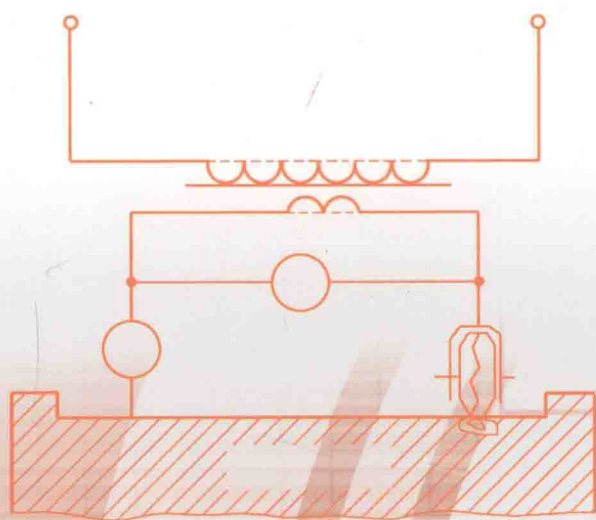




高职高专“十二五”规划教材
机械专业系列

金属材料与热处理

主编 程芳 杜伟





高职高专“十二五”规划教材

机械专业系列

金属材料与热处理

主 审 翟德梅
主 编 程 芳 杜 伟
副主编 苏 光 刘晓莉 陈 旻
参 编 楚 庄 范虎军



内容简介

本书以教育部《关于加强高职高专人才培养工作的若干意见》等文件为指导思想,是根据教育部制定的《高职高专教育基础课程教学基本要求》编写的。全书共分八章,主要为:金属材料的性能,金属学的基本知识,钢的热处理,合金钢,铸铁,有色金属及粉末冶金材料,高分子材料、陶瓷材料及复合材料,机械制造中零件材料的选择与应用等内容。

本书可作为高等职业技术学院机械类专业的通用教材,也可作为成人高校、本科院校举办的二级职业技术学院、民办高校的教材及有关专业技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

金属材料与热处理 / 程芳,杜伟主编. — 南京: 南京大学出版社, 2011. 8

高职高专“十二五”规划教材. 机械专业系列

ISBN 978-7-305-08780-6

I. ①金… II. ①程…②杜… III. ①金属材料—高等职业教育—教材②热处理—高等职业教育—教材 IV. ①TG14②TG15

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 174307 号

出版发行 南京大学出版社
社 址 南京市汉口路 22 号 邮 编 210093
网 址 <http://www.NjupCo.com>
出 版 人 左 健
丛 书 名 高职高专“十二五”规划教材·机械专业系列
书 名 金属材料及热处理
编 著 程 芳 杜 伟
责任编辑 周丽娟 编辑热线 025-83597482
照 排 南京南琳图文制作有限公司
印 刷 南京京新印刷厂
开 本 787×1092 1/16 印张 14.25 字数 356 千
版 次 2011 年 8 月第 1 版 2011 年 8 月第 1 次印刷
ISBN 978-7-305-08780-6
定 价 29.00 元
发行热线 025-83594756 83686452
电子邮箱 Press@NjupCo.com
Sales@NjupCo.com(市场部)

* 版权所有,侵权必究

* 凡购买南大版图书,如有印装质量问题,请与所购图书销售部门联系调换

前 言

本书以教育部《关于加强高职高专人才培养工作的若干意见》等文件为指导思想,根据教育部制定的《高职高专教育基础课程教学基本要求》和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》要求,为适应高职高专教育课程改革的不断发展而编写。

本教材在编写过程中,除认真总结和充分吸取各校近年来的课程改革的成功经验与成果外,还力求体现基础理论以必需、够用为度,以掌握基本概念,强化应用为教学重点的原则,做到深入浅出、通俗易懂,使教材努力做到“紧跟课改,理念先进,内容实用,教师好教,学生爱学”;充分适应高职高专教学需要,体现高职高专的基本特色。全书名词、术语、材料的牌号均采用了最新国家标准,使用了法定计量单位;每章附有复习思考题,教师可结合具体情况选择布置,以利学生掌握基本概念,巩固所学知识,培养分析问题、解决实际问题的能力。

全书共分八章,内容主要包括:金属材料的性能;金属学的基本知识;金属热处理的基本基本原理和常用方法;常用的金属材料、非金属材料 and 复合材料以及机械制造中零件材料的选择等。本书是高等工程专科学校和高等职业技术学校机械类专业的教材,也可作为成人高校、本科院校举办的二级职业技术学院、民办高校的教材及有关专业技术人员的参考书。

本书由河南机电高等专科学校程芳、杜伟副教授任主编;河南机电高等专科学校苏光、厦门华天职业技术学院刘晓莉、三明职业技术学院陈旻任副主编;由河南机电高等专科学校翟德梅教授担任主审。参与本教材编写的还有河南机电高等专科学校楚庄、永城职业学院范虎军。全书由程芳负责最后的统稿工作。

全书具体编写分工如:程芳负责绪论、第3章及实验部分的编写;杜伟负责第4章的编写;苏光负责第2章、第8章及附录的编写;刘晓莉与陈旻共同负责第5章的编写;楚庄负责第6章、第7章的编写;范虎军负责第1章的编写。

