

高职高专制造业人才培养培训规划教材

金属工艺学

主 编 余嗣元 余承辉

副主编 孙敬华 廖玉松 储 静

主 审 刘志锋

高职高专制造业人才培养培训规划教材

合肥工业大学出版社

内 容 简 介

本书是作者在从事多年高职教学实践的基础上编写而成的。内容包括金属材料的力学性能、金属与合金的晶体结构与结晶、铁碳合金、钢的热处理、金属表面处理技术、金属材料、非金属材料、铸造工艺基础、锻压成形、焊接、机械加工成形工艺、切削加工方法及工艺、非金属材料成形工艺、工程材料与成形工艺的选择等。

本书为高职高专、电大、职大、成人教育等院校有关专业的教学用书,也可作为工程技术人员参考书。

图书在版编目(CIP)数据

金属工艺学/余嗣元,余承辉主编. —合肥:合肥工业大学出版社,2006.6
ISBN 7-81093-372-8

I. 金... II. ①余...②余... III. 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(2006)第 073058 号

金 属 工 艺 学

主 编 余嗣元 余承辉

责任编辑 汤礼广

出 版	合肥工业大学出版社	版 次	2006 年 8 月第 1 版
地 址	合肥市屯溪路 193 号	印 次	2006 年 8 月第 1 次印刷
邮 编	230009	开 本	787×1092 1/16
电 话	总编室:0551-2903038 发行部:0551-2903198	印 张	16.5
网 址	www.hfutpress.com.cn	字 数	400 千字
E-mail	press@hfutpress.com.cn	发 行	全国新华书店
		印 刷	合肥创新印务有限公司

ISBN 7-81093-372-8/TG·6

定 价:26.00 元

如果有影响阅读的印装质量问题,请与出版社发行部联系调换



前 言

本书是根据教育部制定的《高职高专教育与成形工艺基础课程教学基本要求》，并结合高职高专教学改革的实践经验，以适应培养高等技术应用性人才的要求编写的，是高职高专机械类专业的通用教材。

全书共分十四章。第一章~第四章介绍了工程材料的性能、结构，以及凝固、强化与处理；第五章~第七章介绍了金属材料、非金属材料、新型材料与材料的质量控制；第八章~第十三章介绍了铸造、锻压、焊接、钳工基础知识以及机械加工、非金属材料的成形工艺，第十四章介绍了材料与成形工艺选择。本书每章均安排了思考题或练习题。

本书在编写过程中力求体现以下特点：

(1) 重视综合性、应用性和实践性，以培养生产第一线需要的高等技术应用性人才为目标，将理论课与实训、实验三位一体进行整合，形成强化应用的具有高等职业教育特点的新的教材体系。

(2) 建立工程材料和材料成形工艺与现代机械制造过程的完整概念。

(3) 建立大材料的概念，在整体上形成金属材料与非金属材料并重的格局。

(4) 充分重视新材料、新工艺、新技术的引入。如增加了新型材料、表面工程技术及其他正在发展的成形技术的介绍等。

(5) 全面贯彻最新国家标准。

(6) 为培养学生的基本素质，适当引入技术经济分析和质量管理的概念，贯彻环境保护和可持续发展的观点。

本书第一章、第二章和第三章由蚌埠学院甘瑞霞编写；第四章、第五章由安徽冶金科技职业学院储静编写；第六章、第七章由滁州职业技术学院廖玉松编写；第八章由滁州职业技术学院朱国平编写；第九章由安徽水利水电职业技术学院余承辉编写；第十章由安徽水利水电职业技术学院孙敬华编写；第十一章、第十二章由安徽国防科技职业学院黄强编写；第十三章、第十四章由安徽国防科技职业学院余嗣元编写。



本书由余嗣元、余承辉任主编，合肥工业大学刘志峰教授担任主审。主审认真、仔细审阅了全稿，并提出了许多宝贵的修改意见，对此我们表示衷心感谢。

本书的编写虽力求适应教育改革和发展的需要，但由于水平有限，书中不足之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编者

