

教育部高职高专规划教材

# 机械 工 程 材 料

(第二版)

机械类专业适用

许德珠 主编

朱起凡、吕烨 副主编

高等教育出版社

责任编辑 杨宪玲  
封面设计 杨立新  
责任绘图 李维平  
版式设计 史新薇  
责任校对 殷 然  
责任印制

## 内容简介

本书是在第一版基础上,根据 1999 年教育部组织制定的《高职高专教育基础课程教学基本要求》,并参考 1997 年教育部审定批准的《高等学校工程专科机械工程材料教学基本要求》(机械类专业适用)的要求修订、编写的。可与田柏龄主编的《金工实验》配套使用。

本书内容包括:金属力学性能、金属学基本知识、钢的热处理、金属材料、非金属材料、复合材料、材料的表面处理、机械工程材料的选用等十二章。各章后面附有思考题与作业题。

本书经教育部高等学校工程专科机械基础课程委员会金属工艺学课程组组织审稿通过,并推荐作为高等学校工程专科和高等职业技术学院机械类专业的通用教材,也可作为电视大学、职工大学、函授大学及中等专业学校教材及有关专业工程技术人员的参考书。

本书第一版获教育部优秀教材一等奖和国家级优秀教学成果二等奖,本版为普通高等教育“九五”教育部重点教材。

## 图书在版编目(CIP)数据

机械工程材料 许德珠主编 .—2 版 .—北京:高等教育出版社,2001.7

教育部高职高专推荐教材 . 机械类专业适用

ISBN 7 - 04 - 009342 - 1

机... .许... 机械制造材料 - 高等学校:技术学校 - 教材 .TH14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 01008 号

机械工程材料(第二版)

许德珠 主编

---

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号

邮政编码 100009

电 话 010 - 64054588

传 真 010 - 64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所

印 刷

开 本 787×1092 1/16

版 次 年 月第 版

印 张 13

年 月第 版

字 数 300 000

印 次 年 月第 次印刷

定 价 11.50 元

---

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

# 出版说明

教材建设工作是整个高职高专教育教学工作中的重要组成部分。改革开放以来,在各级教育行政部门、学校和有关出版社的共同努力下,各地已出版了一批高职高专教育教材。但从整体上看,具有高职高专教育特色的教材极其匮乏,不少院校尚在借用本科或中专教材,教材建设仍落后于高职高专教育的发展需要。为此,1999年教育部组织制定了《高职高专教育基础课程教学基本要求》(以下简称《基本要求》)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(以下简称《培养规格》),通过推荐、招标及遴选,组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师,成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍,并在有关出版社的积极配合下,推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版500种,用5年左右时间完成。出版后的教材将覆盖高职高专教育的基础课程和主干专业课程。计划先用2~3年的时间,在继承原有高职、高专和成人高等学校教材建设成果的基础上,充分汲取近几年来各类学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验,解决好新形势下高职高专教育教材的有无问题;然后再用2~3年的时间,在《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上,通过研究、改革和建设,推出一大批教育部高职高专教育教材,从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

“教育部高职高专规划教材”是按照《基本要求》和《培养规格》的要求,充分汲取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的,适用于高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校使用。

教育部高等教育司

2000年4月3日

## 第二版前言

本书是在第一版基础上,根据1999年教育部组织制定的《高职高专教育基础课程教学基本要求》,并参考1997年教育部审定批准的《高等学校工程专科机械工程材料教学基本要求》(机械类专业适用)的要求修订、编写的。

与第一版比较,本次修订主要体现了以下几点:

1. 为我国高等学校工程专科和高等职业技术教育的培养目标服务,教材内容侧重于应用理论、应用技术和材料的选用;强调理论联系实际,强调对学生的实践训练;贯彻以应用为目的,以掌握概念、强化应用为教学重点,以必需、够用为度的原则。

2. 力求做到重点突出、少而精、深入浅出、通俗易懂,使教材清晰、形象,易于自学。

3. 对部分内容、插图进行了调整,增加了金属表面处理一章,删去了实验内容。田柏龄主编的《金工实验》可与本书配套使用。

4. 思考题与作业题可供课堂讨论和布置课后作业选用,以帮助学生思考、复习和巩固所学知识,培养分析和解决问题的能力。

5. 全书名词、术语、牌号均采用了最新国家标准,使用了法定计量单位。

使用本书时,各校可根据专业特点、教学时数等情况,对其内容进行调整和增删。书中带“\*”号的部分属于自学或选学的内容。

本课程应在金工实习后进行讲授。

本书由哈尔滨理工大学工业技术学院许德珠(绪论,第六章,附表、)、吕焯(第五章,第八章,附表),哈尔滨理工大学应用科学学院曾涛(第七章,第十一章),湖南工程学院(原湘潭机电高等专科学校)朱起凡(第四章,第九章,第十章,第十二章),郑州工业高等专科学校吴海宏(第一章,第二章,第三章)共同编写。许德珠教授任主编,朱起凡副教授和吕焯副教授任副主编。司乃钧教授参加了统稿工作。

本书由华北航天工业学院张继世教授主审,教育部高等学校工程专科机械基础课程委员会金属工艺学课程组组织审稿通过,并推荐作为全国高等学校工程专科和高等职业技术学院的通用教材。参加审稿会的有周大恂教授、张继世教授、司乃钧教授、李凤云教授、金禧德副教授、田柏龄副教授、曹学民副教授、陈俊龙副教授、周公毅副教授等。

在修订、编写过程中,屈丽副教授、胡廷刚讲师,以及有关学校、科研单位、工厂给予了帮助与指导,并为本书编写提供了有关资料,在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限,编写时间短促,书中不妥之处恳请批评指正