本书在编写过程中参考了一些兄弟院校编写的教材和有关资料,并得到了有关单位和领导的支持与帮助,在此谨向关心、支持和帮助本教材编写工作的同志们表示衷心的感谢。

尽管我们在编写时已尽了最大努力,但由于水平有限,对于书中存在的缺点和错误,恳请同行和广大读者批评指正。

编 者

2011年5月

目 录

绪 论	1
第 1 章 金属材料的性能	3
1.1 金属材料的力学性能	3
1.2 金属材料的其他性能	11
复习思考题	11
第 2 章 金属学的基本知识	13
2.1 金属与合金的晶体结构	13
2.2 金属与合金的结晶	18
2.3 铁碳合金相图	29
复习思考题	47
第 3 章 钢的热处理	49
3.1 钢在加热时的组织转变	49
3.2 钢在冷却时的转变	52
3.3 钢的普通热处理	60
3.4 钢的表面热处理	69
3.5 影响热处理件的质量因素	74
3.6 热处理技术条件与工序位置	76
复习思考题	78
第 4 章 合金钢	81
4.1 合金元素在钢中的作用	81
4.2 合金结构钢	87
4.3 合金工具钢	103
4.4 特殊性能钢	113
复习思考题	122
第 5 章 铸 铁	125
5.1 铸铁的石墨化	125
5.2 灰铸铁	128
5.3 球墨铸铁	133
5.4 可锻铸铁	136
5.5 蠕墨铸铁	138
5.6 合金铸铁	139
复习思考题	140
第 6 章 有色金属及粉末冶金材料	142
6.1 铝及铝合金	142

6.2 铜及铜合金	150
6.3 滑动轴承合金	154
6.4 粉末冶金材料	158
复习思考题	161
第7章 高分子材料、陶瓷材料及复合材料	162
7.1 高分子材料	162
7.2 陶瓷材料	169
7.3 复合材料	170
复习思考题	172
第8章 机械制造中零件材料的选择与应用	174
8.1 机械零件的失效	174
8.2 机械零件的材料选择	176
8.3 典型零件与工具的选材实例分析	180
复习思考题	187
实 验	189
实验1 金属材料的硬度测定	189
实验2 金相显微镜的使用及金相试样的制备	192
实验3 铁碳合金平衡组织观察与分析	198
实验4 铸铁的显微组织观察	200
附 录	201
附录I 布氏硬度换算表	201
附录II 黑色金属硬度及强度换算表	207
附录III 常用结构钢退火及正火工艺规范	212
附录IV 常用工具钢退火及正火工艺规范	212
附录V 常用钢种回火温度与硬度对照表	213
附录VI 国内外常用钢钢号对照表	214
附录VII 低合金高强度结构钢新旧标准牌号对照表(参考)	219
主要参考文献	220

绪 论

一、材料的分类

材料是人类生活和从事生产的物质基础,是衡量人类社会文明程度及劳动力发展水平的重要标志。因此,历史学家常以石器时代、青铜器时代、铁器时代来划分历史发展的各个阶段,而今天人类正处在人工合成材料的新时代。目前,材料、能源、信息已成为发展现代化社会生产的三大支柱,而材料又是能源与信息发展的物质基础,材料的品种、数量和质量是衡量一个国家科学技术和国民经济水平及国防力量的重要标志。

现代材料种类繁多,据粗略统计,目前世界上的材料已达到 40 多万种,且每年以大约 5% 的速率增加。在这些材料中,用于机械制造的各种材料称为工程材料。机械工程材料按化学组成可分为金属材料、非金属材料和复合材料三大类。

金属材料是机械工业生产中应用最广、最重要的工程材料,主要包括以铁为基的合金(俗称黑色金属),如钢、铸铁和铁合金等;有色金属材料,如铜及其合金、铝及其合金等。金属材料不仅来源丰富,而且还具有优良的使用性能和工艺性能,可以通过不同的成分配制、不同的加工和热处理工艺来改变其组织和性能,从而进一步扩大其使用范围。

机械制造中常用的非金属材料主要是高分子材料和陶瓷材料。这些材料具有金属材料所不具备的某些特性,如高分子材料的耐腐蚀性、电绝缘性、隔音、减振、重量轻、原料来源丰富、价廉以及成型加工容易等;陶瓷材料的高熔点、高硬度、耐高温以及特殊的物理性能等。它们在工业生产中能够代替部分金属材料,已经成为一种重要的、独立的新型工程材料。近年来非金属材料发展很快,其中以人工合成高分子材料的发展最为迅速。

复合材料是近年来人们为集中各类材料的优异性于一体,充分发挥各类材料的潜力而制成的一类新型材料。这类材料具有高的比强度和比弹性模量、良好的抗疲劳性和减振性、耐高温性以及密度小、隔音、隔热、阻燃等优良的物理性能和力学性能,已被广泛用于航空、建筑、机械、交通运输以及国防工业等部门。复合材料是一种很有发展前途的材料。

随着国民经济的高速发展,机械工程材料的使用量愈来愈大。在机械产品的设计和制造过程中,有关机械工程材料的选用和热处理方面的问题日益增多。实践证明,生产中往往由于选材不当或热处理不妥,会使机械零件的使用性能达不到规定的技术要求,从而导致零件在使用过程中发生过量变形、磨损或断裂等而早期失效。所以,在生产中合理选用工程材料和热处理方法,正确制定工艺路线,对充分发挥工程材料的性能潜力、保证材料具有良好的加工性能、获得理想的使用性能、提高产品质量、节约材料、降低成本等方面都起着重大的作用。

二、材料科学的形成

材料科学是在生产实践中发展起来的,我们的祖先对材料的发展做出了杰出的贡献。早在 4 000 年以前,我国就已开始使用天然存在的纯铜;在殷、商时代,我国的青铜冶炼与铸造技术便已达到了较高的水平;到春秋、战国时期,在《周礼·考工记》中,我国人民认识并总结了青