2006年6月



目 录

绪 论.....	1	思考与练习	58
第一章 金属材料的力学性能.....	3	第五章 金属表面处理技术	60
第一节 强度和塑性.....	3	第一节 金属表面强化处理	60
第二节 硬度.....	5	第二节 金属表面防护处理	64
第三节 冲击韧度.....	7	第三节 金属表面装饰处理	68
第四节 疲劳极限强度.....	9	思考与练习	69
思考与练习	10	第六章 金属材料	70
第二章 金属与合金的晶体结构与结晶	11	第一节 概述	70
第一节 金属的晶体结构	11	第二节 非合金钢	72
第二节 金属的结晶	14	第三节 合金钢	77
第三节 合金的晶体结构	17	第四节 铸铁	83
第四节 合金的结晶	18	第五节 非铁合金及粉末冶金材料	89
思考与练习	21	思考与练习	98
第三章 铁碳合金	22	第七章 非金属材料.....	100
第一节 铁碳合金基本组织	22	第一节 高分子材料.....	100
第二节 铁碳合金相图	23	第二节 陶瓷材料.....	105
思考与练习	30	第三节 复合材料.....	105
第四章 钢的热处理	31	思考与练习.....	107
第一节 钢的热处理原理	31	第八章 铸造工艺基础.....	108
第二节 钢的普通热处理	38	第一节 合金的铸造性能.....	108
第三节 钢的表面热处理	47	第二节 砂型铸造.....	110
第四节 热处理新技术简介	52	第三节 特种铸造.....	117
第五节 钢的热处理缺陷分析及其防止措施	56	第四节 铸型成型工艺设计.....	123



第五节 铸件的结构工艺性.....	130	思考与练习.....	216
第六节 铸造成型技术发展简介.....	135	第十二章 切削加工方法及工艺.....	217
思考与练习.....	137	第一节 车削加工.....	217
第九章 锻压成形.....	139	第二节 其他常用机床及其加工.....	219
第一节 锻压成形工艺基础.....	139	第三节 数控机床加工和特种加工简介	224
第二节 自由锻.....	145	第四节 机械加工工艺过程的基础知识	225
第三节 模锻.....	153	第五节 先进制造技术简介.....	232
第四节 板料冲压.....	159	思考与练习.....	233
第五节 挤压、轧制、拉拔、旋压	165	第十三章 非金属材料成形工艺.....	234
思考与练习.....	169	第一节 工程塑料的成型.....	234
第十章 焊 接.....	171	第二节 橡胶成型.....	238
第一节 焊接工艺基础.....	171	第三节 陶瓷成型.....	239
第二节 常用焊接方法.....	174	第四节 复合材料成形.....	240
第三节 常用金属材料的焊接.....	191	思考与练习.....	243
第四节 焊接结构工艺.....	195	第十四章 工程材料与成形工艺的选择	244
第五节 焊接应力和变形.....	197	第一节 零件的失效.....	244
第六节 常见焊接缺陷.....	202	第二节 材料及成形工艺选择的原则、 方法和步骤.....	245
第七节 焊接检验.....	206	第三节 典型零件的选材实例分析	249
思考与练习.....	209	思考与练习.....	256
第十一章 机械加工成形工艺.....	210		
第一节 切削加工基本知识.....	210		
第二节 金属切削过程中的物理现象	213		



绪 论

金属工艺学是一门有关机械零件制造方法及其用材的综合性技术基础课。它系统地介绍了机械工程材料的性能、应用及改进材料性能的工艺方法,各种成形工艺方法及其在机械制造中的应用和相互联系,机械零件的加工工艺过程等方面的基础知识。

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。我国古代在材料生产及其成形加工工艺技术方面,有着辉煌的成就。

从原始社会后期我国就开始有陶器,早在仰韶文化和龙山文化时期,制陶技术已经很成熟。我国的青铜冶炼始于夏代,到了距现在 3000 多年前的殷商、西周时期,技术水平已相当先进,用青铜制造的工具、食具、兵器、车饰、马饰等,得到普遍应用。在河南安阳地区发掘出来的商代青铜大方鼎,高 133cm,长 110cm,宽 78cm,重达 875kg。在大鼎的里面铸有“司母戊”三个字,在大鼎的四周,有蟠龙等组成的精致花纹。铸造这样大型的青铜器物,需要有很大的铸造场所,要求各个工种协同操作、密切配合,这充分反映出我国古代青铜冶炼和铸造成形的高超技艺。

春秋战国时期,我国开始大量使用铁器,白口铸铁、麻口铸铁、可锻铸铁相继出现。1953 年从河北兴隆地区发掘出来的战国铁器中,就有浇铸农具用的铁模子,说明当时已掌握了铁模铸造技术。随后出现了炼钢、锻造、钎焊和退火、淬火、正火、渗碳等热处理技术。一直到明朝,在这之前的 2000 多年间,我国钢铁生产的产量及金属材料成形工艺技术一直在世界上遥遥领先。

上述事实生动地说明了中华民族在材料及其加工方面对世界文明和人类进步作出的卓越贡献。但是到了 18 世纪以后,由于封建统治者长期采取闭关自守的政策,因此严重地束缚了我国生产力的发展,使我国科学技术处于停滞落后状态。

