




高职高专“十二五”规划教材

# 机械工程材料 (第3版)

主 编 于 泓  
副主编 王艳莉



配有课件



北京航空航天大学出版社  
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



高职高专“十二五”规划教材

# 机械工程材料

(第3版)

主 编 于 泓

副主编 王艳莉

北京航空航天大学出版社

## 内 容 简 介

“机械工程材料”是机械、机电类专业重要的专业基础课。本书主要介绍了材料的性能、常见金属的晶体结构和结晶、金属的塑性变形与再结晶、铁碳合金相图及碳钢、钢的热处理,并介绍了合金钢、铸铁、非铁金属材料及硬质合金、非金属材料 and 新型材料,还介绍了常用机械工程材料的选用等内容。

本书可作为高等职业院校机械和机电类专业相关课程教材,也可供相关工程技术人员参考使用。

本书配有教学课件,请发送邮件至 [goodtextbook@126.com](mailto:goodtextbook@126.com) 或致电 010-82317037 申请索取。

## 图书在版编目(CIP)数据

机械工程材料 / 于泓主编. -- 3 版. -- 北京 : 北京航空航天大学出版社, 2014.9

ISBN 978-7-5124-1407-5

I. ①机… II. ①于… III. ①机械制造材料 IV. ①TH14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 189583 号

版权所有,侵权必究。

## 机械工程材料(第 3 版)

主 编 于 泓

副主编 王艳莉

责任编辑 董 瑞

\*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱: [goodtextbook@126.com](mailto:goodtextbook@126.com) 邮购电话:(010)82316524

北京时代华都印刷有限公司印装 各地书店经销

\*

开本:787×1092 1/16 印张:14.5 字数:371 千字

2014 年 9 月第 3 版 2014 年 9 月第 1 次印刷 印数:3 000 册

ISBN 978-7-5124-1407-5 定价:29.00 元

# 前 言

“机械工程材料”课程是机械、机电类专业一门重要的专业基础课。本课程的主要任务和教学目标是阐明机械工程材料的基础理论和基本知识,介绍材料的化学成分、加工工艺、组织以及结构等与材料使用性能之间的关系,使学生能够根据机械零件的工作条件、失效形式和性能要求,对零件进行合理选材并制定相应的加工工艺路线。

本书自2007年9月出版发行以来,在多所高职高专院校得到使用,获得了好评。在此基础上,本书经过适当的修订,又于2011年8月出版了第2版。近年来,随着科学技术的飞速发展,新材料、新技术和新工艺在现代机械制造业中起着越来越重要的作用;同时,教育教学改革不断深入,针对高等职业教育体现的高级技术技能型专门人才的培养目标,新的教育理念不断提出,新的教学方法不断得到实践。因此,在本次修订过程中,我们从企业对工程技术人员的实际岗位需求出发,认真总结高职高专教育教学改革的探索和实践,汲取各个院校在培养适应企业一线生产需求的应用型、技能型人才方面的成功经验,对原教材部分章节的内容进行了适当的增减和调整,同时也对原书中的一些错误和不妥之处进行了更正。

本次修订仍以机械工业中使用最为广泛的金属材料为重点,以材料的性能和应用为主线,注重基础理论,强调实际应用;同时也介绍了现代工业生产和日常生活中应用日益广泛的一些常用的高分子合成材料、陶瓷材料以及复合材料的组织、结构和性能,了解目前机械工程材料的应用领域和发展趋势;并适当介绍了一些新型功能材料,使学生能了解当今材料科学发展的最新成就,拓宽知识面,以利于将来专业的发展需求。

全书统一使用法定计量单位,名词、术语、材料牌号采用最新国家标准。考虑到最新的国家标准推行到企业生产应用需要一个过程,部分术语和牌号采用新旧标准同时介绍的方法进行过渡和衔接,少量术语仍沿用传统说法并在文中加以说明。