编者

2000年12月

# 目 录

绪论 .....	1	第五节 钢的回火 .....	74
第一章 金属的力学性能 .....	3	第六节 钢的淬透性 .....	77
第一节 强度与塑性 .....	3	第七节 钢的表面热处理 .....	78
第二节 硬度 .....	5	第八节 钢的化学热处理 .....	80
第三节 韧性与疲劳强度 .....	8	* 第九节 其他热处理方法简介 .....	84
思考题与作业题 .....	10	第十节 热处理零件质量分析 .....	86
第二章 纯金属与合金的晶体结构 .....	11	第十一节 热处理技术条件与工序位置 ...	88
第一节 纯金属的晶体结构 .....	11	思考题与作业题 .....	91
第二节 纯金属的实际晶体结构 .....	13	第七章 低合金钢与合金钢 .....	94
第三节 合金的晶体结构 .....	15	第一节 合金元素在钢中的作用 .....	94
思考题与作业题 .....	17	第二节 低合金钢 .....	98
第三章 纯金属与合金的结晶 .....	18	第三节 合金钢的分类与编号 .....	102
第一节 纯金属的结晶 .....	18	第四节 合金结构钢 .....	103
第二节 合金的结晶 .....	21	第五节 合金工具钢与高速工具钢 .....	113
第三节 合金性能与相图的关系 .....	28	第六节 不锈、耐蚀钢与耐热钢 .....	122
思考题与作业题 .....	29	思考题与作业题 .....	127
第四章 金属的塑性变形与再结晶 .....	31	第八章 铸铁 .....	129
第一节 金属的塑性变形 .....	31	第一节 铸铁的石墨化及其影响因素 .....	129
第二节 冷塑性变形对金属组织和性能的影响 .....	34	第二节 灰铸铁 .....	132
第三节 冷塑性变形后的金属在加热时组织和性能的变化 .....	35	第三节 球墨铸铁 .....	135
第四节 金属的热变形加工 .....	38	第四节 可锻铸铁 .....	138
思考题与作业题 .....	40	第五节 其他铸铁 .....	140
第五章 铁碳合金相图与非合金钢 .....	41	思考题与作业题 .....	142
第一节 铁碳合金的基本组织 .....	41	第九章 非铁合金与粉末冶金材料 .....	144
第二节 铁碳合金相图 .....	42	第一节 铝及铝合金 .....	144
第三节 非合金钢(碳钢) .....	51	第二节 铜及铜合金 .....	150
思考题与作业题 .....	59	* 第三节 钛及钛合金 .....	154
第六章 钢的热处理 .....	60	第四节 轴承合金 .....	155
第一节 钢在加热时的组织转变 .....	60	第五节 粉末冶金材料 .....	158
第二节 钢在冷却时的组织转变 .....	63	思考题与作业题 .....	162
第三节 钢的退火与正火 .....	70	第十章 金属材料的表面处理 .....	164
第四节 钢的淬火 .....	72	第一节 金属表面强化处理 .....	164
		第二节 金属表面防腐处理 .....	165
		第三节 金属表面装饰处理 .....	167

思考题与作业题 .....	168	附录 .....	196
第十一章 非金属材料与复合材料 .....	169	附表 非合金钢、低合金钢和合金钢	
第一节 高分子材料的基本知识 .....	169	合金元素规定含量界限值 .....	196
第二节 高分子材料 .....	172	附表 常用结构钢退火及正火工艺	
第三节 陶瓷 .....	176	规范 .....	197
第四节 复合材料 .....	177	附表 常用工具钢退火及正火工艺	
思考题与作业题 .....	181	规范 .....	197
第十二章 工程材料的选用 .....	182	附表 常用钢种回火温度与硬度对	
第一节 零件的失效 .....	182	照表 .....	198
第二节 选材的原则、方法和步骤 .....	183	附表 低合金高强度结构钢新旧	
第三节 典型零件与工具材料的选用 .....	186	标准牌号对照表 .....	199
思考题与作业题 .....	194	主要参考文献 .....	200

# 绪 论

材料是人类生产和生活的物质基础,人类社会发展的历史表明,生产技术的进步和生活水平的提高与新材料的应用息息相关。每一种新材料的出现和应用,都使社会生产和生活发生重大的变化,并有力地推动着人类文明的进步。因此,历史学家常以石器时代、铜器时代、铁器时代来划分历史发展的各个阶段,而现在人类已跨进人工合成材料的新时代。

目前,人们把信息、材料、能源和生物工程等称为现代技术的四大支柱,许多工业化国家都把材料科学作为重点发展的学科之一,可见材料科学在现代技术中的地位和作用。

材料的种类很多,其中用于机械制造的各种材料,称为机械工程材料。生产中用来制作机械工程结构、零件和工具的机械工程固体材料,分为金属材料、非金属材料 and 复合材料三大类。

金属材料是最重要的机械工程材料,它包括:铁和以铁为基的合金(俗称黑色金属),如钢、铸铁和铁合金等;非铁金属材料(俗称有色金属),如铜及铜合金、铝及铝合金等。钢铁材料应用最广,占整个结构材料、零件材料和工具材料的 90% 左右。

非金属材料是泛指除金属材料和复合材料以外的材料,机械制造中常用的有高分子材料、陶瓷材料等。非金属材料不但能代替部分金属材料,而且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发展的最为迅速。目前,金属材料、非金属材料 and 复合材料相互补充、相互结合,已经组成了一个完整的材料体系。

材料学科是在生产实践中发展起来的,我国的金属材料发展可追溯至史前,早在 4000 年前我国就开始使用青铜,例如 1939 年在河南武官村出土的殷商祭器司母戊大方鼎,其体积庞大,鼎的质量 875 kg,花纹精巧,造型精美。这充分说明远在商代(公元前 1562 年 ~ 公元前 1066 年),我国就有了高度发达的冶铸青铜技术。在春秋时期,我国发明了冶铁技术,开始用铸铁作农具,这比欧洲国家早 1 800 多年。明朝宋应星所著《天工开物》一书,内有冶铁、炼钢、铸钟、锻铁、淬火等各种金属加工方法,它是世界上有关金属加工工艺最早的科学著作之一,这充分反映了我国人民在金属加工工艺方面的卓越成就。