铜的成分、性能和用途之间的关系与规律,描述了“六齐”规律,这是世界上最早的关于金属材料合金化工艺的总结;到了汉代,我国“先炼铁后炼钢”的技术已居世界领先地位;从西汉到明朝,我国的冶铁、炼钢、铸钟、锻铁、淬火等各种金属加工方法以及钢铁材料的应用都已达到了相当高的水平。所有这些在西汉司马迁的《史记·天官书》、东汉班固的《汉书·王褒传》、明代宋应星的《天工开物》等科学史书中都有详细的记载与论述。

历史证明,我们勤劳智慧的祖先,在材料的发展史上有过辉煌的成就,对人类的文明做出了巨大的贡献。但长期以来,人们对材料的认识仅是表面的,没有上升到“知其所以然”的理性认识水平。直到1863年光学显微镜第一次被用于研究金属,出现了“金相学”后,才使人们对材料的认识进入了微观领域,并上升到理性水平。1912年X射线衍射技术被用来研究材料的晶体微观结构,1932年电子显微镜的问世以及后来出现的各种谱仪等先进分析工具,将已有的人类对材料微观世界的认识带入了更深的层次。另外,一些与材料有关的基础学科(如化学、物理化学、高分子化学、量子力学、固体物理学等)的进展,又有力地推动了材料研究的深化。在此基础上,逐步形成了跨越多学科的材料科学。因此,材料科学是研究材料的化学组成和微观结构与材料性能之间关系的一门科学,同时还研究制取材料和使用材料的有关知识。

在当今世界范围内,高新材料技术是高科技发展的一个关键领域,起着先导和基础的作用,常被视为高技术发展的突破口,目前我国将材料的研究、开发也放在了重要位置。金属材料等工程材料是材料科学的一个分支,在国民经济迅猛发展的今天,对工程材料的性能要求也越来越高,在设计制造高性能金属材料的同时,又迅速发展和应用了高性能的非金属材料。故作为工程技术人员应具备更加广泛的各种工程材料的相关知识。

三、本课程的目的、任务和学习方法

“金属材料及热处理”是高职、高专机械类专业必修的技术基础课。其目的是使学生获得有关机械工程材料的基本理论和基础知识,为学习其他有关课程和将来从事生产技术工作奠定必要的基础。

本课程的内容主要由金属的力学性能、金属学的基本知识、钢的热处理、常用金属材料、非金属材料、复合材料以及工程材料的选用等部分组成。

本课程的具体任务是:熟悉常用机械工程材料的成分、组织结构与性能间的关系以及有关的加工工艺对其影响;初步掌握常用金属材料的性能和应用,具备选用常用材料的能力;初步具有正确选定一般零件的热处理方法及确定其工序位置的能力。

本课程具有较强的理论性与应用性,学习中应注重分析、理解与运用,并注意前后知识的衔接与综合应用;为了提高分析问题、解决问题的能力,在理论学习的同时,要注意联系生产实际,重视实验环节,认真完成作业。教材中热处理方法的选择及确定热处理工序位置、工程材料的选用等内容,尚需在有关后续课程、课程设计和毕业设计中反复练习、巩固与提高后,才能达到掌握与应用的要求。本课程的实践性和实用性都很强,为保证教学质量,本课程应安排在金工实习之后学习。

第 1 章 金属材料的性能

金属材料由于其特有的性能而被广泛应用。在机械制造行业中,为了设计制造具有竞争力的产品,必须首先了解和掌握材料的各种性能。通常把金属材料的性能分为使用性能和工艺性能。其中使用性能是指金属材料为保证机械零件或工具正常工作应具备的性能,即在使用过程中所表现出的特性。了解并掌握金属的性能,才能正确、经济、合理地选用金属材料。金属材料使用性能的好坏,与我们的日常生活密切相关。金属材料的使用性能包括力学性能、物理性能和化学性能。

1.1 金属材料的力学性能

金属材料的力学性能是指金属在不同环境因素(温度、介质)下,承受外加载荷作用时所表现的行为。这种行为通常表现为金属的变形和断裂。因此,金属材料的力学性能可以理解为金属抵抗外加载荷引起的变形和断裂的能力。金属材料常用的力学性能主要有强度、塑性、硬度、韧性和疲劳强度等。

一、强度与塑性

强度是指金属在静载荷作用下抵抗永久变形和断裂的能力。塑性是指金属在静载荷作用下发生不可逆变形的能力。金属材料的强度指标与塑性指标可以通过拉伸试验测得。

拉伸试验是在拉伸试验机上进行的。试验之前,先将被测金属材料制成图 1-1 所示的标准试样(参见 GB 6397—1986《金属拉伸试验试样》),图中 d_0 为试样原始直径, L_0 为试样原始标距长度。按照 GB 6397—1986《金属拉伸试验试样》规定:试样分为长试样和短试样,对圆形拉伸试样,长试样 $L_0=10d_0$;短试样 $L_0=5d_0$ 。

试验时,将试样装夹在试验机上,在试样两端缓慢地施加轴向拉伸载荷,使试样承受轴向静拉力。随着载荷不断增加,试样被逐步拉长,直到拉断。在拉伸过程中,试验机将自动记录每一瞬间的载荷 F 与伸长量 ΔL 变化曲线,通常把这种曲线称为拉伸曲线,图 1-2 为低碳钢的拉伸曲线。