全书共10章,包括材料的性能、常见金属的晶体结构与结晶、金属的塑性变形与再结晶、铁碳合金相图及碳钢、钢的热处理、合金钢、铸铁、非铁金属材料及硬质合金、非金属材料及新型材料、常用机械工程材料的选用等。为帮助学生思考和巩固所学知识,培养分析问题和解决问题的能力,各章均附有习题。本书建议学时为50~60学时,使用本书时各校可根据自身的教学任务和目标,以及教学时数,对各章节的内容加以取舍和调整。

参加本书编写的人员有江苏农林职业技术学院于泓(前言、绪论、第4~10章和附表),江苏农林职业技术学院王艳莉(第1~3章)。全书由于泓任主编,王艳莉任副主编,于泓统稿,南京航空航天大学王于林教授主审。

在本书的编写过程中,得到了南京工业职业技术学院张长英、江苏农林职业技术学院丁龙保、江苏农林职业技术学院钟兴等老师的大力支持和帮助,在此表示诚挚的感谢。同时,本书中参考并引用了有关文献资料、插图等,编者在此对上述作者深表谢意。

限于编者时间及水平有限,书中存在的错误和不足之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2014年6月

# 目 录

绪 论	1
<b>第 1 章 材料的性能</b>	
1.1 材料的力学性能	3
1.1.1 材料的强度及塑性	3
1.1.2 材料的硬度	6
1.1.3 材料的冲击韧度	8
1.1.4 材料的疲劳强度	10
1.2 材料的物理和化学性能	11
1.2.1 材料的物理性能	11
1.2.2 材料的化学性能	12
1.3 材料的工艺性能	12
习 题	14
<b>第 2 章 常见金属的晶体结构与结晶</b>	
2.1 金属的结合键与晶体结构	15
2.1.1 材料的结合键	15
2.1.2 晶体与非晶体	16
2.1.3 金属的晶体结构	16
2.1.4 晶体中的缺陷	19
2.2 纯金属的结晶	22
2.2.1 结晶条件	22
2.2.2 纯金属的结晶过程	24
2.2.3 晶粒大小的影响与控制	25
2.3 合金的结晶与相图	26
2.3.1 合金的相结构	26
2.3.2 二元合金相图	28
2.4 合金性能与相图的关系	34
2.4.1 合金的使用性能与相图的关系	34
2.4.2 合金的工艺性能与相图的关系	35
习 题	36
<b>第 3 章 金属的塑性变形与再结晶</b>	
3.1 金属的塑性变形	37
3.1.1 金属的弹性变形与塑性变形	37
3.1.2 单晶体的塑性变形	38

3.1.3	实际金属的塑性变形	40
3.2	冷塑性变形对金属组织和性能的影响	41
3.2.1	冷塑性变形对金属组织的影响	41
3.2.2	冷塑性变形对性能的影响	43
3.3	加热对冷塑性变形后金属组织和性能的影响	44
3.3.1	回 复	44
3.3.2	再结晶	45
3.3.3	晶粒长大	46
3.4	金属的热加工	47
3.4.1	金属的热加工与冷加工	47
3.4.2	热加工后的金属组织和性能	48
	习 题	49
<b>第4章 铁碳合金相图及碳钢</b>		
4.1	铁碳合金的基本组织	50
4.1.1	纯 铁	50
4.1.2	铁碳合金的基本组织	51
4.2	铁碳合金相图	52
4.2.1	铁碳合金相图中的特性点与特性线	52
4.2.2	典型铁碳合金的结晶过程	54
4.3	碳的质量分数对铁碳合金组织和力学性能的影响	59
4.3.1	碳的质量分数对平衡组织的影响	59
4.3.2	碳的质量分数对力学性能的影响	60
4.4	铁碳合金相图的应用	61
4.5	碳 钢	62
4.5.1	钢中的常存元素	62
4.5.2	碳钢的分类	63
4.5.3	碳钢的牌号、性能及用途	64
	习 题	69
<b>第5章 钢的热处理</b>		
5.1	钢在加热时的组织转变	70
5.1.1	奥氏体的形成	70
5.1.2	奥氏体晶粒的大小及其控制	72
5.2	钢在冷却时的组织转变	74
5.2.1	过冷奥氏体的等温转变曲线	75
5.2.2	过冷奥氏体的等温转变产物	76
5.2.3	影响C曲线的因素	79
5.2.4	过冷奥氏体的连续冷却转变	80
5.3	钢的退火与正火	81
5.3.1	钢的退火	81