上述事实说明,我国古代在材料及其加工工艺方面的科学技术曾远远超过同时代的欧洲,在世界上占有过遥遥领先的地位,对世界文明和人类进步作出过巨大贡献。但是,由于封建制度的长期统治,我国工农业生产和科学技术等在解放前处于落后、停滞状态。

新中国成立后,经过几十年的建设和发展,目前我国已经建立了机械制造、矿山冶金、交通运输、石油化工、电子仪表、航空航天等许多现代工业,为国民经济进一步高速发展奠定了牢固的基础。目前,我国钢铁产品品种繁多,粗钢年产量已超过一亿吨(1997 年)。非金属材料的产量也有了很大增长。所有这些成就,都与工程材料及其加工工艺的发展有着密切的关系。

在取得巨大成绩的同时,也应当看到,当今世界各国的科技都在迅速发展,我国在工程材料科学方面与先进工业化国家相比,仍有一定差距。因此,我们必须加倍努力学习,刻苦钻研业务,

积极工作,赶超世界先进水平。

当今,机械工业正向着高速、自动、精密方向快速发展,机械工程材料的使用量越来越大,在产品的设计与制造过程中,所遇到的有关机械工程材料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,机械零件的使用性能不能达到规定的技术要求,从而导致零件在使用中因发生过量变形、过早磨损或断裂等而早期失效。所以,在生产中合理选用材料和热处理方法,正确制定工艺路线,对充分发挥材料本身的性能潜力,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,降低成本等都起着重大作用。

“机械工程材料”是高职和高专机械类专业必修的技术基础课。其教学目的和任务是使学生获得常用机械工程材料的基础知识,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。

学完本课程后应达到下列基本要求:

1. 熟悉常用机械工程材料的成分,组织结构、加工工艺与性能之间的关系及变化规律。
2. 掌握常用机械工程材料的性能与应用,具有选用常用机械工程材料和改变材料性能方法的初步能力。
3. 了解与本课程有关的新材料、新技术、新工艺及其发展概况。

根据教学内容,应安排适量的实验、课堂讨论和课后作业,以利于培养学生分析问题和解决问题的能力。

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后学习。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、课程设计和毕业设计中反复练习、巩固与提高后,才能达到基本掌握与应用的要求。

# 第一章 金属的力学性能

为了正确、合理地使用金属材料,必须了解其性能。金属材料的性能包括使用性能和工艺性能。使用性能是指金属材料在使用过程中所表现出来的性能,主要有力学性能、物理性能和化学性能;工艺性能是指金属材料在各种加工过程中所表现出来的性能,主要有铸造、锻造、焊接、热处理和切削加工等性能。在机械行业中选用材料时,一般以力学性能作为主要依据。力学性能是指金属在外力作用下所表现出来的特性(或指金属在力作用下,显示与弹性和非弹性反应相关或涉及应力 - 应变关系的性能)。常用的力学性能判据有:强度、塑性、硬度、韧性和疲劳强度等。金属力学性能判据是指表征和判定金属力学性能所用的指标和依据。判据的高低表征了金属抵抗各种损伤能力的大小,也是设计金属制件时选材和进行强度计算的主要依据。

## 第一节 强度与塑性

### 一、强度

强度是指金属抵抗塑性变形和断裂的能力。它是通过拉伸试验测得的。塑性变形是指金属在外力作用下,发生不能恢复原状的变形,也称永久变形。

#### 1. 拉伸试验

试验前,将金属材料制成一定形状和尺寸的标准拉伸试样,如图 1 - 1。图中  $d_0$  为试样原始直径(mm),  $l_0$  为试样原始标距长度(mm)。按照 GB 6397—86《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  $l_0 = 10 d_0$ ;短试样  $l_0 = 5 d_0$ 。

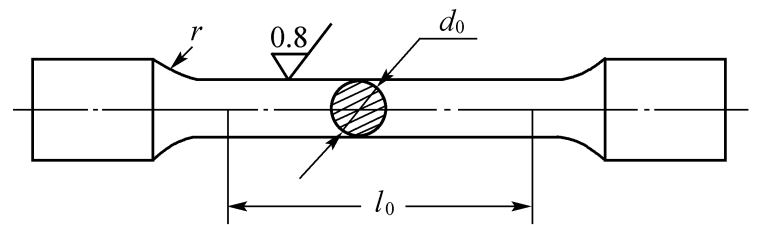


图 1 - 1 圆形标准拉伸试样

试验时,将标准试样装夹在拉伸试验机上,缓慢地进行拉伸,使试样承受轴向拉力,直至拉断为止。试验机自动记录装置可将整个拉伸过程中的拉伸力和伸长量描绘在以拉伸力  $F$  为纵坐标,伸长量  $l$  为横坐标的图上,即得到力 - 伸长量曲线,如图 1 - 2。当拉伸力由零逐渐增加到  $F_e$  时(即曲线上  $OE$  段),试样的伸长量与拉伸力成正比例增加,试样随拉伸力的增大而均匀伸长,此时若去除拉伸力,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。当拉伸力超过  $F_e$  后,试样除产生弹性变形外,还开始出现微量的塑性变形。当拉伸力增大到  $F_s$  时,曲线上出现水平(或锯齿形)线段,即表示拉伸力不增加,试样却继续伸长,称此现象为“屈服”。拉伸力超过  $F_s$  后,试样产生大量的塑性变形,直到最大拉伸力为  $F_b$  时,试样横截面发生局部收缩,即产生“缩颈”。此后,试样的变形局限在缩颈部分,故承受的拉伸力迅速减小,直至拉断试样

(曲线 K 点)。

## 2. 强度的主要判据

金属材料的强度是用应力来度量的。单位截面上的内力称为应力,用符号  $\sigma$  表示。内力是指材料受外力作用发生变形时,内部产生阻止变形的抗力。

常用的强度判据有: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  $\sigma_e$  表示,单位为 MPa。

$$\sigma_e = \frac{F_e}{A_0}$$

式中  $F_e$ ——试样产生完全弹性变形时的最大拉伸力, N;

