屈服点)

试样产生屈服现象时的应力,即开始出现微量塑性变形时的应力,叫做屈服强度,以符号 σ_s 表示,可用下式计算。

$$\sigma_s = \frac{P_s}{S_0} (\text{MPa})$$

式中: P_s ——试样发生屈服现象时的载荷(N);

S_0 ——试样的原始横截面积(mm^2)。

除低碳钢和中碳钢等少数金属材料有屈服现象外,大多数金属材料没有明显的屈服点,因此对这些材料,规定以产生 0.2% 的塑性变形时的应力作为相应的屈服强度,以 $\sigma_{0.2}$ 表示。

屈服强度是绝大部分机械零件设计时选用材料的依据。如发动机气缸盖的螺栓受力绝不应高于 σ_s ,否则会因螺栓变形使气缸盖松动漏气,这是不允许的。

(二) 抗拉强度(强度极限)

试样被拉断前所能承受的最大应力叫做抗拉强度,以 σ_b 表示。可用下式计算:

$$\sigma_b = \frac{P_b}{S_0} (\text{MPa})$$

式中: P_b ——试样被拉断前所能承受的最大载荷(N);

S_0 ——试样的原始横截面积(mm^2)。

抗拉强度也是零件设计和选材的主要依据之一,对于因断裂而失效的机械零件,通常用 σ_b 作为零件设计的主要参数若金属材料的强度愈高,那么机械零件或金属构件的尺寸就可以减小,重量减轻,或者在较大载荷作用下,不致发生过量的塑性变形和破坏,保证正常工作。

二、塑性

塑性是指金属材料在载荷作用下产生塑性变形而不破坏的能力。塑性指标一般用伸长率和断面收缩率来表示。

(一) 伸长率

试样拉伸断裂后的总伸长量与原始长度比值的百分率,叫做伸长率,以符号 δ 表示。可用下式计算:

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

式中: L_0 ——试样原始标距长度(mm);

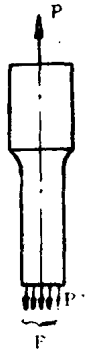


图 1—2 内力示意图

L_1 ——试样拉断后的标距长度(mm)。

试样的伸长率与尺寸的大小有关。按长度和直径的比值不同,试样有长试样($L_0 = 10d_0$)和短试样($L_0 = 5d_0$)两种。长试样的伸长率以 δ_{10} 或 δ 表示;短试样的延伸率以 δ_5 表示。

(二) 断面收缩率

试样受拉伸断裂后,试样截面的缩减量与原始截面面积比值的百分率,叫做断面收缩率,用符号 ψ 表示。以下式计算:

$$\psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\%$$

式中: S_0 ——试样原始截面面积(mm^2);

S_1 ——试样断口处的截面面积(mm)。

金属材料的伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 也是重要的机械性能指标,其数值越大,塑性指标越好。反之,表明金属材料的塑性较差。良好的塑性材料有利于进行锻压、冷冲压和冷拉拔等成型加工。纯金属、钢等材料具有较好的塑性,可以进行轧制和锻造;而铸铁塑性很差,通常不能进行压力加工,只可铸造成型。同时,由于材料具有一定的塑性,故能保证不致因载荷稍有变化而突然破断,这就增加了材料使用的安全可靠。因此,通常对于机械零件的塑性指标有一定要求。

表 1—1 几种金属材料的抗拉强度值和伸长率值

材 料	抗拉强度 σ_b (MPa)	伸长率 δ (%)
Q235A	425	22
45	610	16
灰铸铁	100 ~ 400	0
铁素体球墨铸铁	400 ~ 420	10 ~ 17
常用硬铝	300 ~ 420	15 ~ 24(δ_{10})
铬不锈钢(1Gr13, 2Gr13)	550 ~ 650	20 ~ 25(δ_{10})
65Mn	750	9

第二节 硬 度

硬度是指金属材料抵抗比它更硬物体压入其表面的能力,或者说是材料对局部塑性变形的抗力。

硬度是衡量金属材料软硬程度的一个重要机械性能指标。它的测定是通过硬度实验来获得的,这种试验的方法是金属机械性能试验中最简单、最迅速的一种方法,有时需要做成专门的试样,也可以在工件上直接进行硬度测定,而且又不损坏被测工件,所以在生产中得到广泛的应用。