5.3.2 钢的正火	82
5.4 钢的淬火	83
5.4.1 淬火温度与保温时间	83
5.4.2 淬火冷却介质	84
5.4.3 淬火方法	85
5.4.4 钢的淬硬性和淬透性	86
5.4.5 淬火缺陷及防止措施	88
5.5 钢的回火	89
5.5.1 回火的目的	89
5.5.2 淬火钢在回火时的转变	89
5.5.3 回火的分类及应用	91
5.6 钢的表面热处理	91
5.6.1 钢的表面淬火	91
5.6.2 钢的化学热处理	93
5.7 其他热处理工艺	97
5.7.1 可控气氛热处理	97
5.7.2 真空热处理	97
5.7.3 形变热处理	99
5.7.4 激光热处理	99
习 题	101
<b>第 6 章 合金钢</b>	
6.1 合金元素在钢中的作用	102
6.1.1 合金元素对钢中基本相的影响	102
6.1.2 合金元素对铁碳合金相图的影响	103
6.1.3 合金元素对钢热处理的影响	104
6.2 合金钢的分类和牌号	107
6.2.1 合金钢的分类	107
6.2.2 合金钢的牌号表示方法	107
6.3 合金结构钢	110
6.3.1 低合金结构钢	110
6.3.2 合金渗碳钢	115
6.3.3 合金调质钢	118
6.3.4 合金弹簧钢	119
6.3.5 滚动轴承钢	122
6.3.6 超高强度钢	124
6.4 合金工具钢与高速工具钢	124
6.4.1 合金工具钢	124
6.4.2 高速工具钢	128
6.5 特殊性能钢	132



6.5.1	不锈钢	132
6.5.2	耐热钢	136
6.5.3	高锰耐磨钢	138
习 题		139
<b>第7章 铸 铁</b>		
7.1	铸铁的石墨化	140
7.1.1	铁碳合金的双重相图	140
7.1.2	铸铁的石墨化过程	141
7.1.3	影响石墨化的因素	142
7.2	铸铁的分类	143
7.3	灰铸铁	143
7.3.1	灰铸铁的化学成分、组织与性能	143
7.3.2	灰铸铁的孕育处理	144
7.3.3	灰铸铁的牌号及用途	144
7.3.4	灰铸铁的热处理	145
7.4	球墨铸铁	146
7.4.1	球墨铸铁的化学成分、组织与性能	146
7.4.2	球化处理	147
7.4.3	球墨铸铁的牌号及用途	147
7.4.4	球墨铸铁的热处理	147
7.5	蠕墨铸铁	149
7.5.1	蠕墨铸铁的化学成分、组织与性能	149
7.5.2	蠕墨化处理	149
7.5.3	蠕墨铸铁的牌号及用途	149
7.6	可锻铸铁	150
7.6.1	可锻铸铁的化学成分、组织与性能	150
7.6.2	可锻铸铁的生产工艺	151
7.6.3	可锻铸铁的牌号及用途	152
7.7	特殊性能铸铁	153
7.7.1	耐磨铸铁	153
7.7.2	耐热铸铁	154
7.7.3	耐蚀铸铁	155
习 题		155
<b>第8章 非铁金属材料及硬质合金</b>		
8.1	铝及铝合金	156
8.1.1	工业纯铝	156
8.1.2	铝合金	156
8.1.3	铝合金的强化	158
8.1.4	变形铝合金	159