$A_0$ ——试样原始横截面积,  $\text{mm}^2$ 。

(2) 屈服点 屈服点是指试样在拉伸过程中,力不增加(保持恒定)仍能继续伸长(变形)时的应力,用符号  $\sigma_s$  表示,单位为 MPa。

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0}$$

式中  $F_s$ ——试样产生屈服时的拉伸力, N。

有些材料在拉伸时没有明显的屈服现象,无法测定  $\sigma_s$ 。因此,GB 10623—89 规定,以试样去掉拉伸力后,其标距部分的残余伸长量达到规定原始标距长度 0.2% 时的应力,为该材料的条件屈服点,用符号  $\sigma_{r 0.2}$  表示。

$\sigma_s$  和  $\sigma_{r 0.2}$  是表示材料抵抗微量塑性变形的能力。零件工作时一般不允许产生塑性变形。因此,  $\sigma_s$  是设计和选材时的主要参数。

(3) 抗拉强度 抗拉强度是指试样被拉断前所能承受的最大拉应力,用符号  $\sigma_b$  表示,单位为 MPa。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0}$$

式中  $F_b$ ——试样被拉断前的最大拉伸力, N。

$\sigma_b$  表征材料对最大均匀塑性变形的抗力。 $\sigma_s$  与  $\sigma_b$  的比值称为屈强比,屈强比越小,零件工作时的可靠性越高,因为若超载也不会立即断裂。但屈强比太小,材料强度的有效利用率降低。

$\sigma_b$  也是设计和选材时的主要参数。

## 二、塑性

塑性是指断裂前材料发生不可逆塑性变形的能力。常用的判据有断后伸长率和断面收缩率。

### 1. 断后伸长率

断后伸长率是指试样被拉断后,标距的伸长量与原始标距的百分比,用符号  $\delta$  表示,

$$= \frac{l_k - l_0}{l_0} \times 100\%$$

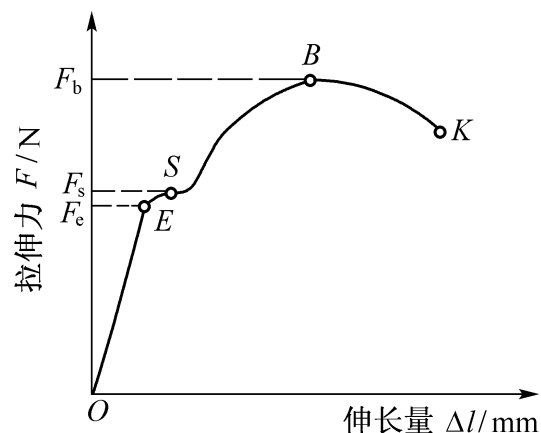


图 1-2 退火低碳钢的  
力 - 伸长量曲线

式中  $l_0$ ——试样原始标距长度, mm;

$l_k$ ——试样被拉断后的标距长度, mm。

长试样的断后伸长率用符号  $\delta_{10}$  表示, 通常写成  $\delta_{10}$ ; 短试样的断后伸长率用符号  $\delta_5$  表示。同种材料的  $\delta_5 > \delta_{10}$ , 但不能直接比较。

## 2. 断面收缩率

断面收缩率是指试样被拉断后, 缩颈处横截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比, 用符号  $\psi$  表示,

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

式中  $A_k$ ——试样被拉断处的横截面积,  $\text{mm}^2$ 。

断面收缩率不受试样尺寸的影响, 因此能较准确地反映出材料的塑性。

一般  $\psi$  或  $\delta$  值越大, 材料塑性越好。塑性好的材料可用轧制、锻造、冲压等方法加工成形。另外, 塑性好的零件在工作时若超载, 也可因其塑性变形而避免突然断裂, 提高了工作安全性。

## 第二节 硬 度

硬度是指材料抵抗局部变形, 尤其是塑性变形、压痕或划痕的能力。硬度是衡量金属软硬程度的判据。

材料的硬度是通过硬度试验测得的。硬度试验所用设备简单, 操作简便、迅速, 可直接在半成品或成品上进行试验而不损坏被测件, 并且还可根据硬度值估计出材料近似的强度和耐磨性。因此, 硬度在一定程度上反映了材料的综合力学性能, 应用很广。常将硬度作为技术条件标注在零件图样或写在工艺文件中。

硬度试验方法较多, 生产中常用的是布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度试验法。

### 一、布氏硬度

布氏硬度试验原理如图 1-3 a。用直径为  $D$  的淬火钢球或硬质合金球做压头, 以相应的试验力  $F$  将压头压入试件表面, 经规定的保持时间后, 去除试验力, 在试件表面得到一直径为  $d$  的压痕。用试验力除以压痕表面积  $A$ , 所得值即为布氏硬度值, 用符号 HB 表示。淬火钢球为压头时, 符号为 HBS; 硬质合金球为压头时, 符号为 HBW。

$$\text{HBS(HBW)} = \frac{F}{A_{\text{压}}} = \frac{F}{Dh} = \frac{2F}{D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad \text{kgf mm}^2 \text{ (试验力 } F \text{ 的单位为 kgf)}$$

$$\text{HBS(HBW)} = 0.102 \frac{2F}{D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad \text{kgf mm}^2 \text{ (试验力 } F \text{ 的单位为 N)}$$

式中  $A_{\text{压}}$ ——压痕表面积,  $\text{mm}^2$ ;