18 世纪 20 年代初先后在欧美发生的产业革命极大地促进了钢铁工业、煤化学工业和石油化学工业的快速发展,各类新材料不断涌现。材料对科学技术的发展起着关键性作用,航空工业的发展充分说明了这一点。1903 年世界上第一架飞机所用的主要结构材料是木材和帆布,飞行速度仅 16km/h;1911 年硬铝合金研制成功,金属结构取代木布结构,使飞机性能和速度获得一个飞跃;喷气式飞机的超音速飞行,高温合金材料制造的涡轮发动机起到了重要作用,因为当飞机速度为 2~3 倍音速时,飞机表面温度会升到 300℃,飞机材料只能采用不锈钢或钛合金;至于航天飞机,机体表面温度会高达 1000℃以上,只能采用高温合金材料及防氧化涂层;目前,玻璃纤维增强塑料、碳纤维高温陶瓷复合材料、陶瓷纤维增强塑料等复合材料在飞机、航天飞行器上已获得广泛应用。

近 200 多年来,在不断变化的市场需求驱动下,制造业的生产规模沿着“小批量、少品种大批量、多品种变批量”的方向发展;在科技高速发展的推动下,制造业的资源配置沿着“劳动密集、设备密集、信息密集、知识密集”的方向发展,与之相适应,制造技术



的生产方式沿着“手工——机械化——单机自动化——刚性流水自动化——柔性自动化——智能自动化”的方向发展。

制造技术也发生了巨大的变化，18 世纪后半叶以蒸汽机的发明为特征的产业革命，标志着制造业已完成从手工业作坊式生产到以机械加工和分工原则为中心的工厂生产的艰难转变。19 世纪电气技术的发展，开辟了崭新的电气化新时代，制造业也得到飞速发展，制造技术实现了批量生产、工业化规范生产的新局面。20 世纪初内燃机的发明，引发了制造业的革命，流水生产线和泰勒工作制得到广泛的应用。两次世界大战特别是第二次世界大战期间，以降低成本为中心的刚性和大批量制造技术以及生产管理有了很大的发展。第二次世界大战后的 50 年来，计算机技术、微电子技术、信息技术和自动化技术有了迅速发展，并在制造业中得到愈来愈广泛的应用，推动了制造技术向高质量和柔性化生产方向发展，先后出现了数控（NC）、柔性制造单元（FMC）、柔性制造系统（FMS）、计算机辅助设计/制造（CAD/CAM）、计算机集成制造（CIM）、准时化生产（JIT）、精益生产（LP）和敏捷制造（AM）等多项先进制造技术与制造模式，使制造业正经历着一场新的技术革命。

学习本课程的目的和任务是：让学生了解常用工程材料的性能、材料成形技术和零件加工的基础知识，为学习其他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) 掌握常用工程材料的种类、性能及其热处理方法，初步具有正确使用金属材料的能力。
- (2) 掌握主要毛坯成形方法的基本原理和工艺特点，具有选择毛坯及工艺分析的初步能力。
- (3) 了解机械制造生产过程、生产类型及其特点；掌握各种主要加工方法的实质、工艺特点、基本原理和设备的使用。
- (4) 了解零件的加工工艺过程，并具有选择零件加工方法的能力，能制订简单的制造工艺规程。
- (5) 了解有关的新工艺、新技术及其发展趋势。



第一章 金属材料的力学性能

金属材料是工业生产中最重要材料,广泛应用于机械制造、交通运输、国防工业、石油化工和日常生活各个领域。生产实践中,往往由于选材不当会造成机械达不到使用要求或过早失效。因此,了解和熟悉金属材料的性能成为合理选材、充分发挥工程材料内在性能潜力的重要依据。

金属材料的性能包括使用性能和工艺性能。使用性能是指材料在使用过程中表现出来的性能,它包括力学性能、物理性能和化学性能等;工艺性能是指材料对各种加工工艺适应的能力,它包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、切削加工性能和热处理工艺性能等。

在机械制造领域选用材料时,大多以力学性能为主要依据。因此必须首先了解金属材料的力学性能。所谓金属的力学性能,是指金属材料受到各种载荷(外力)作用时,所表现出的抵抗能力。力学性能主要包括:强度、塑性、硬度、韧性、疲劳极限等。

第一节 强度和塑性

材料在加工及使用过程中所受的外力称为载荷。根据载荷作用性质不同,可分为静载荷、冲击载荷、疲劳载荷三种。

- (1) 静载荷 大小不变或变动很慢的载荷,例如床头箱对机床床身的压力。
- (2) 冲击载荷 突然增加或消失的载荷,例如空气锤锤头下落时锤杆所承受的载荷。
- (3) 疲劳(交变)载荷 周期性的动载荷,例如机床主轴就是在变载荷作用下工作的。