8.1.5 铸造铝合金 .....	161
8.2 铜及铜合金 .....	163
8.2.1 工业纯铜 .....	163
8.2.2 铜合金 .....	163
8.3 钛及钛合金 .....	170
8.3.1 工业纯钛 .....	170
8.3.2 钛合金 .....	170
8.3.3 钛合金的热处理 .....	172
8.4 滑动轴承合金 .....	172
8.4.1 滑动轴承对轴承合金的性能要求 .....	172
8.4.2 轴承合金的分类及牌号表示方法 .....	173
8.4.3 常用的轴承合金及用途 .....	173
8.5 硬质合金 .....	175
8.5.1 粉末冶金简介 .....	176
8.5.2 硬质合金 .....	176
习 题 .....	178
<b>第 9 章 非金属材料及新型材料</b>	
9.1 高分子材料 .....	180
9.1.1 高分子材料的概念 .....	180
9.1.2 高分子材料的性能 .....	180
9.1.3 常用高分子材料 .....	181
9.2 陶瓷材料 .....	184
9.2.1 概 述 .....	184
9.2.2 陶瓷材料的结构和性能 .....	185
9.2.3 常用陶瓷材料 .....	185
9.3 复合材料 .....	186
9.3.1 复合材料的组成和分类 .....	187
9.3.2 复合材料的性能 .....	187
9.3.3 常用复合材料及用途 .....	187
9.4 新型材料 .....	189
9.4.1 纳米材料 .....	189
9.4.2 磁性材料 .....	190
9.4.3 超导材料 .....	192
9.4.4 形状记忆合金 .....	195
习 题 .....	196
<b>第 10 章 常用机械工程材料的选用</b>	
10.1 零件的失效与分析 .....	197
10.1.1 失效的概念 .....	197
10.1.2 失效的形式 .....	197

10.1.3 失效的原因与分析方法·····	199
10.2 材料选择的一般原则、方法和步骤·····	201
10.2.1 材料选择的一般原则·····	201
10.2.2 材料选择的方法与步骤·····	204
10.3 典型零件的材料选择·····	205
10.3.1 轴类零件·····	206
10.3.2 齿轮类零件·····	209
10.3.3 箱体类零件·····	212
习 题·····	213

## 附 表

附表 I 黑色金属硬度及强度换算值(摘自 GB/T 1172 — 1999)·····	214
附表 II 常用钢种的临界温度·····	217

## 参考文献

# 绪 论

材料是人类生产和生活的物质基础,是人类社会发展和文明进步的重要标志。从原始社会的石器时代开始,人类经历了青铜器时代、铁器时代和钢铁时代,从农业社会进入了工业社会。近百年来,随着科学技术的迅猛发展,高分子材料、半导体材料、先进陶瓷材料、复合材料、人工合成材料、纳米材料等新型材料层出不穷,人类又进入了崭新的现代工业文明,新材料的发展和應用又成为现代科学技术和现代文明发展的重要基础和强劲动力。

早在六七千年前的原始社会末期,中华民族的祖先就已经掌握了烧制陶器的技术,东汉时期又出现了瓷器,对人类文明产生了极大的影响,已成为中国古代文化的象征。四千多年前,我国就已开始青铜的冶炼,殷商时期的司母戊大方鼎说明当时中国已经有高度发达的青铜冶炼与铸造技术,秦铜车马、越王剑等标志着青铜的冶炼技术和应用水平达到了一个个新的高峰。在春秋时期,我国出现了炼铁技术,比欧洲早 1 800 多年,从西汉到明代,我国的钢铁生产技术和钢铁材料的应用水平都居世界领先地位,明代科学家宋应星所著《天工开物》是世界上最早的有关金属加工工艺的著作之一。中华民族在材料开发及应用方面对人类文明和社会进步作出了巨大贡献,创造了灿烂的古代中华文明。到了 18 世纪,钢铁冶炼的工业化,成为产业革命的主要潮流和物质基础,有力地推动了以欧洲为中心的世界工业迅速发展,使欧洲各国率先步入了工业社会。