$d$ 、 $D$ 、 $h$ ——压痕平均直径、压头直径、压痕深度, mm。

上式中只有  $d$  是变数, 只要测出  $d$  值, 即可通过计算或查表得到相应的硬度值。

根据图 1-3 b 中  $d$  与压入角  $\alpha$  的关系, 布氏硬度计算公式又可写成

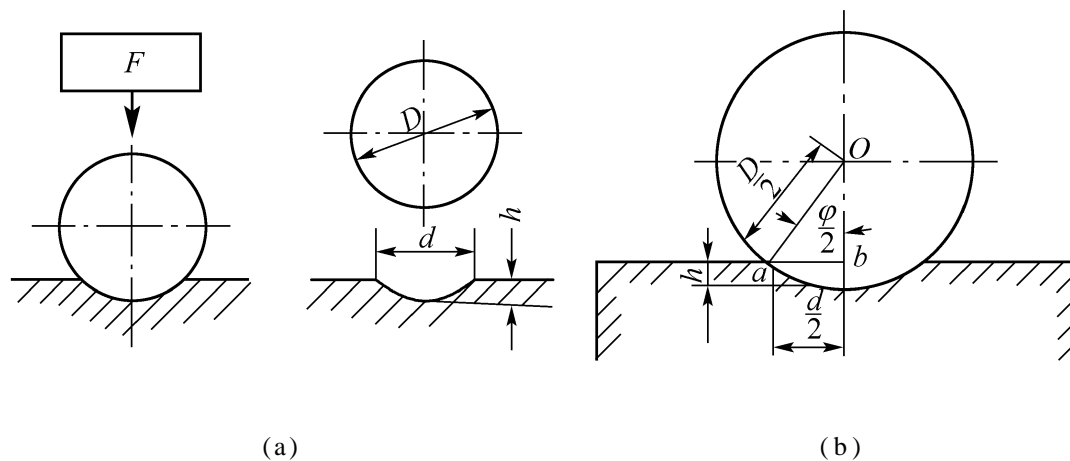


图 1 - 3 布氏硬度试验原理示意图

$$HBS(HBW) = \frac{2F}{D^2 \left(1 - \sqrt{1 - \sin^2 \frac{\phi}{2}}\right)} \quad \text{kgf mm}^2 \text{ (试验力 } F \text{ 单位为 kgf)}$$

由上式可知,为使同一硬度材料的布氏硬度值相同,必须保证  $F/D^2$  均为常数,并使压痕直径在  $0.25D < d < 0.6D$  之间。

布氏硬度试验时,应根据被测金属材料的种类和试件厚度,选用不同直径的压头、试验力和试验力保持时间。按 GB 231—84 规定,压头直径有五种(10 mm、5 mm、2.5 mm、2 mm 和 1 mm);  $F/D^2$  的比值有七种(30、15、10、5、2.5、1.25 和 1),可根据金属材料种类和布氏硬度范围选择  $F/D^2$  值,见表 1 - 1。试验力保持时间:钢铁材料为 10 ~ 15 s,有色金属为 30 s,布氏硬度值小于 35 时为 60 s。

表 1 - 1 按材料和布氏硬度范围选择  $F/D^2$  值

材 料	布氏硬度值	$F/D^2$
钢 和 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(1.25)
	35 ~ 80	10(5 或 15)
	> 80	10
铅、锡		1.25(1)

注:1. 当试验条件允许时,应尽量选用 10 mm 球。

2. 当有关标准中没有明确规定时,应使用无括号的  $F/D^2$  值。

实验时布氏硬度不需计算,只需根据测出的压痕直径  $d$  查表即可得到硬度值。 $d$  值越大,硬度值越小; $d$  值越小,硬度值越大。布氏硬度一般不标注单位,其表示方法为:在符号 HBS 或 HBW 前写出硬度值,符号后面依次用相应数字注明压头直径、试验力和保持时间(10 ~ 15 s 不标注)。例如,120HBS10 1 000 30 表示用直径 10 mm 的淬火钢球做压头,在 1 000 kgf(9.807 kN) 试验力作用下,保持 30 s 所测得的布氏硬度值为 120。

布氏硬度试验法压痕面积较大,能反映出较大范围内材料的平均硬度,测得结果较准确、稳定,但操作不够简便。又因压痕大,故不宜测试薄件或成品件。HBS 适于测量硬度值小于 450

的材料;HBW 适于测量硬度值小于 650 的材料。

目前,大多用淬火钢球做压头测量材料硬度,故主要用来测定灰铸铁、有色金属及退火、正火和调质的钢材等。

## 二、洛氏硬度

洛氏硬度试验原理如图 1 - 4。它是用顶角为 120° 金刚石圆锥体或直径为 1.588 mm 淬火钢球做压头,在初试验力和总试验力(初试验力 + 主试验力)先后作用下,将压头压入试件表面,经规定保持时间后,去除主试验力,用测量的残余压痕深度增量(增量是指去除主试验力并保持初试验力的条件下,在测量的深度方向上产生的塑性变形量)来计算硬度的一种压痕硬度试验法。

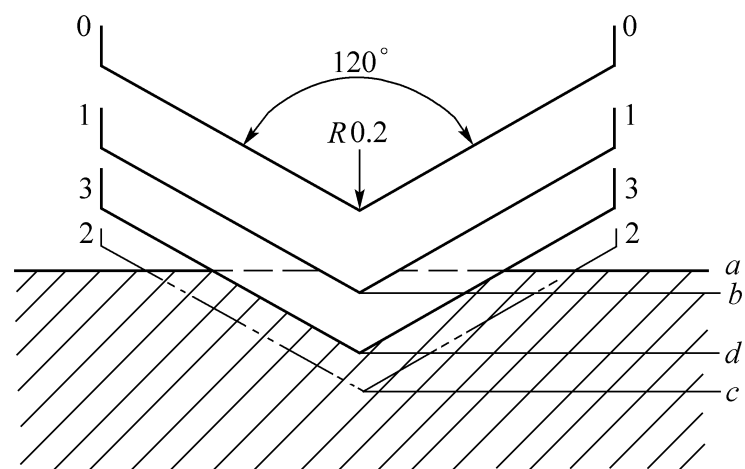


图 1 - 4 洛氏硬度试验原理示意图

图中 0 - 0 为压头与试件表面未接触的位置; 1 - 1 为加初试验力 10 kgf(98.07 N)后,压头经试件表面 a 压入到 b 处的位置, b 处是测量压入深度的起点(可防止因试件表面不平引起的误差); 2 - 2 为初试验力和主试验力共同作用下,压头压入到 c 处的位置; 3 - 3 为卸除主试验力,但保持初试验力的条件下,因试件弹性变形的恢复