观察拉伸试验和拉伸曲线会发现,在拉伸试验的开始阶段,试样的伸长量 ΔL 与拉伸力 F 之间成正比例关系,在拉伸曲线图中为过原点的斜直线 Op 。在该阶段,当拉伸力增加时,试样的伸长量 ΔL 呈正比例增加;去除拉伸力,试样能完全恢复到原来的形状和尺寸,即试样处于弹性变形阶段,图中 F_p 是试样保持弹性变形的最大拉伸力;当拉伸力在 $F_p \sim F_e$ 间,试样除产

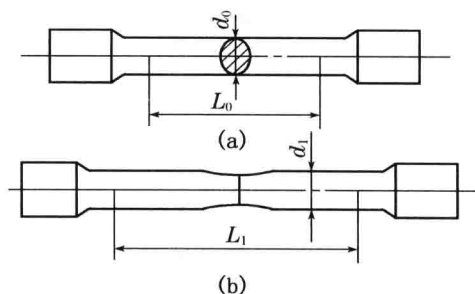


图 1-1 圆形拉伸试样

(a) 圆形拉伸试样 (b) 拉断后的试样

生弹性变形外,还将产生微量的塑性变形,试样的伸长量与载荷已不再成正比例关系,但试样仍可认为是处于弹性变形阶段;当拉伸力继续增加到 F_s 时,拉伸曲线在 s 点后出现一个平台,即在拉伸力不增加的情况下,试样也会明显伸长,这种现象称为“屈服”, F_s 称为屈服拉伸力;当拉伸力超过屈服拉伸力后,试样抵抗变形的能力将会增加,此为冷变形强化现象。在拉伸曲线上表现为一段上升曲线,即随着塑性变形量的增大,试样变形抗力也逐渐增大。

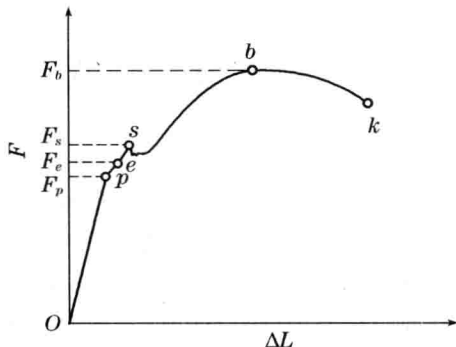


图 1-2 低碳钢的拉伸曲线

当拉伸力达到 F_b 时,试样的局部截面开始收缩,即产生“缩颈”现象。由于缩颈使试样的变形局限在缩颈部分,故此处承受的拉伸力迅速减小,直至试样被拉断。 F_b 是试样拉断前能承受的最大拉伸力,称为极限拉伸力。

从完整的拉伸试验和拉伸曲线上可以看出,试样从开始拉伸到断裂要经过弹性变形阶段、屈服阶段、冷变形强化阶段、缩颈与断裂阶段。

1. 强度指标

金属材料的强度用应力来表示,当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。常用的强度指标有弹性极限、屈服点和抗拉强度。

(1) 弹性极限 弹性极限是指试样产生完全弹性变形时所能承受的最大应力,用符号 σ_e 表示,单位为 MPa。弹性极限 σ_e 的值可用下式计算:

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

式中, F_e 为试样产生完全弹性变形时的最大拉伸力, N; S_0 为试样原始横截面积, mm^2 。

(2) 屈服点 屈服点是指试样在拉伸过程中,当拉伸力不增加(保持恒定)试样仍能继续伸长(变形)时的应力。屈服点是工程技术上极为重要的力学性能指标之一,是大多数机械零件选材和设计的依据。屈服点用符号 σ_s 表示,单位为 MPa。屈服点 σ_s 的值可用下式计算:

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

式中, F_s 为试样屈服时的拉伸力, N; S_0 为试样原始横截面积, mm^2 。

工业上使用的一些金属材料,如高碳钢、铸铁等,在进行拉伸试验时没有明显的屈服现象,也不会产生缩颈现象,这就无法确定 σ_s 。因此,GB 1063—1989 规定,试样去除拉伸力后,其标距部分的残余伸长量达到原始标距长度 0.2% 时所对应的应力为该材料的屈服点,用符号 $\sigma_{0.2}$ 表示。

(3) 抗拉强度 抗拉强度是指试样拉断前所能承受的最大拉应力,用符号 σ_b 表示,单位为 MPa。抗拉强度 σ_b 的值可用下式计算:

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

式中, F_b 为试样承受的最大拉伸力, N; S_0 为试样原始横截面积, mm^2 。

σ_b 是金属由均匀塑性变形向局部集中塑性变形过渡的临界值,也是金属在静拉伸条件下

的最大承载能力。对于塑性金属来说,拉伸试样在承受最大拉应力 σ_b 之前,变形是均匀一致的,但超过 σ_b 后,金属开始出现缩颈现象,即产生集中变形。

2. 塑性指标

材料的塑性指标可以用试样拉断时的最大相对变形量来表示,常用的有断后伸长率和断面收缩率,它们是工程上广泛使用的表征材料塑性好坏的主要力学性能指标。

(1) 断后伸长率 断后伸长率是试样拉断后的标距增长量与原始标距之比,用符号 δ 表示,可用下式计算:

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

式中, L_1 为拉断后试样的标距,mm; L_0 为试样原始标距,mm。

材料的伸长率是随标距的增加而减小的,所以同一材料的短试样要比长试样所测得的伸长率大20%左右,对局部集中变形特别明显的材料,甚至可大到50%。因此以长、短两种试样求得的断后伸长率应分别以 δ_{10} 和 δ_5 表示。

(2) 断面收缩率 断面收缩率是指试样拉断后缩颈处横截面积的缩减量与原始横截面积之比,用符号 ψ 表示,可用下式计算:

