



机电类**新技师**培养规划教材

金属学与热处理

JINSHUXUE YU RECHULI

中国机械工业教育协会

组编

全国职业培训教学工作指导委员会
机电专业委员会

凌爱林 主编

赠送电子教案



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

机电类新技师培养规划教材

金属学与热处理

中国机械工业教育协会
全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会 组编
凌爱林 主编



机械工业出版社

本套教材是根据中国机械工业教育协会、全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会组织制定的技师教学计划和教学大纲编写的。本教材的主要内容包括：金属材料的性能，纯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，钢的热处理，工业用钢，工程铸铁，非铁（有色金属）金属材料与粉末冶金材料，新型材料及其应用，工程材料的应用以及附录金工试验。

本套教材的教学计划和大纲是依据《国家职业标准》中对技师的要求制定的，内容立足岗位，以必需、够用为度，符合职业教育的特点和规律。本教材配有教学计划和大纲、电子教案，部分教材还有多媒体课件和复习思考题，可供高级技校、技师学院、高等职业院校等教育培训机构使用。

图书在版编目（CIP）数据

金属学与热处理/凌爱林主编. —北京：机械工业出版社，2008.8

机电类新技师培养规划教材

ISBN 978-7-111-24741-8

I. 金… II. 凌… III. ①金属学 - 技术培训 - 教材②热处理 - 技术培训 - 教材 IV. TG1

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2008）第 118395 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：王英杰 侯宪国 责任编辑：王英杰 侯宪国 俞逢英

版式设计：张世琴 责任校对：李秋荣 封面设计：王伟光

责任印制：杨 曦

北京机工印刷厂印刷（兴文装订厂装订）

2008 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 15 印张 · 367 千字

0 001—4 000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-24741-8

定价：26.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

销售服务热线电话：（010）68326294

购书热线电话：（010）88379639 88379641 88379643

编辑热线电话：（010）88379083

封面无防伪标均为盗版

机电类新技师培养规划教材 编审委员会

主 任	郝广发	季连海						
副 主 任	刘亚琴	徐 彤	周学奎	何阳春	林爱平	李长江	付志达	
	李晓庆	王 军	赵杰士	李 涛	刘大力	张跃英	董桂桥	
委 员	于正明	王 德	王兆山	王英杰	冯小平	李全利	许炳鑫	
	张正明	杨君伟	何月秋	何秉戌	周冠生	孟广斌	郝晶卉	
	贾恒旦	徐卫东	凌爱林	奚 蒙	章振周	梁文侠	喻勋良	
	曾燕燕							
策 划 组	王英杰	徐 彤	何月秋	荆宏智				
本书主编	凌爱林							
本书参编	唐 威	王俊龙	孙佳佳	焦中庆	秦会峰	卢志国		
本书主审	张绿叶							

前 言

随着全球知识经济的快速发展，我国工业化建设也呈现迅猛发展之势，因而技术工人十分缺乏。为了顺应形势的发展要求，我国出台了一系列大力发展职业教育的政策：劳动和社会保障部颁布了最新《国家职业标准》，继续实行职业准入制度，并将国家职业资格由三级（初、中、高）改为五级（初、中、高、技师、高级技师），对技术工人的工作内容、技能要求和相关知识进行了重新界定。教育部根据国务院“大力开展职业教育”的精神进行了职业教育的改革，高职学院、中职学校相应地改制、扩招，以培养更多的技术工人。

经过几年的努力，技术工人在数量上的矛盾在一定程度上得到缓解，但在结构比例上的矛盾突显出来。高级工、技师、高级技师等高技能人才在技术工人中的比重远远低于发达国家，而且他们年龄普遍偏大，文化程度偏低，学习高新技能比较困难。为打破这一局面，加快数量充足、结构合理、素质优良的技术技能型、复合技能型和知识技能型高技能人才的培养，劳动和社会保障部提出的“新技师培养带动计划”，即在完成“3年50万”新技师培养计划的基础上，力争“十一·五”期间在全国培养技师和高级技师190万名，培养高级技工700万名，使我国从“世界制造业大国”逐步转变为“世界制造业强国”。为此，劳动和社会保障部决定：除在企业中培养和评聘技师外，要探索出一条在技师学院中培养技师的道路。中国机械工业教育协会和全国职业培训教学工作指导委员会经研究决定，制定机电行业的技师培养方案。