根据载荷作用方式不同,可分为拉伸载荷、压缩载荷、弯曲载荷、剪切载荷、扭转载荷等,如图 1-1 所示。

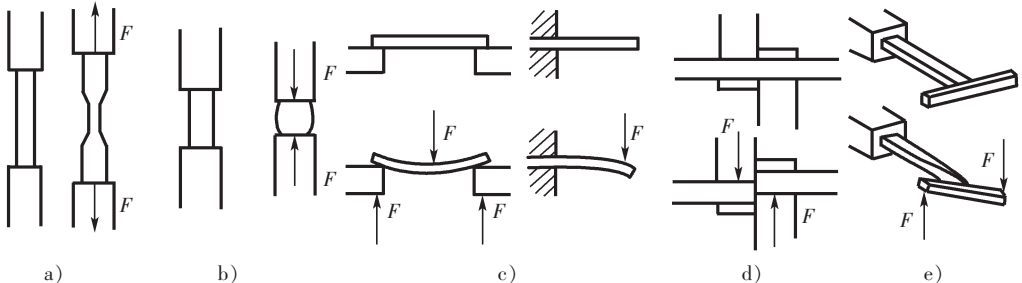


图 1-1 载荷的作用形式

a) 拉伸载荷 b) 压缩载荷 c) 弯曲载荷 d) 剪切载荷 e) 扭转载荷



一、强度

金属材料在载荷作用下,抵抗塑性变形或断裂的能力称为强度。强度愈高的材料,所承受的载荷愈大。

按照载荷作用方式不同,强度可分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗扭强度和抗剪强度等。工程上一般情况下多以抗拉强度作为判别金属强度高低的指标。

抗拉强度由拉伸试验来测定。静载荷拉伸试验是工业上最常用的力学试验方法之一。按照标准规定,把标准试样(GB/T6397—1986)装夹在试验机上,然后对试样逐渐施加拉伸载荷的同时连续测量力和相应的伸长,直至把试样拉断为止,便得到拉伸曲线,依据拉伸曲线可求出相关的力学性能。

1. 拉伸曲线

材料的性质不同,拉伸曲线形状也不尽相同。图 1-2 为退火低碳钢的拉伸曲线,图中纵坐标表示力 F ,单位为 N;横坐标表示绝对伸长 ΔL ,单位为 mm。以退火低碳钢拉伸曲线为例说明拉伸过程中几个变形阶段。

(1) OE —弹性变形阶段 试样的伸长量与载荷成正比增加,此时若卸载,试样能完全恢复原来的形状和尺寸;

(2) ES —屈服阶段 当载荷超过 F_s 时,曲线上出现平台,即载荷不增加,试样继续伸长,材料丧失了抵抗变形的能力,这种现象叫屈服;

(3) SB —均匀塑性变形阶段 载荷超过 F_s 后,试样开始产生明显塑性变形,伸长量随载荷增加而增大。 F_b 为试样拉伸试验的最大载荷;

(4) BK —缩颈阶段 载荷达到最大值 F_b 后,试样局部开始急剧缩小,出现“缩颈”现象,由于截面积减小,试样变形所需载荷也随之降低, K 点时试样发生断裂。

2. 强度指标

金属材料的强度是用应力来度量的,即材料受载荷作用后内部产生一个与载荷相平衡的内力,单位面积上的内力称为应力,用 σ 表示。常用的强度指标有屈服点和抗拉强度。

(1) 屈服点 材料产生屈服时的最小应力,以 σ_s 表示,单位为 MPa 。

$$\sigma_s = F_s / S_0$$

式中: F_s ——屈服时的最小载荷, N;

S_0 ——试样原始截面积, mm^2 。

对于无明显屈服现象的金属材料(如铸铁、高碳钢等)测定 σ_s 很困难,通常规定产生 0.2% 塑性变形时的应力作为条件屈服点,用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

屈服点表征金属发生明显塑性变形的抗力,机械零件在工作时如受力过大,会因过量变形而失效。当机械零件在工作时所受的应力,低于材料的屈服点,则不会产生过量的塑性。材料的屈服点越高,允许的工作应力也越高。因此它是机械设计的主要依据,也是评定金属材料优劣的重要指标。