使压头回升到 d 处的位置。因此,压头在主试验力作用下,实际压入试件产生塑性变形的压痕深度为 bd(bd 为残余压痕深度增量)。用 bd 大小来判断材料的硬度, bd 越大,硬度越低;反之,硬度越高。为适应习惯上数值越大,硬度越高的概念,故用一常数 K 减去 bd 作为硬度值(每 0.002 mm 的压痕深度为一个硬度单位),直接由硬度计表盘上读出。洛氏硬度用符号 HR 表示。

$$HR = K - \frac{bd}{0.002}$$

金刚石做压头, K 为 100; 淬火钢球做压头, K 为 130。

为使同一硬度计能测试不同硬度范围的材料,可采用不同的压头和试验力。按压头和试验力不同,GB T 230—91 规定洛氏硬度的标尺有九种,但常用的是 HRA、HRB、HRC 三种,其中 HRC 应用最广。洛氏硬度表示方法为:在符号前面写出硬度值,如 62HRC、85HRA 等。洛氏硬度的试验条件和应用范围见表 1 - 2。

表 1 - 2 常用洛氏硬度的试验条件和应用范围

硬度符号	压头类型	总试验力 $F_{总}$ kgf(N)	硬度值有效范围	应用举例
HRA	120° 金刚石圆锥	60(588.4)	70 ~ 88	硬质合金,表面淬火、渗碳钢等
HRB	1.588 mm 钢球	100(980.7)	20 ~ 100	有色金属,退火、正火钢等
HRC	120° 金刚石圆锥	150(1 471.1)	20 ~ 70	淬火钢,调质钢等

注:总试验力 = 初试验力 + 主试验力。

洛氏硬度试验操作简便、迅速,测量硬度范围大,压痕小,无损于试件表面,可直接测量成品或较薄工件。但因压痕小,对内部组织和硬度不均匀的材料,所测结果不够准确。因此,需在试

件不同部位测定三点取其平均值。洛氏硬度无单位,各标尺之间没有直接的对应关系。

### 三、维氏硬度

维氏硬度试验原理与布氏硬度试验原理相似。区别在于维氏硬度的压头是两相对面夹角为 $136^\circ$ 的正四棱锥金刚石。试验时,在规定试验力 $F$ 作用下,压头压入试件表面,保持一定时间后,卸除试验力,测量压痕两对角线长度 $d_1$ 和 $d_2$ ,求其平均值,用以计算出压痕表面积,如图1-5。单位压痕表面积所承受试验力的大小即为维氏硬度值,用符号HV表示,单位为 $\text{kgf mm}^2$ 。

维氏硬度值不需计算,一般是根据压痕对角线长度平均值查GB 4340—84附表得出。维氏硬度习惯上不标单位,其表示方法为:在符号HV前面写出硬度值,HV后面依次用相应数字注明试验力和保持时间(10~15s不标)。例如640HV30 20,表示在30 kgf(294.2N)试验力作用下,保持20s测得的维氏硬度值为640。

维氏硬度试验法所用试验力小,压痕深度浅,轮廓清晰,数字准确可靠,故广泛用于测量金属镀层、薄片材料和化学热处理后的表面硬度。又因其试验力可在很大范围内选择(49.03~980.7 N),所以可测量从很软到很硬的材料。但维氏硬度试验不如洛氏硬度试验简便、迅速,不适于成批生产的常规试验。

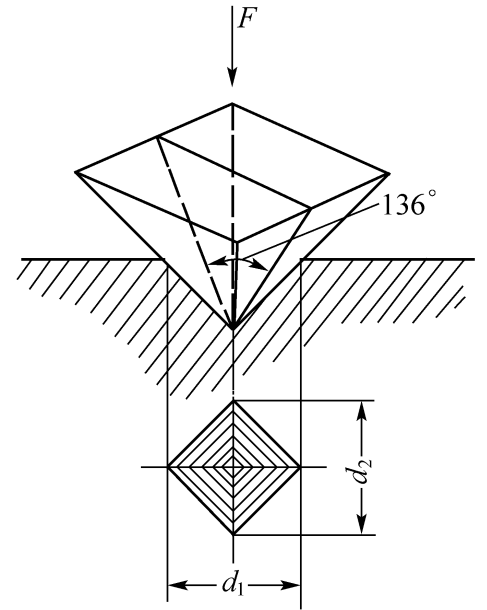


图 1 - 5 维氏硬度试验原理示意图

## 第三节 韧性与疲劳强度

### 一、韧性

生产中许多零件是在冲击力作用下工作的,如冲床用的冲头、锻锤的锤杆、风动工具等。对这类零件,不仅要满足在静力作用下的强度、塑性、硬度等性能判据,还应具有足够的韧性。

韧性是指金属在断裂前吸收变形能量的能力,它表示了金属材料抗冲击的能力。韧性的判据是通过冲击试验确定的。

常用的方法是摆锤式一次冲击试验法,它是在专门的摆锤试验机上进行的。按GB T 229—1994《金属夏比(U型或V型缺口)冲击试验法》规定,将被测材料制成标准冲击试样,如图1-6。

试验时,将试样缺口背向摆锤冲击方向放在试验机支座上(图1-7 a),摆锤举至 $h_1$ 高度,具有位能 $mgh_1$ ,然后使摆锤自由落下,冲断试样后,摆锤升至高度 $h_2$ (图1-7 b),此时摆