常用的硬度试验方法有布氏硬度试验和洛氏硬度试验两种。

一、布氏硬度

布氏硬度的试验原理如图 1—3 所示。是将直径为 10mm 的淬火钢球,在规定载荷 P 的作用下,压入被测试件的表面,并保持一定的时间,然后卸除载荷,试样上随即出现一个压坑,以压坑的单位球面积上所承受载荷的大小,来确定被测金属材料的硬度值。布氏硬度值用符号 HBS(或 HBW) 表示。可用下式计算:

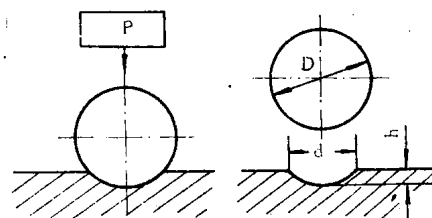


图 1—3 布氏硬度试验原理示意图

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

式中: P ——压入的载荷(kgf);
 S ——压坑的球面积(mm²);
 D ——淬火钢球直径(mm);
 d ——压坑的平均直径(mm);
HBS——压头为淬火钢球时的布氏硬度值(即 HB);
HBW——压头为硬质合金钢球的布氏硬度值。

在实际应用中,布氏硬度值是不用标注单位的,也不需要经过计算,只要用专门的刻度放大镜测量出来压坑平均直径 d 的大小,就可以从硬度值表格中查出相应的布氏硬度值。

布氏硬度的最大特点是:测量准确(因压坑较大),但由于压坑较大,有损表面,故不适于测量成品零件及薄片材料。另外,由于布氏硬度试验因受淬火钢球本身硬度限制,被测试样硬度不能大于 HB450。所以,布氏硬度主要用于测定较软($HB < 450$)的金属材料及半成品,如铸铁、有色金属、低合金结构钢等厚材料以及结构钢调质件的硬度。

二、洛氏硬度

布氏硬度试验虽然具有许多优点,但不适用于检验成品及较硬或较薄的金属材料,洛氏硬度法可以弥补上述不足,因而这种试验方法在生产上得到广泛地应用。

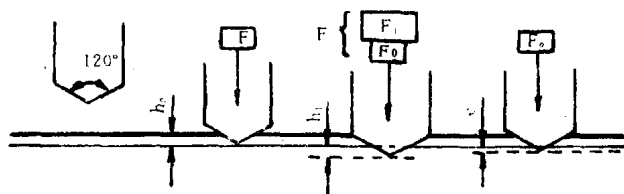


图 1—4 洛氏硬度试验原理示意图

洛氏硬度试验和布氏硬度一样,也属于压坑硬度试验。一般是测量压坑的深度,并以压坑深度的大小来测量材料的硬度值。

洛氏硬度试验原理如图 1—4 所示,是用顶角 120° 的金钢石圆锥压头或直径为 1.588mm 的淬火钢球压头,在先后施加两个载荷(初载荷和主载荷)的作用下压入金属表面来进行的。总载荷 F 为初载荷 F_0 和主载荷 F_1 之和,即

$$F = F_0 + F_1$$

洛氏硬度值是施加总载荷并卸除主载荷 F_1 后,在初载荷下用测量的 e 值来计算的,但在实际测量时,可以从洛氏硬度计的刻度盘中直接读出硬度值(无单位)。若压坑愈深,则刻度盘的硬度值愈小,即材料愈软。反之,压坑愈浅,刻度盘的硬度值愈大,材料也就愈硬。

常用的洛氏硬度有三种表示符号:HRA、HRB 和 HRC。其中 HRA 与 HRC 是用顶角为 120° 的金钢石圆锥体作为压头,采用的总载荷分别为 600N 与 1 500N,而 HRB 值的测定则采用直径为 1.588mm 的淬火钢球作为压头,总载荷为 1 000N。

洛氏硬度试验方法的优点是操作迅速、简便,压坑小,不损伤工件的表面,硬度值的测量范围也较大。所以应用范围很广,可用于测定各种钢铁原材料、有色金属、硬质合金以及热处理工件等。其缺点是由于洛氏硬度试验的压坑小,准确性不如布氏硬度高,所测硬度值的重复性差。