(2) 抗拉强度 材料在拉断前所承受的最大应力,以 σ_b 表示,单位为 MPa 。

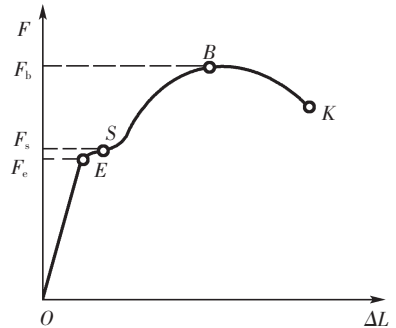


图 1-2 低碳钢的拉伸曲线



$$\sigma_b = F_b / S_0$$

式中： F_b ——试样断裂前所承受的最大载荷，N。

抗拉强度表示材料抵抗均匀塑性变形的最大能力，也是设计机械零件和选材的主要依据。

二、塑性

金属材料在载荷作用下产生塑性变形而不断裂的能力称为塑性，塑性指标也是通过拉伸试验测定的。常用塑性指标是断后伸长率和断面收缩率。

(1) 断后伸长率 拉伸试样拉断后，标距的相对伸长与原始标距的百分比称为断后伸长率，即

$$\delta = (L_1 - L_0) / L_0 \times 100\%$$

式中： L_0 ——试样原始标距长度，mm；

L_1 ——试样被拉断时标距长度，mm。

必须注意，被测试样长度不同，测得的断后伸长率是不同的，长、短试样断后伸长率分别用符号 δ_{10} 和 δ_5 表示，通常 δ_{10} 也写为 δ 。

(2) 断面收缩率 拉伸试样拉断后，缩颈处横截面积的最大缩减量与试样原始截面积的百分比称为断面收缩率，即

$$\psi = (S_0 - S_1) / S_0 \times 100\%$$

式中： S_0 ——试样原始截面积， mm^2 ；

S_1 ——试样被拉断时缩颈处的最小横截面积， mm^2 。

断面收缩率不受试样尺寸的影响，因此能更可靠地反映材料的塑性大小。

断后伸长率和断面收缩率数值愈大，表明材料的塑性愈好，良好的塑性对机械零件的加工和使用都具有重要意义。例如，塑性良好的材料易于进行压力加工（轧制、冲压、锻造等）；如果过载，由于产生塑性变形而不致突然断裂，可以避免事故发生。

除常温试验之外，还有金属材料高温拉伸试验方法（GB/T4338—1995）和低温拉伸试验方法（GB/T13239—1991）供选用。

第二节 硬 度

材料抵抗局部变形和局部破坏的能力称为硬度。

硬度是各种零件和工具必须具备的性能指标。机械制造中所用的刀具、量具、磨具等，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。

硬度试验方法很多，大体上可分为压入法、刻画法和弹性回跳法等三大类，金属材料质量检验主要用压入法进行硬度试验。压入法硬度值是表征材料表面局部体积内抵抗另一物体压入时变形的能力，它可间接反映出材料强度、疲劳强度等性能特点，试验操作简单，可直接在零件或工具上进行而不破坏工件。目前应用最为广泛的是布氏硬度试验和洛氏硬度试验。



一、布氏硬度试验法

1. 试验原理

图 1-3 为布氏硬度试验原理图。它是用一定直径的淬火钢球或硬质合金钢做压头以相应试验力压入被测材料表面,经规定保持时间后卸载,以压痕单位面积上所受试验力的大小来确定被测材料的硬度值,用符号 HB 表示。

$$H_B = F/S_{压} = 0.102 \times 2F / \pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})$$

式中: F ——试验力, N;

$S_{压}$ ——压痕表面积, mm^2 ;

D ——球体直径, mm;

d ——压痕平均值, mm。

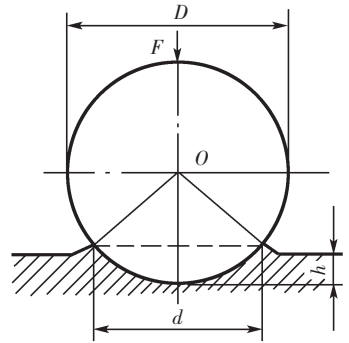


图 1-3 布氏硬度试验原理图

从上式可看出,当外载荷(F)、压头球体直径(D)一定时,布氏硬度值仅与压痕直径(d)有关。 d 越小,布氏硬度值越大,硬度愈高; d 越大,布氏硬度值越小,硬度越低。

通常布氏硬度值不标出单位。在实际应用中,布氏硬度一般不用计算,而是用专用的刻度放大镜量出压痕直径(d),根据压痕直径的大小,再从专门的硬度表中查出相应的布氏硬度值。