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

式中, S_0 为试样原始横截面积,mm²; S_1 为试样断口处的横截面积,mm²。

虽然材料的塑性指标通常不直接用于工程设计计算,但材料的塑性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、轧制等成形加工,而且在使用时万一超载,由于能发生一定的塑性变形而不至于突然断裂,提高了工作的安全性。所以大多数机械零件除要求具有较高的强度外,还必须具有一定的塑性。

二、硬度

硬度是衡量金属软硬程度的一种性能指标,是金属表面上局部体积内抵抗塑性变形和破裂的能力。硬度的测定是通过硬度试验来获得的,硬度试验所用的设备简单,操作迅速方便,它不需要做成专门的试样,可直接在半成品或成品上测定,又不损坏被测工件,根据硬度值还可估计出材料的近似强度和耐磨性。硬度在一定程度上反映了材料的综合力学性能,因此在生产中应用很广。在产品零件设计图的技术条件中,硬度是一项主要技术指标。

硬度的测定方法很多,目前生产中应用较多的是布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度。

1. 布氏硬度

布氏硬度的试验原理是用一定直径 D 的淬火钢球或硬质合金球,在规定的试验载荷 F 的作用下压入被测金属表面(如图1-3所示),停留一定的时间后卸除载荷,在被测金属表面上得到一直径为 d 的压痕,测量压痕直径 d ,并由此计算压痕的球缺面积 S ,然后再求出压痕的单位面积上所承受的平均压力,以此作为被测金属的布氏硬度值。当选择淬火钢球为压头时,硬度的符号为HBS,适用于布氏

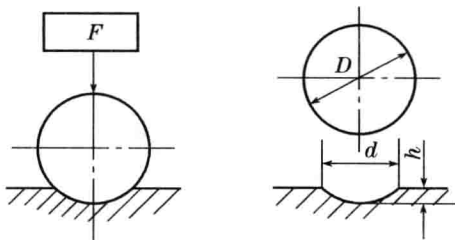


图 1-3 布氏硬度试验原理

硬度值低于 450 的金属材料;当选择硬质合金球为压头时,硬度的符号为 HBW,适用于布氏硬度值为 450~650 的金属材料。布氏硬度值可用下式计算:

$$HBS(HBW)=\frac{F}{S}=\frac{2F}{\pi D(D-\sqrt{D^2-d^2})}$$

式中, F 为载荷,kgf; D 为压头的直径,mm; d 为被测金属的压痕直径,mm。

由于金属有硬有软,工件有厚有薄,在进行布氏硬度试验时,压头直径 D 、载荷和载荷的保持时间应根据被测金属种类和厚度正确地进行选择。按 GB 231—1984 规定,压头直径有 10、5、2.5、2 和 1 mm 共五种,载荷与压头直径平方的比值(F/D^2)有 30、15、10、5、2.5、1.25 和 1 共七种,可根据金属材料的种类和布氏硬度范围,按表 1-1 选定 F/D^2 的值;载荷的保持时间黑色金属为 10~15 s,有色金属为 30 s,布氏硬度值小于 35 时为 60 s。

布氏硬度的表示方法是所测得的硬度值应在硬度符号的前面。除了采用钢球直径 D 为 10 mm,试验力为 3 000 kgf,保持时间为 10 s 的试验条件外,在其他试验条件下测得的硬度值,均应在硬度符号的后面用相应的数字注明压头直径、载荷大小和载荷保持时间。例如,150HBS10/1 000/30 表示:用直径为 10 mm 的淬火钢球,在 1 000 kgf 载荷作用下保持 30 s,测得的布氏硬度值为 150。500HBW5/750 表示:用直径为 5 mm 的硬质合金球,在 750 kgf 载荷作用下保持 10~15 s 测得的布氏硬度值为 500,一般情况下,试验力保持时间为 10~15 s 时不需要标注。

表 1-1 布氏硬度试验 F/D^2 值的选择

材 料	布 氏 硬 度	F/D^2 ①
钢及铸铁	<140	10
	>140	30
铜及其合金	<35	5
	35~130	10
	>130	30
轻金属及其合金	<35	2.5(或 1.25)
	35~80	10(或 5、15)
	>80	10(或 15)
铅、锡		1.25(或 1)

① 试验条件允许时,应尽量选用 10 mm 压头和无括号的 F/D^2 。

布氏硬度的特点是试验时金属表面压痕大,能客观地反映被测金属的平均硬度,试验结果较准确,数据重复性强。但由于其压痕大,不宜测量成品或薄片金属的硬度。

2. 洛氏硬度

洛氏硬度试验法是用一个锥角为 120 度的金刚石圆锥体或直径为 1.588 mm 的淬火钢球,在规定载荷作用下压入被测金属表面,由压头在金属表面所形成的压痕的深度来确定其硬度值。

图 1-4 表示金刚石圆锥压头的洛氏硬度试验原理。图中,0-0 为金刚石压头初始位置,

1-1 为在初载荷 98.07 N 作用下,压头压入被测金属的深度为 h_0 时的位置,加初载荷的目的是使压头与试样表面紧密接触,避免由于试样表面不平整而影响试验结果的精确性;2-2 为在总载荷(初载荷+主载荷)作用下,压头压入被测金属深度为 h_1 时的位置;3-3 为卸除主载荷后由于被测金属弹性变形恢复,被测金属的压痕表面略为提高的位置。这时由总载荷引起的塑性变形而产生的压痕深度为 e ,称为残余压痕深度增量,以此来衡量被测金属的硬度。显然, e 值愈大时,被测金属的硬度愈低;反之则越高。为了照顾习惯上数值越大,硬度越高的概念,故采用一个常数 k 减去 e 来表示硬度的大小,并用 0.002 mm 的压痕深度为一个硬度单位,由此获得的硬度值称为洛氏硬度值,用符号 HR 表示,即