* 三、肖氏硬度

肖氏硬度是比较方便的测定硬度的方法,试验计容易携带,尤其在现场测定和对不便取样的钢材或粮食机械用的磨辊、油料轧辊等大型零件测定时使用较多。

肖氏硬度试验原理是以一个硬度高的重锤,从一定高度自由下落到试样的表面,由于试样的弹

性使它回跳,按回跳的高度来确定试样的硬度。试样的弹性恢复系数愈大,重锤回跳愈高,硬度也就愈高。肖氏硬度的标度,最初是把重锤在淬火硬化以后的高碳钢表面上回跳的高度定为 100,然后平均刻度,代表的符号是“HS”,H 代表硬度,S 代表肖氏。

试验时要使试样的表面光滑,表面粗糙就不准确;试样要有足够的厚度,并且要放平;硬度计要紧紧贴在试样上。因为试验不容易做得很准确,最少要测定 5 次,每次重锤落着点的距离不小于 2mm。

肖氏硬度只是测定材料硬度的参考方法,30 以上硬度一般是比较硬的材料。
硬度也是重要的机械性能指标,它与材料耐磨性密切相关。一般来说,硬度高,耐磨性就好。
硬度和强度一样,都反映了材料对塑性变形的抗力,强度愈高,硬度也愈高。

表 1—2 几种金属材料的硬度值

材 料	布氏硬度(HBS)	洛氏硬度(HRC)	肖氏硬度(HS)
Q235A(A3)	100		
45		22 ~ 58	
65Mn		25 ~ 61	
灰铸铁	143 ~ 269		
铁素体球墨铸铁	≤ 179		
常用硬铝	70 ~ 100		
铬不锈钢(1Gr13,2Gr13)		20 ~ 48	
磨辊(合金白口铁)			66 ~ 78
油料轧辊(合金白口铁)			66 ~ 78

第三节 冲击韧度

前面讲的都是逐渐施加载荷(外力)的静载荷试验,破坏力比较小。但在实际生产中,许多机械零件往往要承受到冲击载荷的作用,如机车的开车、刹车或改变速度时,车辆间的挂钩、连杆以及曲轴等都将承受到冲击载荷的作用。饲料粉碎机的锤片在工作时也主要承受冲击载荷和磨损。对于承受冲击载荷作用的机械零件,其机械性能就不能只用强度和硬度指标来衡量了,这是因为一些强度较高的金属材料,在冲击载荷的作用下也往往会发生脆性断裂。因此,对于承受冲击载荷作用的机械零件,还要求具有一定的冲击韧度。

金属材料抵抗冲击载荷作用而不被破坏的能力,称为冲击韧度,用符号 a_{ku} 表示。可用下式计算:

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

式中: A_{ku} —— 冲击吸收功(J);
 u —— 指试样缺口为 U 形;
 S —— 试样缺口处的横截面积(cm^2)。

各种金属材料的冲击韧度值,都是将被测的金属材料制成标准的冲击试样(梅氏试样),在专门的冲击试验机上进行测定的,如图 1—5 所示。实际上, a_{ku} 值可以由冲击试验机的刻度盘上直接读出,不需要计算。

冲击韧性 a_{ku} 值愈大,表明材料的韧度愈好。 a_{ku} 值的大小还与试验温度有关,某些材料在室温(20℃)左右试验时并不显示脆性,而在较低温度下,则可能发生脆性断裂。因此,为了确定金属材料(特别是低温用金属材料)由塑性状态向脆性状态变化的倾向,可在不同温度下测定冲击韧度 a_{ku} 。

值,将试验结果绘成曲线图,在图 1—6 中可以看出,冲击韧度值随温度降低而减小,在某温度范围内,冲击韧度值将显著降低而呈现脆性,这个温度称为“脆性转变温度范围”。发生脆性转变的温度愈低,材料的低温冲击性能就愈好。另外,冲击韧度值的大小,还受到试样的形状、表面粗糙度,内部组织等因素的影响。因此,冲击韧度值一般只作设计和选材时的参考。