在上述原则的指导下，中国机械工业教育协会和全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会组织30多所高级技校、技师学院和企业培训中心等单位，经过广泛的调研论证，决定首批选定五个工种（职业）——模具工、机修钳工、电气维修工、焊工、数控机床操作工作为在技师学院培养技师的试点。对学制、培养目标、教学原则、专业设置、教学计划、教学大纲、课程设置、学时安排、教材定位、编写方式等，参照《国家职业标准》中相关工种对技师和高级技师的要求，结合各校、各地区企业的实际，经过历时三年的充分论证，完成了教学计划和教学大纲的制定和审定工作，并明确了教材编写的思想。

使用本套“机电类新技师培养规划教材”在技师学院培养技师，招收的学员必须符合的条件是：已取得高级职业资格（国家职业资格三级）的高级技校的毕业生，或具有高级职业资格证书的本职业或相近职业的人员。本套教材的编写充分体现“教、学、做”合一的职教办学原则，其特点如下：

（1）教材内容新，贴合岗位实际，满足职业鉴定要求。当今国际经济大格局的进程加快了各类型企业的先进加工技术、先进设备和新材料的使用，作为技师必须适应这种要求，教材中也相应增加了新知识、新技术、新工艺、新设备等方面的内容。另外，教材的内容以《国家职业标准》中对技师和高级技师的知识技能要求为基础，设置的实训项目或实例从岗位的实际需要出发，是生产实践中的综合性、典型性的技术问题，既最大限度地体现学以致用的目的，又满足学生毕业考工取得职业资格证书的需要。

(2) 针对每个工种(职业),均编写一本《相关工种技能训练》。随着全球化进程的加快,我国的生产力发展水平和职业资格体系应与国际相适应,因此,技师应该是具有高超操作技能的复合型人才。例如,模具工技师不应仅是模具工方面的行家里手,还应懂得车、铣、数控、磨、刨、镗和线切割、电火花等加工,以适应现代制造业的发展趋势,故此《相关工种技能训练(模具工)》中,就包括上述内容。其他工种与此类似。

(3) 理论和技能有机结合。劳动和社会保障部颁布的“新技师培养带动计划”中明确指出“建立校企合作培养高技能人才”的制度,现在许多技师学院从企业中聘请具有丰富实践经验的工程技术人员作为技能课教师,各专题理论与实践融合在一起的编写方式,更适于这种教学制度。

(4) 单独编写了两本公共课教材——《实用数学》和《应用文写作》。新时代对技师的要求不仅是技术技能型人才,还应是知识技能型甚至是复合技能型的高技能人才,有一定的数学理论基础和写作能力是新技师必备的素质。《实用数学》运用微积分知识分析解决生产中的实际问题,少推理,重应用;《应用文写作》除介绍、普通事务文书、经济文书、法律文书、日常事务文书的写法外,还教授科技文书的写法,其中科技论文的写法对于技师论文的写作会有很大裨益。

(5) 本套教材配有电子教案。电子教案包括教学计划、教学大纲、每章的培训目标、内容简介、重点难点,教师上课的板书,本章小结、配套习题及答案等。

(6) 练习题是国家题库及各地鉴定考题的综合归纳和提升。

本套教材的编写得到了各技师学院、高级技工学校领导的高度重视和大力支持,编写人员都是职业教育教学一线的优秀教师,保障了这套教材的质量。在此,对为这套教材出版给予帮助和支持的所有学校、领导、老师表示衷心的感谢!

本书由凌爱林任主编,张绿叶任主审,唐威、王俊龙、孙佳佳、焦中庆、秦会峰、卢志国参加编写。

由于编写时间和编者水平所限,书中难免存在不足或错误,敬请广大读者不吝赐教!