由此可见,材料科学对人类社会文明和经济发展起着巨大的推动作用,世界各国对此都非常重视。作为以能源、信息、新材料和生物工程为代表的现代技术的四大支柱之一,新材料技术更是现代技术发展的一个关键领域,起着先导和基础的作用,被很多国家确定为重点发展的学科之一,我国也把新材料的研究与开发放在了优先发展的地位。

机械工程材料是指用于机械制造的各种材料的总称。机械工程材料按其成分特点,一般分为金属材料、非金属材料 and 复合材料三大类。按其性能特点,又可分为结构材料和功能材料两种,结构材料以力学性能为主,而功能材料则以其特殊的物理、化学性能为主,如超导、激光、半导体和形状记忆材料等。机械工程材料主要研究和应用的是结构材料。

金属材料包括钢铁材料和非铁材料。钢铁材料也称为黑色金属,是指铁和以铁为基的合金,如铸铁、钢;非铁材料又称为有色金属,是除钢铁材料以外的所有金属及其合金的统称,如铜、铝、钛及其合金等。钢铁材料具有力学性能优异、加工性能良好、原料来源广、生产成本低等突出的优点,目前机械工程材料仍以钢铁材料的应用最为广泛,占整个机械制造业用材的 90% 左右。

非金属材料主要包括高分子材料和陶瓷材料。随着研究和应用的不断深入,非金属材料以其特有的性能得到越来越广泛的应用,其中高分子材料发展迅速,目前,其产量按体积计算已经超过了钢铁的产量。复合材料保留了各组成材料的优点,具有单一材料所没有的优异性能,虽然目前成本较高,一定程度上限制了其应用范围,但随着成本的降低,其应用领域将日益广泛。

金属材料、非金属材料 and 复合材料之间不是独立应用或可以替代的关系,而是相互补充、

相结合,已经形成一个完整的材料科学体系。

随着材料科学的飞速发展,新材料、新工艺不断涌现,机械工程材料的种类越来越多,应用范围越来越广,在产品的设计与制造过程中,与材料和热处理有关的问题也日益增多。因此,具备与专业相关的材料知识,在机械设计过程中能够合理地选择工程材料和强化方法,正确地制定加工工艺路线,从而充分发挥材料本身的性能潜力,获得理想的使用性能,节约材料,降低成本,是从事机械设计与制造工作的工程技术人员必须具备的能力,这是本课程的主要任务和所希望达到的目标。

本课程的内容主要包括工程材料的力学性能、金属学基础、钢的热处理、金属材料、非金属材料及常用机械工程材料的选用等部分。

通过本课程的学习,可以了解常用机械工程材料化学成分、组织结构、力学性能与热加工工艺之间的关系及变化规律,熟悉常用金属材料的牌号、成分、力学性能及用途,了解零件失效分析的方法,初步具备合理选择材料、正确制订热处理工艺及合理安排加工工艺路线的能力。

本课程是一门实践性和应用性都很强的课程,在学习中应注意理论与生产实际相结合,知识的掌握与应用并重,提高分析问题和解决问题的能力。

# 第 1 章 材料的性能

## 1.1 材料的力学性能<sup>①</sup>

工程材料的力学性能是指材料在外力(载荷)作用时表现出来的性能。力学性能指标是用来反映工程材料在各种形式外力作用下抵抗变形或破坏的能力。工程材料的力学性能主要包括强度、塑性、硬度、韧性和疲劳强度等,它不仅取决于材料本身的化学成分和组织结构,还与加工工艺、载荷性质及环境温度等有密切的关系,是选用工程材料和检测工程材料性能的重要依据。

### 1.1.1 材料的强度及塑性

材料的强度是指材料在外力作用下抵抗塑性变形和断裂的能力。根据外力作用方式的不同,材料的强度分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度和抗剪强度等,通常以抗拉强度作为基本的强度指标。