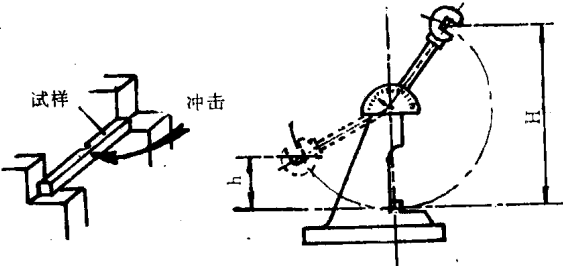


图 1—5 摆锤式冲击试验原理示意图

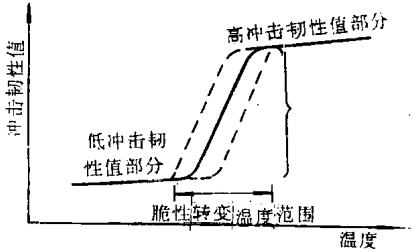


图 1—6 温度对 a_k 值的影响

实践证明,这种在一次冲断条件下确定的冲击韧度值,对于判别材料在抵抗大能量冲击能力方面,是有一定作用的。但实际上,绝大多数机械零件在工作中承受的是小能量多次冲击,经过几次、几十次小能量冲击载荷就损坏的情况是非常少见的。材料的多次冲击抗力是一个取决于材料强度和塑性的综合性能指标,随着条件不同,强度和塑性的作用是不同的。当冲击能量低,冲击周次较多时,材料多次冲击抗力主要取决于材料的强度;当冲击能量高,冲击周次较少时,材料多次冲击抗力主要取决于塑性。

表 1—3 几种金属材料的冲击韧度值

材 料	冲击韧度(J/cm ²)
20Cr	60
45	50
常用合金调质钢	50 ~ 100
ZGMn13	250
铁素体球墨铸铁	80 ~ 100
铬不锈钢(1Gr13, 2Cr13)	30 ~ 60

第四节 金属的疲劳

有许多机械零件,如轴、齿轮、连杆、弹簧等,在工作过程中受到大小、方向呈周期性变化的应力作用,此应力称为交变应力。在这种交变应力长期作用下的机械零件,发生断裂时的应力,远低于该材料的抗拉强度,甚至低于屈服强度,并且发生断裂之前无显著的外观变形,这种现象称为金属的疲劳。

疲劳断裂与静载荷下的断裂不同,在交变应力作用下,无论是静载荷下显示脆性的材料,还是显示塑性的材料,疲劳断裂时都不产生明显的塑性变形,断裂都是突然发生的。因此,疲劳断裂具有很大的危险性,常常造成严重的事故。据统计,在损坏的机械零件中,大部分是由于金属的疲劳所造成的。

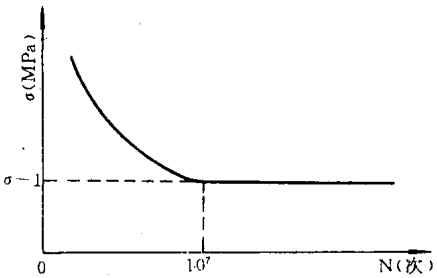


图 1—7 $\sigma - N$ 曲线

金属材料在无数次重复交变载荷作用下,而不破坏的最大应力称为疲劳强度。当交变应力循环

对称时,疲劳强度用符号 σ_{-1} 表示。 σ_{-1} 值是由专门疲劳强度试验机上测定出来的疲劳曲线确定的,其疲劳曲线如图 1—7 所示。实际上各种金属材料不可能进行无数次重复试验,故应有一定的应力循环数。实践证明,对钢铁材料来说,如果应力循环次数 N 达到 10^7 ,零件仍不断裂,就可以认为能经受无限次循环而不再断裂,所以钢材以 10^7 次为基数,有色金属和某些超高度钢则常取 10^8 次为基数。

疲劳断裂的原因,一般认为是由于材料有夹杂、表面划痕以及其它可能引起应力集中的缺陷,而导致微裂纹的产生。这种微裂纹随应力循环次数的增加而逐渐扩展,最后致使机械零件不能承受所加载荷而突然破断。

* 第五节 金属的蠕变

蠕变就是慢慢地变形的意思,在工程上是指金属材料在不变的载荷作用下,变形量随着时间的延长而缓慢增加的现象。

不少机器零件,如锅炉中的某些零件,化工设备中的一些高温高压管道等是在高温下工作的。金属在高温下工作时,虽然所承受的应力远小于该材料的屈服强度,但也会随着时间的延长,缓慢地产生连续的塑性变形,这种现象称为金属的蠕变。蠕变后,零件的形状和尺寸均发生变化,使其在未被破坏之前即不能使用。所以在高温下工作的机械零件,必须考虑其蠕变强度——在高温长时间作用下,金属材料对塑性变形抗力的机械性能指标。