2. 表示方法

表示布氏硬度值时应同时标出压头类型,当试验压头为淬硬钢球时,硬度符号为 HBS;当试验压头为硬质合金钢球时,硬度符号为 HBW。HBS 或 HBW 之前数字为硬度值,符号后面依次用相应数值注明压头直径(mm)、试验力(kgf)、试验力保持时间(s)(小于 15s 不标注)。例如,170HBS10/1000/30 表示直径 10mm 的钢球压头,在 9807N(1000kgf)的试验力作用下,保持时间 30s 时测得的布氏硬度值为 170。

3. 应用范围及优缺点

布氏硬度计主要用来测量灰铸铁、有色金属以及经退火、正火和调质处理的钢材等材料。

布氏硬度优点是具有很高的测量精度,压痕面积较大,能较真实反映出材料的平均性能,而不受个别组成相和微小不均匀度的影响。另外,布氏硬度与抗拉强度之间存在一定的近似关系,因而在工程上得到广泛应用。

布氏硬度缺点是操作时间长,对不同材料需要更换压头和试验力,压痕测量也较费时间。由于球体本身变形会使测量结果不准确。因此 HBS 适于测量布氏硬度值小于 450 的材料,HBW 适于测量硬度值小于 650 的材料。因压痕较大,布氏硬度不适宜检验薄件或成品。

二、洛氏硬度试验法

1. 试验原理

洛氏硬度试验是用顶角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为 1.588mm 的淬火钢球作为压头,试验时先施加初载荷,目的是使压头与试样表面接触良好,保证测量结果准确,然后施加



主载荷,保持规定时间后卸除主载荷,依据压痕深度确定硬度值。

图 1-4 为洛氏硬度试验原理图。0-0 为 120° 金刚石压头没有与试件表面接触时的位置;1-1 为加初载后压头压入深度 ab ;2-2 为压头加主载后的位置,此时压头压入深度 ac ;卸除主载后,由于恢复弹性变形,压头位置提高到 3-3 位置。最后,压头受主载后实际压入表面的深度为 bd ,洛氏硬度用 bd 大小来衡量。

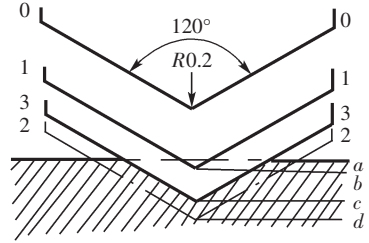


图 1-4 洛氏硬度试验原理图

实际应用时洛氏硬度可直接从硬度计表盘中读出。压头端点每移动 0.002mm,表盘上转过一小格,压头移动 bd 距离,指针应转 $bd/0.002$ 格,计算公式如下

$$H_R = K - bd/0.002$$

式中: K ——常数(金刚石作压头, $K=100$;钢球作压头, $K=130$)。

2. 常用洛氏硬度标尺及应用范围

为了用一台硬度计测定从软到硬不同金属材料的硬度,可采用不同的压头和总试验力组成几种不同的洛氏硬度标尺,每种标尺用一个字母在洛氏硬度符号 HR 后面加以注明。常用的洛氏硬度标尺是 A、B、C 三种,其中 C 标尺应用最广。HRA 主要用于测量硬质合金、表面淬火钢等;HRB 主要用于测量软钢、退火钢、铜合金等;HRC 主要用于测量一般淬火钢件。

3. 优缺点

洛氏硬度试验法操作简单迅速,能直接从刻度盘上读出硬度值;测试的硬度值范围较大,既可测定软的金属材料,也可测定最硬的金属材料;试样表面压痕较小,可直接测量成品或薄工件。但由于压痕小,对内部组织和硬度不均匀的材料,硬度波动较大,为提高测量精度,通常测定三个不同点取平均值。

第三节 冲击韧性

许多机械零件是在冲击载荷下工作的,例如,锻锤的锤杆,冲床的冲头,火车挂钩,活塞等。冲击载荷比静载荷的破坏能力大,对于承受冲击载荷的材料,不仅要求具有高的强度和一定塑性,还必须具备足够的冲击韧性。金属材料抵抗冲击载荷作用而不破坏的能力称为冲击韧性,冲击韧性通常用一次摆锤冲击试验来测定。

摆锤式一次冲击试验 摆锤式一次冲击试验是目前最普遍的一种试验方法。为了使试验结果可以相互比较,按国家标准 GB/T229-1994 规定,将金属材料制成冲击试样。