中国机械工业教育协会
全国职业培训教学工作指导委员会
机电专业委员会

目 录

前言

第一章 金属材料的性能 1

第一节 金属材料的力学性能 1

- 一、强度 2
- 二、塑性 5
- 三、硬度 6
- 四、韧性 17
- 五、疲劳极限 19
- 六、蠕变 20

第二节 金属材料的物理性能和化学性能 21

- 一、物理性能 21
- 二、化学性能 24

第三节 金属材料的工艺性能 24

- 一、铸造性能 24
- 二、焊接性 25
- 三、锻造性能 25
- 四、切削加工性能 25
- 五、热处理工艺性能 26

复习思考题 26

第二章 纯金属的晶体结构与结晶 27

第一节 纯金属的晶体结构 27

- 一、晶体与非晶体 27
- 二、金属晶体与非金属晶体 27
- 三、金属晶体结构的描述方法 28
- 四、常见金属的晶体结构 29

第二节 纯金属的结晶 30

- 一、纯金属的结晶条件 30
- 二、纯金属的结晶规律 31
- 三、细化晶粒 32
- 四、晶体缺陷 34
- 五、金属的同素异构转变 35

复习思考题 36

第三章 金属的塑性变形与再结晶 37

第一节 金属塑性变形的概念 37

- 一、单晶体的塑性变形 37
- 二、多晶体的塑性变形 41
- 三、合金的塑性变形 42

第二节 冷塑性变形对金属组织与性能的影响 44

- 一、冷塑性变形对金属性能的影响 44
- 二、冷塑性变形对金属组织的影响 45
- 三、残余应力的产生 47

第三节 冷变形金属在加热时的变化 48

- 一、回复 48
- 二、再结晶 48
- 三、晶粒长大 49

第四节 金属的热塑性变形 50

- 一、热变形加工与冷变形加工的区别 50
- 二、热变形加工对金属组织与性能的影响 51

复习思考题 52

第四章 铁碳合金相图 53

第一节 合金的基本概念 54

- 一、合金 54
- 二、组元 54
- 三、合金系 54
- 四、相 54
- 五、组织 55

第二节 固态合金的相结构 55

- 一、固溶体 55
- 二、金属化合物 57

第三节 铁碳合金的相结构 57

- 一、铁素体 57
- 二、奥氏体 57
- 三、渗碳体 58

第四节 Fe-Fe₃C 相图分析 58

- 一、简化 Fe-Fe₃C 相图的分析 59
- 二、Fe-Fe₃C 相图中的合金分类 61

第五节 典型铁碳合金的结晶过程分析 62

- 一、共析钢的结晶 62
- 二、亚共析钢的结晶 62
- 三、过共析钢的结晶 63
- 四、共晶白口铸铁的结晶 64
- 五、亚共晶白口铸铁的结晶 65

六、过共晶白口铸铁的结晶	65	三、优质碳素结构钢	113
第六节 Fe-Fe ₃ C 相图的应用	66	四、碳素工具钢	116
一、含碳量对铁碳合金平衡组织和性能的影响	66	五、铸造碳钢	117
二、Fe-Fe ₃ C 相图在工业生产中的应用	67	第四节 合金元素在钢中的作用	118
复习思考题	68	一、合金元素对钢基本相的影响	118
第五章 钢的热处理	69	二、合金元素对 Fe-Fe ₃ C 相图的影响	118
第一节 钢的热处理原理	69	三、合金元素对钢热处理的影响	119
一、加热时的组织转变	70	第五节 低合金钢	121
二、冷却时的组织转变	74	一、低合金钢的分类及牌号	121
第二节 工件的退火与正火	85	二、低合金高强度结构钢	121
一、退火	85	三、低合金耐候钢	122
二、正火	87	四、低合金专业用钢	123
三、退火与正火的选择	88	第六节 合金钢	123
第三节 工件的淬火与回火	88	一、机械结构用合金钢	123
一、淬火	88	二、合金工具钢和高速工具钢	129
二、回火	95	三、特殊性能钢（不锈钢、耐热钢）	135
第四节 工件的表面热处理和化学热处理	97	四、滚动轴承钢	139
一、工件的表面淬火	98	复习思考题	140
二、工件的化学热处理	99	第七章 工程铸铁	142
第五节 热处理新技术简介	102	第一节 铸铁概述	142
一、形变热处理	102	一、铸铁的石墨化及影响因素	142
二、真空热处理与可控气氛热处理	103	二、铸铁的组织与性能	143
三、激光热处理与电子束表面淬火	103	三、铸铁的分类	144
第六节 热处理零件的结构工艺性	103	第二节 灰铸铁	145
一、结构工艺性的概念	103	一、灰铸铁的成分、组织和性能	145
二、热处理工艺对零件结构的要求	104	二、灰铸铁的牌号及用途	146
第七节 热处理工艺的应用	104	三、灰铸铁的孕育处理及低合金化	147
一、热处理的技术条件	105	四、灰铸铁的热处理	148
二、热处理工序位置的确定	106	第三节 球墨铸铁	148
复习思考题	107	一、球墨铸铁的成分、组织和性能	148
第六章 工业用钢	108	二、球墨铸铁的牌号及用途	149
第一节 钢材的生产	108	三、球墨铸铁的热处理	150
一、钢铁的冶炼	108	第四节 可锻铸铁	151
二、钢材生产简述	110	一、可锻铸铁的成分、组织和性能	151
三、钢材的分类及应用	111	二、可锻铸铁的牌号及用途	151
第二节 钢的分类与编号	111	第五节 蠕墨铸铁	152
一、钢的分类	111	一、蠕墨铸铁的成分、组织及性能	152
二、钢铁及合金牌号统一数字代号体系	112	二、蠕墨铸铁的牌号及用途	152
第三节 非合金钢	112	第六节 合金铸铁	153
一、非合金钢中的常存杂质元素及其影响	113	一、耐磨铸铁	153
二、碳素结构钢	113	二、耐热铸铁	153
		三、耐蚀铸铁	154
		复习思考题	154