蠕变强度的表示方法是在给定的温度下和规定的时间内,使试样产生一定蠕变变形量的应力值。例如 $\sigma_1/_{100000}^{500} = 100\text{MPa}$ 就表示该材料在 500°C 下,经过 10 万小时后,变形量为 1% 的蠕变强度为 100MPa。

温度、时间和变形量的数值根据零件的工作条件来规定。

为了便于学习和掌握,现将常用的机械性能指标及其含义小结如下表。

表 1—4 常用的机械性能指标及其含义

机械性能	性能指标			含 义
	符号	名称	单位	
强 度	σ_s	屈服强度	MPa	材料产生微量塑性变形时的应力
	$\sigma_{0.2}$	条件屈服强度	MPa	试样产生 0.2% L_0 塑性变形的应力
	σ_b	抗拉强度	MPa	材料拉断前所承受的最大应力
塑 性	δ	伸长率	%	试样拉伸断裂后的总伸长量与原始长度比值的百分率
	ψ	断面收缩率	%	试样拉伸断裂后,截面的缩减量与原始截面面积比值的百分率
硬 度	HBS HBW	布氏硬度		根据压坑单位球面积上的压力来确定的硬度
	HRA HRB HRC	洛氏硬度		根据压坑深度来确定的硬度
	HS	肖氏硬度		根据回跳高度来确定试样的硬度
韧 性	a_{ku}	冲击韧度	J/cm ²	冲断金属试样单位面积上所吸收的冲击功
疲 劳 强 度	σ_{-1}	疲劳强度	MPa	金属经过多次(钢为 10^7 次)交变载荷作用而不破断的最大应力

复习题

1. 叙述金属材料机械性能的含义。常用的测定机械性能的方法有哪几种？
2. 测定某种钢的机械性能时，已知试样的直径是 10mm，其标距长度是直径的 5 倍， $P_s = 38\text{kN}$ ， $P_b = 77\text{kN}$ ，拉伸断裂后的标距长度是 0.5mm，试求此钢的 σ_s 、 σ_b 及 δ 值各是多少？
3. 说明布氏硬度与洛氏硬度的试验原理和应用范围。
4. 金属在受到大能量冲击载荷和小能量多次冲击载荷的条件下，冲击抗力各主要取决于什么指标？

第二章 金属与合金的基本知识

不同的金属和合金由于其化学成分不同,所以具有不同的机械性能。而且,即使相同成分的金属材料,当生产工艺条件不同或在不同的状态下,它们的机械性能也可以有很大的差别。

以铁为基础的典型合金是铁碳合金,也是钢和铸铁的统称,它是工业上应用最广泛的合金。本章将阐述铁碳合金的基本组织及铁碳合金状态图的概念,使学生初步掌握这一极其重要的合金材料的一些基本性质,为学习本课程的其它部分准备必要的基础知识。

第一节 金属的晶体结构

一、晶体与非晶体

物质的原子(或离子)呈现规则排列时,这样的物质称为晶体。否则称为非晶体,一切金属在固态下都是晶体。

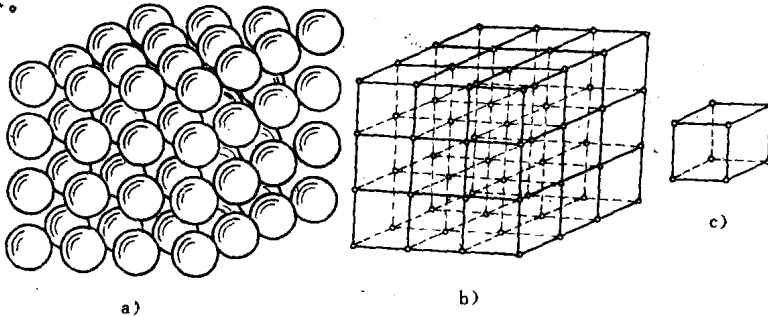


图 2—1 简单立方晶格的描述与晶胞示意图

a) 晶体中的原子排列 b) 晶格 c) 晶胞

为了分析各种金属晶体中原子排列的规律性,常把金属晶体中的原子看成刚性小球,而金属晶体可以看成是由刚性小球按一定几何形状堆积起来的,如图 2—1a 所示。再用假想线条将晶体各个原子的中心连接起来,构成一个空间格架,而原子则位于这个空间格架的各个结点上。这种描述原子在晶体中排列形式的空间格架称为晶格,如图 2—1b 所示。由于晶体中原子的排列具有周期性特点,所以可以从晶格中选取一个最小的几何单元,这个单元称为晶胞,如图 2—1c 所示。晶胞能够完全反映一种晶体的结构特征,许多个大小、形状和位向相同的晶胞在空间的堆积就构成了晶格。