摆锤冲击试验原理如图 1-5 所示。将标准试样安放在摆锤式试验机的支座上,试样缺口背向摆锤,将具有一定重力 G 的摆锤举至一定高度 H_1 ,使其获得一定势能 GH_1 ,然后由此高度落下将试样冲断,摆锤剩余势能为 GH_2 。冲击吸收功(A_K)除以试样缺口处的截面积 S_0 ,即可得到材料的冲击韧性 a_k ,计算公式如下



$$a_k = A_K / S_0 = G(H_1 - H_2) / S_0$$

- 式中： A_K ——冲击吸收功，J；
 G ——摆锤的重力，N；
 H_1 ——摆锤举起的高度，m；
 H_2 ——冲断试样后，摆锤的高度，m；
 a_k ——冲击韧度，J/cm²；
 S_0 ——试样缺口处截面积，cm²。

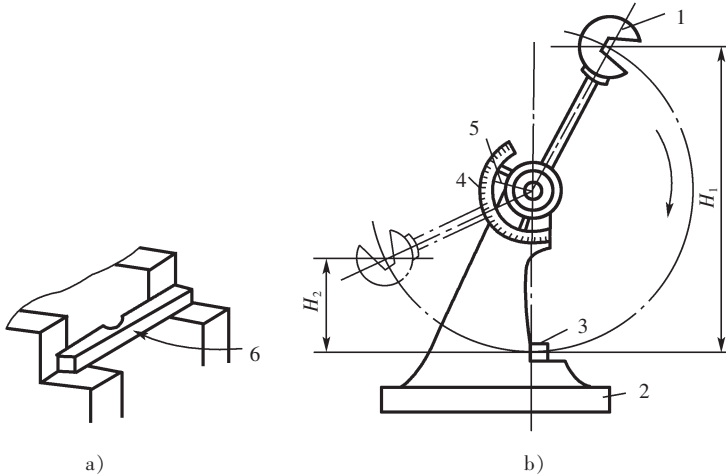


图 1-5 冲击试验示意图

1—摆锤 2—机架 3—试样 4—刻度盘 5—指针 6—冲击方向

需要说明一点，使用不同类型的标准试样（U 型缺口或 V 型缺口）进行试验时，冲击韧度分别以 a_{ku} 或 a_{kv} 表示。

冲击韧度 a_k 值愈大，表明材料的韧性愈好，受到冲击时不易断裂。 a_k 值的大小受很多因素影响，不仅与试样形状、表面粗糙度、内部组织有关，还与试验时温度密切相关。因此冲击韧度值一般只作为选材时的参考，而不能作为计算依据。

在工程实际中，在冲击载荷作用下工作的机械零件，很少因受大能量一次冲击而破坏，大多数是经千百万次的小能量多次重复冲击，最后导致断裂。例如，冲模的冲头、凿岩机上的活塞等，所以用 a_k 值来衡量材料的冲击抗力，不符合实际情况，应采用小能量多次重复冲击试验来测定。

试验证明，材料在多次冲击下的破坏过程是裂纹产生和扩展过程，它是多次冲击损伤积累发展的结果。因此材料的多次冲击抗力是一项取决于材料强度和塑性的综合性指标，冲击能量高时，材料的多次冲击抗力主要取决于塑性；冲击能量低时，主要取决于强度。



第四节 疲劳极限强度

一、疲劳概念

许多机械零件,例如轴、齿轮、轴承、弹簧等,在工作中承受的是交变载荷。在这种载荷作用下,虽然零件所受应力远低于材料的屈服点,但在长期使用中往往会突然发生断裂,这种破坏过程称为疲劳断裂。

疲劳破坏是机械零件失效的主要原因之一。据统计,在机械零件失效中大约有 80% 以上属于疲劳破坏。而且疲劳破坏前没有明显的变形而突然断裂。所以,疲劳破坏经常造成重大事故。

二、疲劳极限

工程上规定,材料经无数次重复交变载荷作用而不发生断裂的最大应力称为疲劳极限。图 1-6 是通过试验测定的材料交变应力 σ 和断裂前应力循环次数 N 之间的关系曲线(疲劳曲线)。曲线表明,材料受的交变应力越大,则断裂时应力循环次数(N)越少,反之,则 N 越大。当应力低于一定值时,试样经无限周次循环也不破坏,此应力值称为材料的疲劳极限,用 σ_r 表示;对称循环(见图 1-7) $r = -1$,故疲劳极限用 σ_{-1} 表示。实际上,金属材料不可能作无限次交变载荷试验。对于黑色金属,一般规定循环周次 10^7 而不破坏的最大应力为疲劳极限,有色金属和某些高强度钢,规定循环周次 10^8 。