第八章 非铁金属（有色金属）材料	
与粉末冶金材料	156
第一节 铝及铝合金	156
一、工业纯铝	156
二、铝合金的分类与热处理强化	156
三、变形铝合金	157
四、铸造铝合金	159
第二节 铜及铜合金	161
一、工业纯铜	161
二、铜合金的分类	161
第三节 其他有色金属材料	165
一、钛及钛合金	165
二、镁及镁合金	166
第四节 轴承合金	167
一、轴承合金的性能要求	167
二、轴承合金的组织特征	168
三、轴承合金的分类及牌号	168
四、常用的轴承合金	168
第五节 粉末冶金材料	168
一、粉末冶金法的应用	168
二、硬质合金	169
复习思考题	170
第九章 新型材料及其应用	171
第一节 形状记忆合金	171
一、概述	171
二、典型的形状记忆合金及性能特点	172
三、形状记忆合金的应用	172
第二节 纳米材料及其应用	173
一、纳米材料的概念	173
二、纳米材料的特性	173
三、纳米材料的应用	173
第三节 新兴永磁合金	174
一、概述	174
二、典型永磁合金的特性及其应用	174
第四节 非晶态合金	175
一、非晶态合金的概念	175
二、非晶态合金的制备	175
三、非晶态合金的特点	175
四、典型的非晶态合金	176
五、非晶态合金的应用	176
第五节 超导材料	176
一、概述	176
二、超导材料简介	177
三、超导材料的应用	177
第六节 复合材料	177
一、复合材料的组成及分类	177
二、复合材料的性能特点	178
三、常用复合材料	178
复习思考题	180
第十章 工程材料的选用	181
第一节 零件的失效分析	181
一、失效的概念	181
二、零件的失效形式	181
三、零件失效的原因	183
第二节 工程材料的选用原则及方法步骤	184
一、选材的一般原则	184
二、选材的方法与步骤	189
第三节 典型零件的选材	191
一、齿轮类零件的选材	192
二、轴类零件的选材	196
三、机架、箱体类零件的选材	200
复习思考题	200
附录	202
附录 A 金工试验	202
试验一、拉伸试验	203
试验二、硬度试验	205
试验三、冲击试验	212
试验四、铁碳合金相图组织观察试验	212
试验五、金属热处理试验	215
试验六、常用钢铁材料的简易鉴别方法	220
附录 B 布氏硬度数值表	224
参考文献	228

第一章 金属材料的性能

本章应知

1. 熟悉强度指标在机械零件设计制造中的重要意义与作用。
2. 熟悉硬度指标在机械零件制造过程中的重要意义与作用。
3. 了解塑性、韧性、疲劳强度等力学性能指标在机械零件制造过程中的意义与作用。

本章应会

1. 能够正确地使用强度指标判定材料的质量；还能够根据强度指标正确地选用材料并进行零件的设计计算。
2. 通过硬度试验，初步掌握布氏、洛氏以及里氏等硬度的测试方法。
3. 根据不同零件，能够正确地选用硬度测试方法，并能正确标注硬度数值。

工业生产中使用的各类机器设备以及日常生活中使用的诸多生活用品，许多是由各种金属材料经过加工制造而成。可以说，金属材料是科学技术发展、现代化工业生产以及人们日常生活的重要物质基础。因此，了解和熟悉金属材料的性能，不仅是机械零件设计、选材和制订各种加工工艺的主要依据，同时也是生活在工业现代化社会中的每个人必须具备的基础知识。