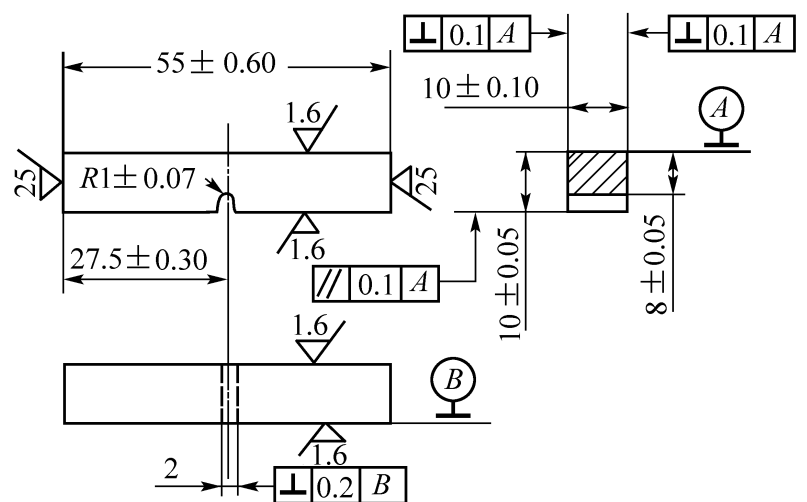


图 1 - 6 夏比 U 型缺口试样

锤的位能为  $mgh_2$ 。摆锤冲断试样所消耗的能量,即试样在冲击力一次作用下折断时所吸收的功,称为冲击吸收功,用符号  $A_K$  表示(U型缺口试样用  $A_{KU}$ 、V型缺口试样用  $A_{KV}$ ),

$$A_K = mgh_1 - mgh_2 = mg(h_1 - h_2) \quad J$$

$A_K$  值不需计算,可由冲击试验机刻度盘上直接读出。冲击试样缺口底部单位横截面积上的冲击吸收功,称为冲击韧度,用符号  $a_K$  表示,单位为  $J\text{ cm}^2$ 。

$$a_K = \frac{A_K}{A}$$

式中  $A$ ——试样缺口底部横截面积,  $\text{cm}^2$ 。

冲击吸收功越大,材料韧性越好。冲击吸收功与温度有关。由图 1-8 可知,  $A_K$  值随温度降低而减小,在不同温度的冲击试验中,冲击吸收功急剧变化或断口韧性急剧转变的温度区域,称为韧脆转变温度。韧脆转变温度越低,材料的低温抗冲击性能越好。

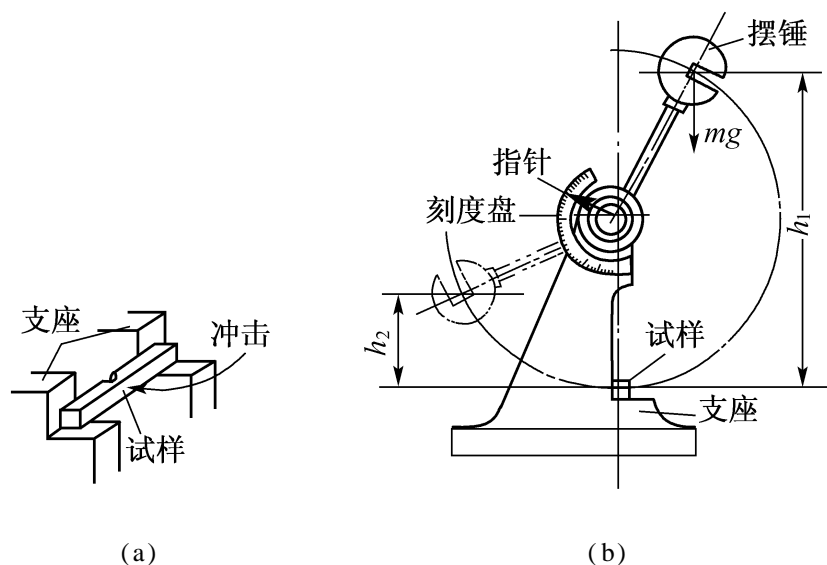


图 1-7 摆锤式冲击试验原理示意图

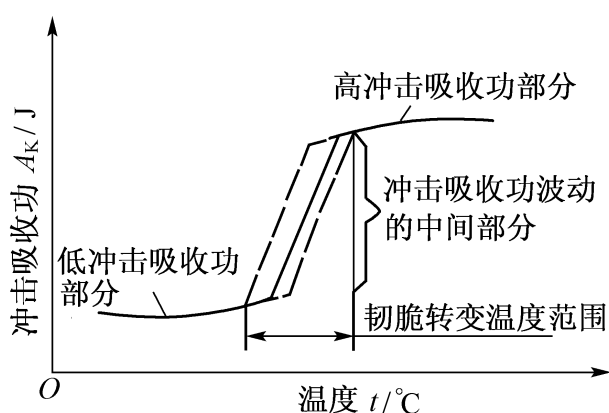


图 1-8 温度对冲击吸收功的影响

冲击吸收功还与试样形状、尺寸、表面粗糙度、内部组织和缺陷等有关。因此,冲击吸收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,冲击吸收功中只有一部分消耗在断开试样缺口的截面上,冲击吸收功的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,而用冲击吸收功  $A_K$  作为材料韧性的判据更为适宜。国家标准现已规定采用  $A_K$  作为韧性判据。

## 二、疲劳强度

许多零件如轴、齿轮、连杆、弹簧等是在循环应力作用下工作的。按循环应力大小和方向不同,零件承受的应力分为交变应力和重复应力两种。零件在循环应力作用下,在一处或几处产生局部永久性累积损伤,经一定循环次数后产生裂纹或突然发生完全断裂的过程,称为疲劳(疲劳断裂)。疲劳断裂前无明显塑性变形,因此危险性很大,常造成严重事故。据统计,大部分零件的损坏均是由疲劳造成的。