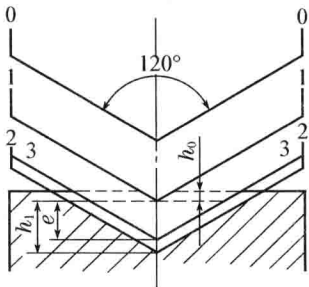


图 1-4 洛氏硬度试验原理

$$HR = \frac{k - e}{0.002}$$

式中 k 为常数,用金刚石圆锥体作压头时, $k=0.2\text{ mm}$;用淬火钢球作压头时, $k=0.26\text{ mm}$ 。

为了能用同一硬度计测量从极软到极硬材料的硬度,可采用不同的压头和载荷,组成几种不同的洛氏硬度标尺,其中常用的是 A、B、C 三种标尺。表 1-2 为这三种标尺的试验条件和应用范围。

表 1-2 常用洛氏硬度标尺的试验条件和应用

标尺	硬度符号	所用压头	总载荷/N(kgf)	硬度值有效范围	应用范围
A	HRA	金刚石圆锥	588.4 (60)	70~88	硬质合金、淬火工具钢、碳化物、浅表层硬化钢
B	HRB	φ1.588 淬火钢球	980.7 (100)	20~100	软钢、铜合金、铝合金、可锻铸铁
C	HRC	金刚石圆锥	1 471 (150)	20~70	淬火钢及低温回火钢、调质钢、深表层硬化钢

硬度值为一无名数,根据 GB/T 230—1991 规定,硬度数值写在符号 HR 的前面,HR 后面为使用的标尺,如 50HRC 表示用“C”标尺测定的洛氏硬度值为 50。在试验时,硬度值一般从硬度计的刻度盘上直接读出。

洛氏硬度试验是生产中广泛应用的一种硬度试验。其优点是:硬度试验压痕小,对试样表面损伤小,常用来直接检验成品或半成品的硬度;试验操作迅速简便,可以直接从试验机上读出硬度值;当采用不同标尺时,可测量出从极软到极硬材料的硬度。其缺点是由于压痕小,对内部组织和硬度不均匀的材料,所测结果不够准确。因此,在测试洛氏硬度时一般在被测金属的三个不同位置测出硬度值,再计算其平均值。洛氏硬度各标尺之间没有直接的对应关系。

3. 维氏硬度

布氏硬度试验不能测量硬度较高的金属材料;洛氏硬度试验虽可用来测定由极软到极硬金属材料的硬度,但不同标尺的硬度值之间没有简单的换算关系,使用上很不方便。为了能在同一种硬度标尺上,测定从极软到极硬金属材料的硬度值,特制定了维氏硬度试验法。

维氏硬度的试验原理与布氏硬度基本相似,图 1-5 为维氏硬度试验原理图,它是用一个相对面夹角为 136° 的金刚石正四棱锥体作压头,在规定的载荷 F 作用下压入被测金属表面,

保持一定时间后卸除载荷,则被测金属表面上压出一个正四棱锥形的压痕,测量压痕投影的两对角线的平均长度 d ,进而计算出压痕的表面积 S ,最后求出压痕单位面积上承受的平均压力,以此作为被测金属的硬度值,称为维氏硬度,用符号 HV 表示。即:

$$HV = \frac{F}{S} = \frac{F}{\frac{d^2}{2 \sin 68^\circ}} = 1.8544 \frac{F}{d^2}$$

式中, F 为载荷, kgf; d 为压痕两条对角线长度算术平均值, mm。

与布氏硬度一样,习惯上也只写出硬度数值而不标出单位。在硬度符号 HV 之前的数字为硬度值, HV 后面的数值依次表示载荷和载荷保持的时间(保持时间为 10~15 s 时不标注)。如: 640HV30 表示在 30 kgf 载荷作用下,保持 10~15 s 测得的维氏硬度值为 640; 620HV30/20 表示在 30 kgf 载荷作用下,保持 20 s 测得的维氏硬度值为 620。

维氏硬度适用范围宽,从极软到极硬的材料都可以测量,尤其适用于零件表面层硬度的测量,如化学热处理的渗层硬度测量,其结果精确可靠。但测取维氏硬度值时需要测量对角线长度,然后查表或计算,而且试样表面的质量要求高,所以,测量效率较低,没有洛氏硬度方便,不适用于成批生产的常规试验。

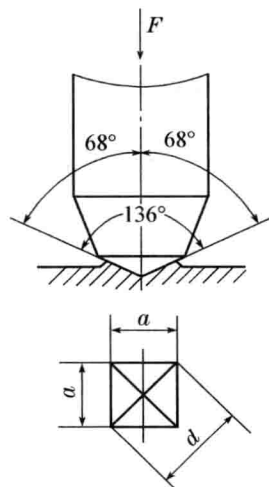


图 1-5 维氏硬度试验原理

三、冲击韧性

以很大速度作用于工件上的载荷称为冲击载荷。许多机械零件和工具在工作时承受冲击载荷的作用,如冲床的冲头、锻锤的锤杆、风动工具等。这类零件不仅要满足静力作用下的强度、塑性、硬度等性能判据,还必须具有足够抵抗冲击载荷的能力。