材料的塑性是指材料在外力作用下断裂前发生不可逆永久变形的能力。

材料的强度和塑性是材料最重要的力学性能指标之一,可以通过拉伸试验获得。

#### 1. 拉伸试验及拉伸曲线

##### (1) 拉伸试验

进行拉伸试验的材料应根据国家标准(GB 6397—86)的规定,制作拉伸试样。拉伸试样的截面形状有圆形和矩形等,常用的为如图 1-1 所示的光滑圆柱形截面的标准拉伸试样。图中  $d_0$  为试样的原始直径,  $L_0$  为试样的原始标距长度。根据标距长度与直径之间的比例关系,试样可分长试样( $L_0 = 10 d_0$ )和短试样( $L_0 = 5 d_0$ )两种。

拉伸试验时,将试样两端装入拉伸试验机夹头内夹紧,随后缓慢加载。随着载荷的不断增加,试样随之伸长,直至拉断为止。在拉伸过

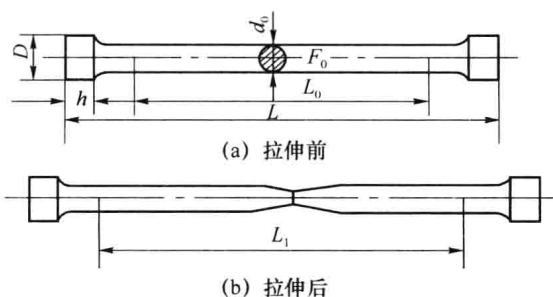


图 1-1 光滑圆柱形标准拉伸试样

<sup>①</sup> 国家标准 GB/T 228 — 1987《金属拉伸试验方法》和 GB/T 6397 — 86《金属拉伸试验试样》已被 GB/T 228 — 2002《金属材料 室温拉伸试验方法》代替,许多术语的定义虽然未变,但术语或符号做了修改,如屈服点  $\sigma_s$  改为屈服强度,要求区分上屈服强度和下屈服强度,并分别用符号  $R_{eH}$  和  $R_{eL}$  表示;规定残余伸长应力  $\sigma_r$  改为规定残余延伸强度,并用符号  $R_r$  表示;抗拉强度的符号  $\sigma_b$  改为  $R_m$ ;断后伸长率的符号  $\delta$  改为  $A$ ,断面收缩率的符号  $\psi$  改为  $Z$  等。但考虑原标准使用时间较长,普及程度很高,到目前为止仍有许多行业和领域的相关术语和符号未能及时修改,大量已有的文献、资料和数据使用的是旧标准,为了方便目前阶段的学习和应用,本章相关内容仍以原标准为主进行介绍。

程中,拉伸试验机上的自动绘图装置绘制出载荷(拉伸力)和伸长量之间的关系曲线,即拉伸曲线,也称力—伸长曲线。图 1-2 为退火低碳钢的拉伸曲线。

(2) 拉伸曲线

由图 1-2 可见,退火低碳钢在拉伸过程中,载荷  $F$  与伸长量  $\Delta L$  的关系有以下几个阶段。

① 弹性变形阶段(O-E)。当载荷由零逐渐增加到  $F_e$  时,试样处于弹性变形状态,卸除载荷后试样可恢复到原来的形状和尺寸。其中 OP 阶段,载荷与伸长量呈正比关系,即符合胡克定律。

② 屈服阶段(E-S)。当载荷超过  $F_e$  后,试样开始产生塑性变形,或称永久变形,即卸除载荷时,伸长的试样只能部分地恢复,而保留一部分的残余变形。当载荷增加到  $F_s$  时,拉伸曲线上出现平台或锯齿状,这种在载荷不增加的情况下,试样还继续伸长的现象称为屈服。

③ 强化阶段(S-B)。当载荷超过  $F_s$  后,由于塑性变形而产生形变强化(加工硬化),必须增大载荷才能使伸长量继续增加。此时变形与强化交替进行,直至载荷达到  $F_b$  时,试样的载荷也达到最大值。