晶胞的结构特征可以用晶胞的棱边长度 a 、 b 、 c 及棱间夹角 α 、 β 、 γ 来表示,如图 2—2 所示。晶胞的棱边长度称为晶格常数,其度量单位为 $\text{\AA}$ ($1\text{\AA} = 10^{-8}\text{cm}$),晶胞的棱边夹角称为晶轴间夹角。当晶体常数 $a = b = c$,晶格轴间夹角 $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ 时,称这种晶胞为简单立方晶胞,其晶格常数可以用 a 来表示。

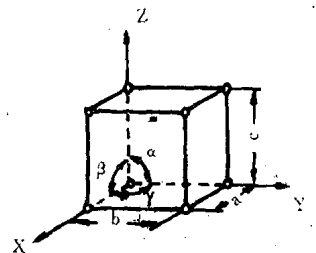


图 2—2 晶格常数和晶轴间夹角的表示方法

二、常见的金属晶格类型

在金属晶格中,由于金属原子结合的特点,使得金属原子在空间排列的方式大为减少。在已知的八十余种金属元素中,除少数十几种金属具有复杂的晶体结构外,大多数金属都具有比较简单的晶体结构。最常见的金属晶格有三种类型。

(一) 体心立方晶格

体心立方晶格的晶胞(图 2—3) 是一个立方体,在立方体的八个角上各有一个原子,在其中心还有一个原子。

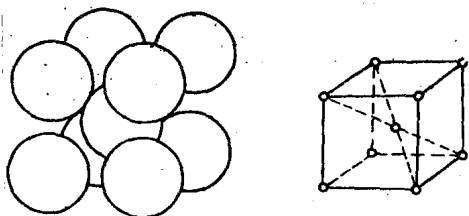


图 2—3 体心立方晶格

具有体心立方晶格结构的金属有 α -铁、钨、钼、钒等。

(二) 面心立方晶格

面心立方晶格的晶胞(图 2—4) 也是一个立方体。在立方体的八个角上各有一个原子,在其六个面的中心又各有一个原子。

具有面心立方晶格结构的金属有 γ -铁、铝、铜、钨等。

(三) 密排六方晶格

密排六方晶格的晶胞(图 2—5 所示) 是一个六方柱体。在六方柱体的十二个角上各有一个原子,上下底面的中心也各有一个原子,在其内部还有三个完全为晶胞所独有的原子。

具有密排六方晶格结构的金属有镁、锌、铍、 α -钛等。

金属的晶格类型不同,其性能也必然有差异。

即使某些金属的晶格类型相同,但由于各元素的原子半径及原子间的距离不同等原因,在性能上也会有很大的差异。

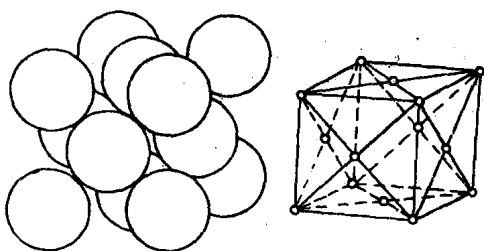


图 2—4 面心立方晶格

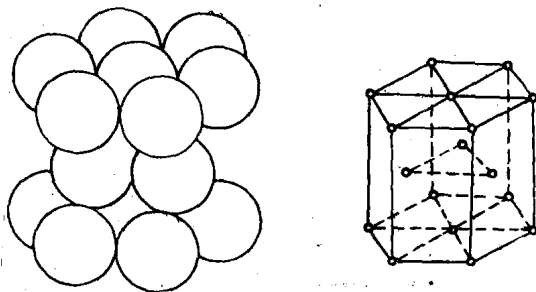


图 2—5 密排立方晶格

第二节 实际金属的晶体结构

一、金属材料都是多晶体

如果一块金属晶体,其内部的晶格方位完全一致,我们称这块晶体为“单晶体”。而实际上,这种理想的金属晶体在自然界几乎是不存在的。哪怕是在一块很小的金属中,也包含着许许多多的小晶体,每个小晶体的内部,晶格方位都是基本一致的,而各个小晶格体之间,彼此的方位却不尽相同,