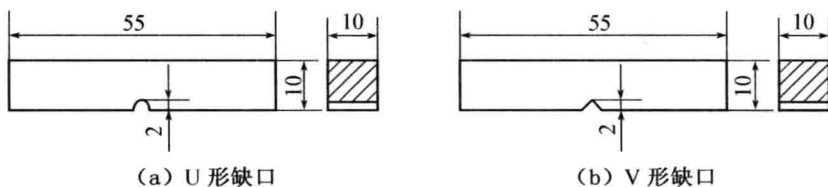


图 1-6 冲击试样

金属材料在冲击载荷的作用下,抵抗破坏的能力叫做冲击韧性。为了评定金属材料的冲击韧性,需进行一次冲击试验。一次冲击试验通常是在摆锤式冲击试验机上进行,按 GB/T 229—1994 规定,被测金属须制成标准冲击试样,如图 1-6 所示。试验时将试样放在试验机两支座 1 处,将一定质量 G 的摆锤自高度 h_1 自由落下,冲断试样后摆锤升高到 h_2 高度(见图 1-7 所示)。则摆锤冲断试样所消耗的能量,即为试样在冲击力一次作用下折断时所吸收的功,称为冲击功,用符号 A_k 表示。即:

$$A_k = Gg(h_1 - h_2)$$

根据两种试样缺口形状不同,冲击功分别用 A_{kU} 和 A_{kV} 表示,单位为焦耳(J)。冲击功不需

计算,可由冲击试验机的刻度盘上直接读出。试样缺口处单位横截面积 S 上的冲击功,称为冲击韧度,用符号 a_k 表示,单位为 J/cm^2 。

$$a_k = \frac{A_k}{S}$$

式中, S 为试样缺口处横截面积, cm^2 。

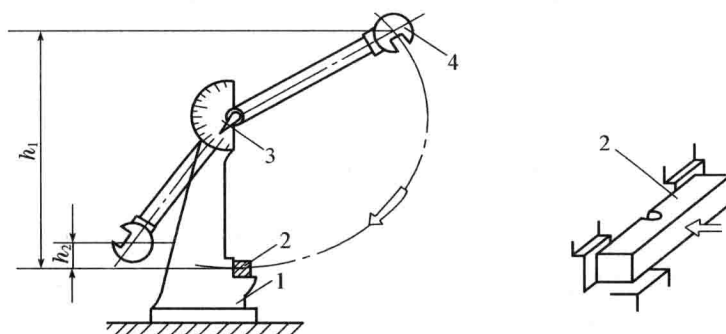


图 1-7 冲击试验原理

1—固定支座 2—带缺口的试样 3—指针 4—摆锤

冲击功 A_k 值愈大,材料的韧性愈好。一般把冲击功低的金属材料称为脆性材料。脆性材料在断裂前无明显的塑性变形,断口较平整、呈晶状或瓷状,有金属光泽;韧性材料在断裂前有明显的塑性变形,断口呈纤维状,无光泽。

冲击功 A_k 的大小与试验的温度有关。有些材料在室温 ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$) 左右试验时不显示脆性,而在较低温度下可能发生脆性断裂,从图 1-8 可以看出,在某一温度处,冲击功急剧降低,金属材料由韧性断裂转变为脆性断裂,这一温度区域称为韧脆转变温度。材料的韧脆转变温度越低,材料的低温抗冲击性能越好。

冲击功还与试样形状、尺寸、表面粗糙度、内部组织和缺陷有关。因此,冲击功一般作为选材的参考,而不能直接用于强度计算。应当指出,冲击试验时,冲击功中只有一部分消耗在断开试样的缺口截面上,而其余部分则消耗在冲断试样前缺口附近体积内的塑性变形上。因此,冲击韧度不能真正代表材料的韧性,而冲击功 A_k 作为材料韧性的判据指标更为适宜。国家标准现已规定采用冲击功 A_k 作为韧性判据指标。

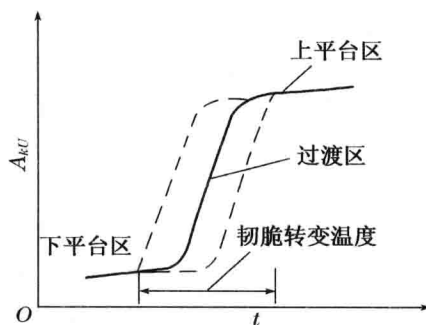


图 1-8 冲击吸收功-温度曲线

四、疲劳

1. 疲劳现象

工程上许多机械零件如轴、齿轮、弹簧等都是在变动载荷作用下工作的。根据变动载荷的作用方式不同,零件承受的应力可分为交变应力与重复应力两种,如图 1-9 所示。

承受交变应力或重复应力的零件,在工作过程中,往往在工作应力低于其屈服强度的情况下发生断裂,这种现象称为疲劳断裂。

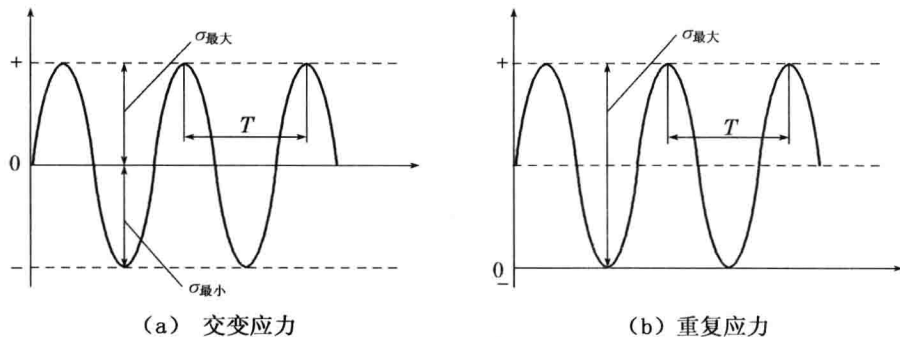


图 1-9 交变应力与重复应力曲线

疲劳断裂与在静载荷作用下的断裂不同,不管是脆性材料还是韧性材料,疲劳断裂都是突然发生的,事先很难觉察到明显的塑性变形,属低应力脆断,因此具有很大的危险性。因此,研究疲劳现象对于正确使用材料,进行合理设计具有重要意义。