④ 局部塑性变形阶段(B-K)。当载荷达到  $F_b$  后,试样的某一部位横截面急剧缩小,出现“缩颈”。此时施加的载荷逐渐减小,而变形继续增加,直到 K 点时试样断裂。

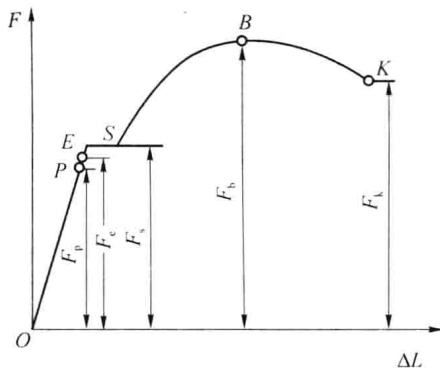


图 1-2 退火低碳钢拉伸曲线

2. 强度

常用的强度指标有屈服点和抗拉强度。

(1) 屈服点

屈服点是指试样在拉伸过程中,外力不增加,仍能继续拉伸时的应力,它反映的是工程材料抵抗塑性变形的能力,用符号  $\sigma_s$  (MPa) 表示。

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0} \tag{1-1}$$

式中:  $F_s$  —— 试样发生屈服时的载荷(N)。

对于铸铁、高碳钢等没有明显屈服现象的金属材料(如图 1-3 所示),按国标 GB228 — 87 的规定,可测定其规定残余伸长应力值,用符号  $\sigma_r$  (MPa) 表示,它表示材料在卸除载荷后,试样标距部分残余伸长率达到规定数值时的应力。表示此应力的符号,应附以下角标说明其规定的残余伸长率,例如,  $\sigma_{r0.2}$  表示规定残余伸长率为 0.2% 时的应力。

$$\sigma_{r0.2} = \frac{F_{r0.2}}{A_0} \tag{1-2}$$

式中:  $F_{r0.2}$  —— 残余伸长率为 0.2% 时的载荷(N)。

原国标将规定残余伸长应力  $\sigma_{r0.2}$  以  $\sigma_{0.2}$  表示,目前有许多技术资料仍沿用这一表示方法。

零件在工作中如发生少量塑性变形,会导致零件精度降低或影响与其他零件的配合。为保证零件正常工作,材料的屈服点应高于零件的工作应力。因此,材料的屈服点是机械零件设计时的主要依据,也是评定金属材料性能的重要指标之一。

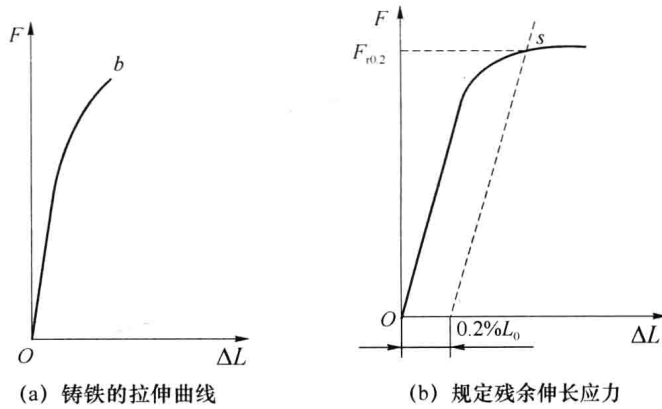


图 1-3 规定残余伸长应力示意图

## (2) 抗拉强度 (强度极限)

抗拉强度是指材料在拉断前所承受的最大应力,它反映了材料抵抗断裂的能力,用符号  $\sigma_b$  (MPa) 表示。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0} \quad (1-3)$$

式中:  $F_b$ ——试样拉断前承受的最大载荷(N)。

零件在工作中所承受的应力,不允许超过抗拉强度,否则就会产生断裂。这也是机械设计和评定金属材料质量的主要依据。

## 3. 塑性

常用的塑性指标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拉断后,标距的伸长量与原始标距的百分比,用符号  $\delta$  表示。