如图 2—6 所示。可见实际金属材料都是多晶体，都是由形状和大小不规则的小晶体——晶粒所组成。晶粒与晶粒之间的分界称为晶粒间界，简称晶界。

在钢铁材料中，晶粒的尺寸一般为 $10^{-1} \sim 10^{-3}$ mm 左右，故必须在金相显微镜下才能看清楚。在金相显微镜下所能观察到的金属中各种晶粒大小、形态和分布称为“显微组织”。

* 二、金属的晶体缺陷

实际金属晶体结构的另一个特点是，金属原子的排列，即使是一个晶粒内部的原子排列，也并不是完整无缺的。我们将这种金属原子排列的不完整性，称为“晶体缺陷”。根据晶体缺陷的几何特点，常分成点缺陷、线缺陷和面缺陷三大类。

(一) 点缺陷

点缺陷是指晶格结点外或晶格结点间存在的缺陷，它主要有两种形式：晶格空位和间隙原子，如图 2—7 所示。由图可以明显地看出，这种缺陷的存在，造成晶格发生歪扭畸变。

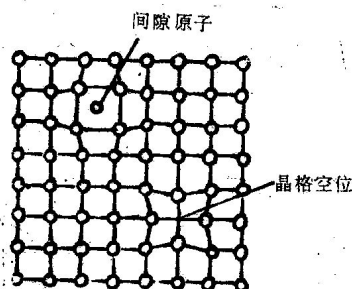


图 2—7 晶格空位和间隙原子示意图

(二) 线缺陷

线缺陷是晶粒内部呈线性分布的缺陷，它主要表现为各种形式的位错。我们只讨论比较简单的一种位错——刃型位错。所谓刃型位错就是在晶体的某一晶面上，垂直“切入”了一“多余”晶面，如图 2—8 中，在 ABCD 面的 E 处，沿 EF 线上方，垂直“切入”了一个晶面 EFGH。在刃型位错的位错线周围，晶格发生了歪扭畸变，离位错线愈远，晶格歪扭畸变的程度就愈小。

实践证明，实际金属晶体中存在着大量位错，如通常退火金属每立方厘米体积内大约有 $10^6 \sim 10^8$ 个位错，再经冷加工塑性变形之后，位错数目可达 10^{12} 个。位错密度的增加可使金属强度大大提高。

(三) 面缺陷

面缺陷有两种：晶界和亚晶界。

1. 晶界

工程上实用的金属材料，其组织均为多晶体，由于各晶粒间彼此位向不同，在它们相互交接之处便形成了大量的晶粒间界，简称晶界。由图 2—9 可见，晶粒间界处的原子排列与晶粒内部的原子排列是不相同的，这里的原子排列带有畸变。因此，晶界具有许多与晶内不同的特性。例如，由于晶

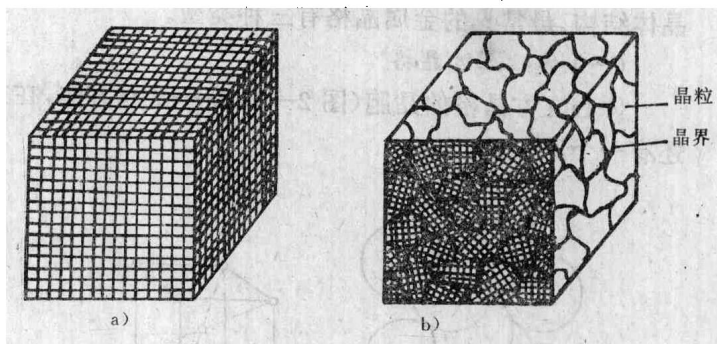


图 2—6 单晶体与多晶体示意图

a) 单晶体 b) 多晶体

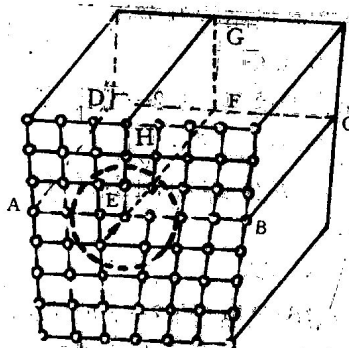


图 2—8 刃型位错示意图