实验证明,金属材料能承受的交变应力与断裂前应力循环基数  $N$  之间的关系如图 1-9。由图可知,当 低于某一值时,曲线与横坐标平行,表示材料可经无数次循环应力作用而不断

裂,这一应力称为疲劳强度,用  $\sigma_{-1}$  表示光滑试样对称弯曲疲劳强度。

一般,交变应力越小,断裂前所能承受的循环次数越多;交变应力越大,循环次数越少。工程上用的疲劳强度,是指在一定的循环基数下不发生断裂的最大应力,通常规定钢铁材料的循环基数取  $10^7$ ,有色金属取  $10^8$ 。

材料存在气孔、微裂纹、夹杂物等缺陷,材料表面划痕、局部应力集中等因素,均可加快疲劳断裂。减小表面粗糙度值和进行表面淬火、喷丸处理、表面滚压等方法均可提高材料的疲劳强度。

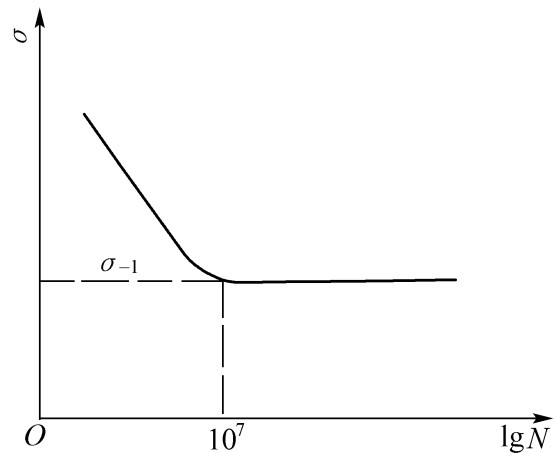


图 1-9 钢铁材料的疲劳曲线

### 思考题与作业题

- 什么是金属的力学性能?金属的力学性能主要有哪些?何谓金属的力学性能判据?
- 按 GB T 699—1999《优质碳素结构钢》规定,15 钢的力学性能判据应不低于下列数值:  $\sigma_b$  375 MPa、 $\sigma_s$  225 MPa、 $\delta_5$  27%、 $\psi$  55%。现将购进的 15 钢制成  $d_0 = 10$  mm 的圆形截面短试样,经拉伸试验测得:  $F_b = 33.81$  kN、 $F_s = 20.68$  kN、 $l_k = 65$  mm、 $d_k = 6$  mm,试问这批 15 钢的力学性能是否合格?
- 现测得长、短两根圆形截面标准试样的  $\delta_{10}$  和  $\delta_5$  均为 30%,求两试样拉断后的标距长度是多少?两试样中哪一根塑性好?为什么?
- 下列情况应采用什么方法测定硬度?写出硬度值符号:
  - 钳工用锤子的锤头;
  - 机床床身铸铁毛坯;
  - 硬质合金刀片;
  - 机床尾座上的淬火顶尖;
  - 铝合金气缸体;
  - 钢件表面很薄的硬化层。
- 下列硬度要求或写法是否正确?为什么?
  - 12 ~ 15HRC;
  - 550 ~ 600HBS;
  - 70 ~ 75HRC;
  - HRC50kgf mm<sup>2</sup>;
  - 230 ~ 260HBW;
  - 800 ~ 850HV。
- 发现一紧固螺栓使用后有塑性变形(伸长),试分析材料哪些性能判据没有达到要求?
- 图 1-10 中为五种材料经拉伸试验测得的应力 - 应变(单位长度上的伸长量)曲线: 45 钢, 铝青铜, 35 钢, 硬铝, 纯铜。试问:
  - 当应力  $\sigma = 300$  MPa 时,各种材料处于什么状态?
  - 用 35 钢 ( $w_C = 0.35\%$ ) 制成的轴,在使用过程中发现有较大的弹性弯曲变形,若改用 45 钢 ( $w_C = 0.45\%$ ) 制作该轴,试问能否减少弹性变形?若弯曲变形中已有塑性变形,试问是否可以避免塑性变形?
- 冲击吸收功能否作为选材时的计算依据?为什么?
- 试由表 5-6 查出 10 钢、20 钢、30 钢、40 钢、50 钢、60 钢和 70 钢的  $\sigma_b$ 、 $\sigma_s$ 、 $\delta_5$ 、 $A_{KU}$  的数值,并画出以钢号为横坐标,以各种力学性能为纵坐标的关系曲线。
- 金属疲劳断裂是怎样产生的?如何提高零件的疲劳强度?

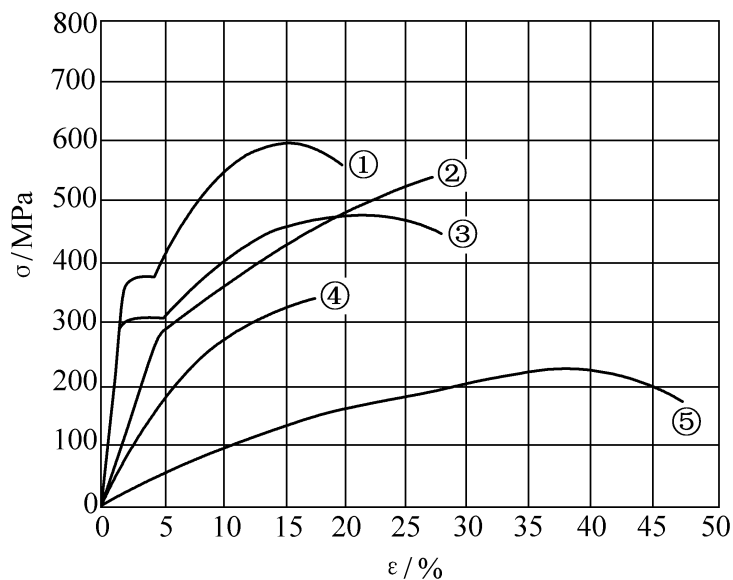


图 1-10 第 7 题图