金属材料的性能是指金属材料对产品设计、制造、使用等要求的满足程度，也就是金属材料本身所具有的性质和能力。只有全面了解材料的各种性能，才能正确、经济、合理地选择使用材料，从而达到既节约金属材料又保证产品质量的目的。金属材料的性能主要包括：使用性能、工艺性能等，如图 1-1 所示。其中使用状态下表现出来的性能最为重要，尤以力学性能为首。

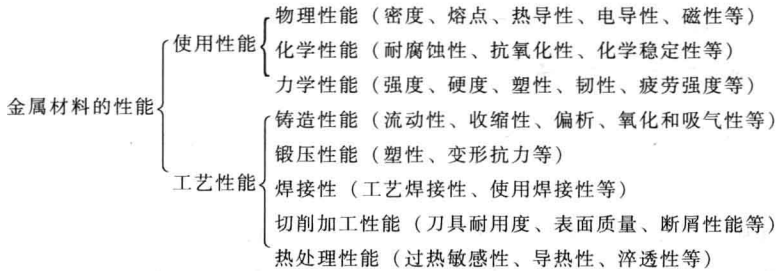


图 1-1 金属材料的性能分类

第一节 金属材料的力学性能

金属材料在力的作用下表现出来的特性称为力学性能，是最常用、最重要的性能，是衡量金属材料的主要指标之一。力学性能常用强度、塑性、硬度、韧性、疲劳强度等指标予以表示，一般通过拉伸试验、硬度试验、冲击试验和疲劳试验等各种试验方法进行测定。

各种机械零件和部件，在使用过程中都要受到不同性质的外力作用。如起重机上的钢丝绳，在吊起物体时受到拉力的作用；铁路钢轨，当火车经过时将承受很大的压力；柴油机连杆工作时同时受到拉力、压力和冲击力的作用等。所有这些外力，都会使机器零件和构件发生变形或破坏。

材料受外力作用时，内部原子的相对位置发生改变，宏观表现为形状、尺寸的变化，这种变化称做变形。变形一般分为弹性变形和塑性变形（又称永久变形）。外力不大时，一旦去除外力，变形随之消失，这种变形称为弹性变形；如果外力继续加大，材料将产生不能自行恢复的、卸除外力之后被保留下来的永久性变形，这样的变形称为塑性变形或永久变形。

材料所受的外力称载荷（也称负荷、负载）。载荷因其作用性质的不同，可分为静载荷、冲击载荷和交变载荷等。

- (1) 静载荷 是指大小不变或变动很慢的载荷。
- (2) 冲击载荷 是指突然增加的载荷。
- (3) 交变载荷 是指大小、方向或大小和方向随着时间发生周期性变化的载荷。

材料受载荷作用后的变形，可分为拉伸、压缩、剪切、扭转和弯曲等。图 1-2 为金属材料在不同载荷作用下的变形情况，图 1-3 为铆钉承受剪切载荷作用的情况。

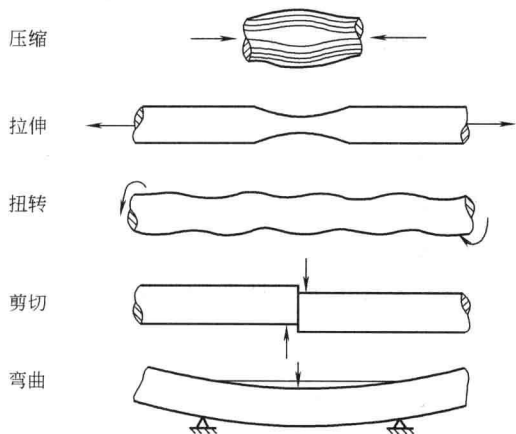


图 1-2 金属材料受载荷时的变形分类

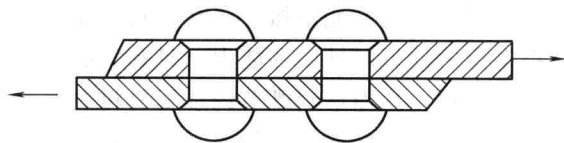


图 1-3 铆钉承受剪切载荷作用的情况

一、强度

强度是指材料在外力作用下抵抗塑性变形和断裂的能力。抵抗能力越大，材料强度越高。根据载荷性质的不同，强度可分为抗拉、抗压、抗剪、抗扭和抗弯强度等。在机械制造中常用抗拉强度作为材料力学性能的主要指标。其主要测定方法是拉伸试验。