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中:  $L_1$ ——试样拉断后的标距(mm);

$L_0$ ——试样原始标距(mm)。

断后伸长率与试样长度有关。国家标准规定,短、长试样的断后伸长率分别用符号  $\delta_5$ 、 $\delta_{10}$  表示。

### (2) 断面收缩率

断面收缩率是指试样拉断后,缩颈处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。

$$\psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中:  $S_0$ ——试样原始横截面积( $\text{mm}^2$ );

$S_1$ ——试样拉断后缩颈处最小横截面积( $\text{mm}^2$ )。

断后伸长率和断面收缩率都是衡量材料塑性大小的重要指标,数值越大,表示材料的塑性越好。断面收缩率不受试样标距长短的影响,因此能更加可靠地反映材料的塑性。



### 1.1.2 材料的硬度

硬度是指材料抵抗比它更硬物体压入其表面的能力,即受压时抵抗局部塑性变形的能力。硬度试验操作简单、迅速,不一定要用专门的试样,且不破坏零件,根据测得的硬度值,还能估计金属材料的近似强度值,因而被广泛使用。硬度还影响到材料的耐磨性,一般情况下,金属的硬度越高,耐磨性也越好。目前生产中普遍采用的硬度试验方法主要有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度等。

#### 1. 布氏硬度

布氏硬度的试验原理如图 1-4 所示,以一定直径的球体(淬火钢球或硬质合金球)在一定载荷作用下压入试样表面,保持一定时间后卸除载荷,测量其压痕直径,计算硬度值。布氏硬度值用压痕单位面积上所承受的平均压力来表示。

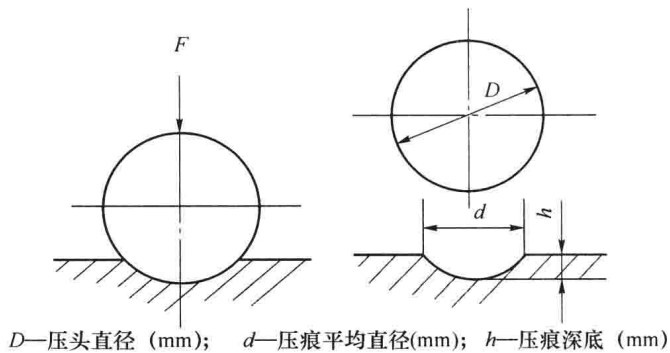


图 1-4 布氏硬度试验原理

当用淬火钢球作为压头时,用符号 HBS 表示,适用于测量硬度值小于 450 HBS 的材料;当用硬质合金球作为压头时,用符号 HBW 表示,适用于测量硬度值在 450~650 HBW 的材料。布氏硬度计算公式为

$$HBS(W) = 0.102 \times \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1-6)$$

式中:  $F$ ——试验载荷(N);

$D$ ——压头直径(mm);

$d$ ——压痕平均直径(mm)。

从上式可以看出,当试验力  $F$  和球体直径一定时,压痕直径  $d$  越小,则布氏硬度值越大,也就是硬度越高。

布氏硬度的标注方法为:硬度符号之前用数字表示硬度值,符号之后依次用数字注明压头直径  $D$ 、试验载荷  $F$  和载荷保持时间  $t$  (10~15 s 不标注)。例如,180 HBS/10/1000/30,即表示用淬火钢球作为压头,在  $D=10$  mm,  $F=9\ 807$  N(1 000 kgf),  $t=30$ s 的条件下,测得的布氏硬度值 180。

布氏硬度的单位为 MPa,但习惯上不予标出。在实际应用中,布氏硬度值一般不用计算方法求得,而是先测出压痕直径  $d$ ,然后从专门的硬度表中查得相应的布氏硬度值。

布氏硬度主要适用于测定各种铸铁,退火、正火、调质处理的钢以及非铁合金等质地相对