研究表明:疲劳断裂产生的原因,一般是在零件应力集中部位或材料本身强度较低的部位,如原有微裂纹、软点、脱碳、夹杂或刀痕等处,是形成裂纹的核心。在交变应力或重复应力的反复作用下产生疲劳裂纹,并随着应力循环周次的增加,疲劳裂纹不断扩展,使零件的有效承载面逐渐减小,最后当减小到不能承受外加载荷时,零件即发生突然断裂。零件的疲劳失效过程可分为疲劳裂纹的产生、疲劳裂纹的扩展和瞬时断裂三个阶段。疲劳断裂的宏观断口一般也有三个区域,即以疲劳裂纹源为中心逐渐向内扩展呈海滩状条纹的裂纹扩展区和呈纤维状(韧性材料)或结晶状(脆性材料)的瞬时断裂区,如图 1-10 所示。

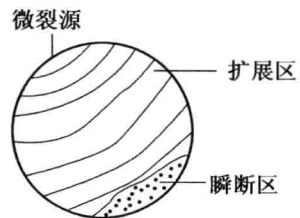
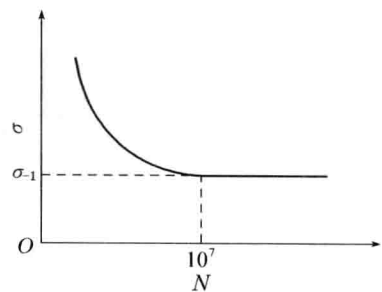


图 1-10 疲劳失效过程

2. 疲劳强度

大量试验证明,金属材料所受的最大交变应力 $\sigma_{\max}$ 愈大,则断裂前所经受的循环周次 N 愈少,如图 1-11 所示。这种交变应力 $\sigma_{\max}$ 与循环周次 N 的关系曲线称为疲劳曲线。从曲线上可以看出,循环应力值越低,断裂前的循环周次愈多。当循环应力降低到某一数值后,循环周次可以达到很大,甚至无限次循环,而试样仍不发生疲劳断裂,这种试样不发生断裂的最大循环应力,称为该金属的疲劳强度,光滑试样的对称循环旋转弯曲的疲劳强度用符号 σ_{-1} 表示。

图 1-11 $\sigma-N$ 曲线

按 GB/T 4337—1984 规定,一般钢铁材料取循环周次为 10^7 次时,能承受的最大循环应力为疲劳强度;对于有色金属,循环周次为 10^8 次;腐蚀介质作用下的钢铁材料,循环周次为 10^6 次。

在机械零件的失效形式中,约有 80% 是疲劳断裂所造成的。因此减少疲劳失效,对于提高零件使用寿命有着重要意义。为了提高零件的疲劳强度,除了改善设计结构,避免零件的应

力集中外,还应改善零件表面粗糙度,这样可减少缺口效应。此外,采用表面热处理如高频淬火、表面形变强化(喷丸、滚压、内孔挤压等)、化学热处理(渗碳、渗氮、碳—氮共渗)等都可改变零件表层的残余应力状态,提高零件的疲劳强度。

1.2 金属材料的其他性能

一、金属的物理性能

金属材料的物理性能是指其本身所固有的一些属性,如密度、熔点、热膨胀性、导热性、导电性和磁性等。由于机器零件的用途不同,对其物理性能的要求也有所不同。例如,飞机零件常选用密度小的铝、镁、钛合金来制造;设计电机、电器零件时,常要考虑金属材料的导电性等。

金属材料的物理性能有时对加工工艺也有一定的影响。例如,高速钢的导热性较差,锻造时应采用低的速度来加热升温,否则容易产生裂纹;而材料的导热性对切削刀具的温升有重大影响。又如,锡基轴承合金、铸铁和铸钢的熔点不同,故所选的熔炼设备、铸型材料等均有很大不同。

二、金属的化学性能

金属材料的化学性能主要是指金属在常温或高温时抵抗各种介质侵蚀的能力,如耐酸性、耐碱性、抗氧化性等。

对于在腐蚀性介质中或在高温下工作的机器零件,由于比在空气中或室温时的腐蚀更为强烈,故在设计这类零件时,除了要满足其力学性能、物理性能外,更要重视其化学性能,采用化学稳定性良好的合金。如化工设备、医疗用具等常采用不锈钢来制造,而内燃机排气阀和电站设备的一些零件则常选用耐热钢来制造。

三、金属的工艺性能

金属材料的工艺性能是指金属在制造机械零件和工具的过程中,适应各种冷、热加工的能力,也就是金属材料采用某种加工方法制成成品的难易程度,主要包括金属的铸造性能、锻压性能、焊接性能、热处理性能和切削加工性能等。金属材料工艺性能的好坏直接影响到制造零件的工艺方法、加工质量以及制造成本。

复习思考题

1. 说明下列力学性能指标的意义

σ_e σ_s $\sigma_{0.2}$ σ_b δ ψ α_k σ_{-1}

2. 什么是金属的力学性能? 金属的力学性能主要包括哪些方面?

3. 下列硬度标注方法是否正确,如何改正?

HBS210~240 450~480HBS HRC15~20 HV30