1. 拉伸试验及力-伸长曲线

(1) 拉伸试验 测定强度与塑性指标时，一般需要在拉伸试验机上通过拉伸试验进行。WE—60 型液压万能材料试验机，如图 1-4 所示。试验时先将被测材料制成标准拉伸试样，如图 1-5 所示。然后将试样装夹在拉伸试验机上，随着载荷的增加，试样不断产生变形，最后在“缩颈”处断裂（试验方法详见 GB/T228—2002《金属拉伸试验》）。

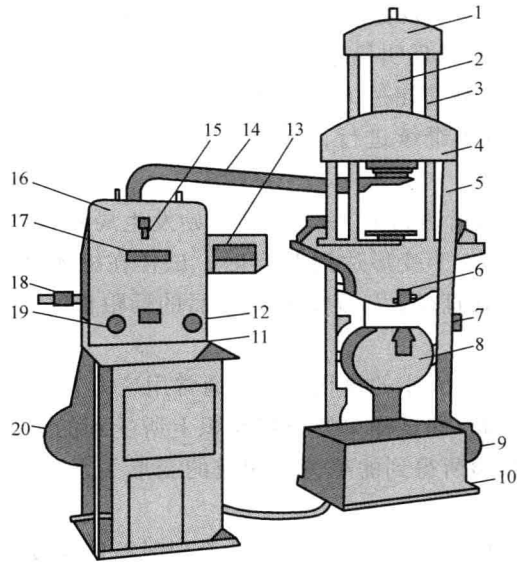


图 1-4 WE-60 型液压万能材料试验机

- 1—小横梁 2—工作液压缸 3—拉杆 4—大横梁 5—立柱 6—上钳口 7—升降电钮 8—下钳口
9—电动机 10—机座 11—液压泵电钮 12—送油阀 13—自动描绘器 14—油管 15—转动指针
16—测力盘 17—被动指针 18—摆杆 19—回油阀 20—摆锤

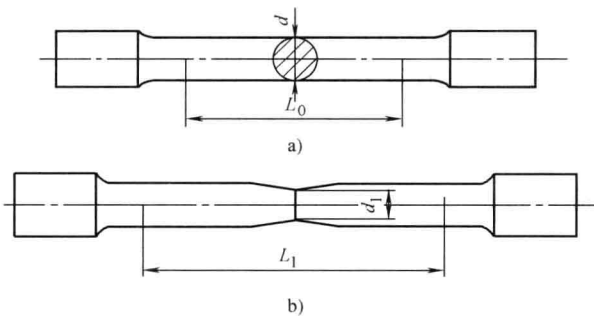


图 1-5 圆形拉伸试样

a) 拉伸前 b) 拉伸后

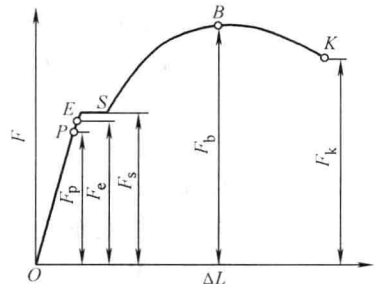


图 1-6 力-伸长曲线

(2) 力-伸长曲线 力-伸长曲线又称为应力-应变曲线，它是根据拉伸力与试样变形量之间的对应关系，可以绘制出力-伸长曲线图（一般由拉伸试验机自动绘出）。如图 1-6 所示为低碳钢的力-伸长曲线图。由图 1-6 可见，低碳钢试样的拉伸过程可分为以下几个阶段：

OE——弹性变形阶段。当载荷小于 F_e 时，试样只产生弹性变形。其特点是试样随着载荷的增加而产生变形、伸长，但去除载荷后，变形则完全消失，试样恢复到原来的形状和尺寸。

ES——微量塑性变形阶段。载荷超过 F_e 后，试样进一步发生变形，此时若去除载荷，绝大部分变形随之消失（弹性变形部分），但却有一小部分变形（微量）不能消失而被保留下来，这种不能随载荷的去除而消失的变形即为塑性变形。载荷增大到 F_s 时，载荷保持不