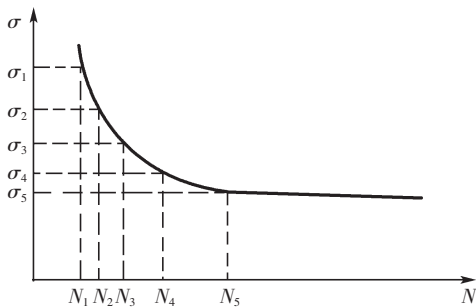


图 1-6 疲劳曲线示意图

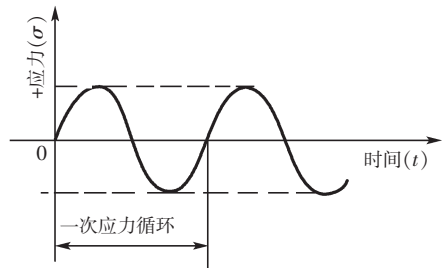


图 1-7 对称循环交变应力图

三、提高疲劳极限途径

金属产生疲劳同许多因素有关,目前普遍认为是由于材料内部有缺陷,如夹杂物、气孔、疏松等;表面划痕、残余应力及其他能引起应力集中的缺陷导致微裂纹产生,这种微裂纹随应力循环次数的增加而逐渐扩展,致使零件突然断裂。

针对上述原因,为了提高零件的疲劳极限强度,应改善结构设计避免应力集中;提高加工工艺减少内部组织缺陷;还可以通过降低零件表面粗糙度和表面强化方法(如表面淬火、表面滚压、喷丸处理等)来提高表面加工质量。



思考与练习

- 1-1 何谓金属材料的力学性能？常用的力学性能指标有哪些？
- 1-2 画出低碳钢的拉伸曲线,并简述拉伸变形的几个阶段。
- 1-3 什么是塑性？塑性好的材料有什么实用意义？
- 1-4 试述布氏和洛氏硬度的试验原理及应用范围。
- 1-5 工程材料的性能包括哪几个方面？
- 1-6 什么叫疲劳极限？为什么表面强化处理能有效提高零件的疲劳极限？
- 1-7 何谓冲击韧性？一次冲击和多次冲击抗力有何区别？
- 1-8 下列各种工件应采用何种硬度试验方法来测定？并写出硬度值符号。
 - (1) 钳工用手锤；
 - (2) 供应状态的各种碳钢钢材；
 - (3) 硬质合金刀片；
 - (4) 铸铁机床床身毛坯件。



第二章 金属与合金的晶体结构与结晶

金属材料与非金属材料相比,不仅具有良好的力学性能和某些物理、化学性能,而且工艺性能在多方面也较优良。化学成分不同的金属具有不同性能,例如,纯铁强度比纯铝高,但其导电性和导热性不如纯铝。但即使是成分相同的金属,当生产条件不同或在不同状态下,它们的性能也有很大的差别,例如两块含碳量均为 0.8% 的碳钢,其中一块是从冶金厂出厂的,硬度为 20HRC,另一块加工成刀具并进行热处理,硬度可达 60HRC 以上。造成上述性能差异的主要原因,主要是材料内部结构不同,因此掌握金属和合金的内部结构和结晶规律,对于合理选材具有重要意义。

第一节 金属的晶体结构

自然界的固态物质,根据原子在内部的排列特征可分为晶体与非晶体两大类。物质内部原子作有规则排列的固体物质,称为晶体。绝大多数金属和合金固态下都属于晶体。内部原子呈现无序堆积状况的固体物质,称为非晶体,例如,松香、玻璃、沥青等。

晶体与非晶体,由于原子排列方式不同,它们的性能也有差异。晶体具有固定的熔点,其性能呈各向异性;非晶体没有固定的熔点,而且表现为各向同性。

一、晶体结构的基础知识

1. 晶格

为了形象描述晶体内部原子排列的规律,将原子抽象为几何点,并用一些假想联线将几何点在三维方向连接起来,这样构成了一个空间格子(见图 2-1a)。这种抽象的、用于描述原子在晶体中排列规律的空间格子称为晶格。

2. 晶胞

晶体中原子排列具有周期性变化的特点,通常从晶格中选取一个能够完整反映晶格特征的最小几何单元称为晶胞(见图 2-1b)。

3. 晶胞表示方法

不同元素结构不同,晶胞的大小和形状也有差异。结晶学中规定,晶胞的大小以其各棱边尺寸 a 、 b 、 c 表示,称为晶格常数,以 Å (埃)为单位来度量($1 \text{ Å} = 1 \times 10^{-8} \text{ cm}$)。晶胞各棱边之间的夹角分别以 α 、 β 、 γ 表示。当棱边 $a = b = c$,棱边夹角 $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ 时,这种晶胞称为简单立方晶胞,见图 2-1c。

4. 原子半径

金属晶体中最邻近的原子间距的一半,称为原子半径,它主要取决于晶格类型和晶格