变而试样的变形继续增加, 这种现象称为屈服。这时, 在拉伸曲线上出现水平线段 (或锯齿形线段), 屈服后材料开始出现明显的塑性变形。

SB——均匀变形阶段。载荷超过 F_s 后, 材料开始发生大量的塑性变形。与此同时载荷也在不断地增加, 以维持变形继续进行, 直至 *B* 点。此阶段试样的变形是在试样标距长度范围内均匀发生的。

BK——缩颈阶段。当载荷达到 F_b 后, 试样开始发生局部收缩, 称为缩颈现象。试样在载荷小的情况下, 继续变形。当变形达到 *K* 点时, 试样在缩颈处断裂, 如图 1-5b 所示。其中 d_1 为试样拉断后的断口处直径, L_1 为试样拉断后的标距长度。

2. 强度指标

强度指标是判定材料强度大小的量化数据, 通常用应力表示。应力是指试验过程中的力除以试样原始横截面积的商, 即试样单位横截面积上所受到的力, 用符号 σ_0 表示, 单位为 MPa (兆帕)。根据拉伸试验所得到的载荷及相应的变形关系, 可分别求出被测材料的以下强度指标。

(1) 弹性极限 弹性极限是指试样产生弹性变形时所能承受的最大应力。用符号 σ_e 表示。其计算公式为

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

式中 F_e ——试样产生弹性变形时所承受的载荷 (N);

S_0 ——试样原始横截面积 (mm^2)。

(2) 屈服点与 (条件) 屈服强度 屈服点 σ_s 是指材料在试验过程中, 载荷不增加 (保持恒定) 仍能继续伸长时的应力。用符号 σ_s 表示。其计算公式为

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

式中 F_s ——试样发生屈服时所承受的载荷 (N);

S_0 ——试样原始横截面积 (mm^2);

σ_s ——屈服点 (MPa)。[⊖]

实际中只有少数材料在拉伸时出现屈服现象, 而大多数材料在拉伸试验中没有明显的屈服现象, 所以难以测出屈服点。为了获得这一重要性能指标, 国家标准规定: 试样产生 0.2% 的残余伸长率时所对应的应力作为材料的“条件屈服强度”, 简称屈服强度, 以 $\sigma_{0.2}$ 表示 (图 1-7)。其计算公式为

$$\sigma_{0.2} = \frac{F_{0.2}}{S_0}$$

式中 $F_{0.2}$ ——试样产生 0.2% 的残余伸长率时所对应的载荷 (N);

S_0 ——试样原始横截面积 (mm^2);

$\sigma_{0.2}$ ——试样产生 0.2% 的残余伸长率时所对应的应力 (MPa)。

屈服点、屈服强度是材料抵抗微量塑性变形的抗力。当材料的实际工作应力大于其屈服点或屈服强度时, 就有可能产生过量塑性变形而失效, 如果能保证零件工作时的应力低于材

⊖ $1\text{N}/\text{mm}^2 = 10^6\text{Pa} = 1\text{MPa}$, 下同。

料的屈服点或屈服强度,就不会发生此类情况。材料的屈服点、屈服强度越高,表示材料抵抗微量塑性变形的能力就越大,允许的工作应力也就越高。因此, σ_s 、 $\sigma_{0.2}$ 是大多数机械零件设计计算时的主要依据之一,同时也是评定材料质量的重要指标。

(3) 抗拉强度 抗拉强度是指试样拉断过程中所能承受的最大应力值,用符号 σ_b 表示

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

式中 F_b ——试样拉断前所承受的最大载荷 (N);

S_0 ——试样原始横截面积 (mm^2);

σ_b ——抗拉强度 (MPa)。

抗拉强度的物理意义在于它反映了材料最大均匀变形的抗力,表明了材料在拉伸条件下,单位截面积上所能承受的最大应力。显然,机器零件工作时,所承受的拉应力不允许超过 σ_b ,否则就会产生断裂,造成严重事故。所以抗拉强度也是机械设计计算和选材的重要指标之一。特别是对于脆性材料来说,拉伸过程中几乎不发生塑性变形即突然断裂, $\sigma_{0.2}$ 也常常难以测出,所以,脆性材料没有屈服强度指标,只有抗拉强度指标用于零件的设计计算。

在工程上,把 σ_s/σ_b 的比值称为屈强比。其值越高,材料强度的有效利用率越高,但会使零件的安全可靠性降低。不过在使用性能要求允许的情况下,还是屈强比大一点好,一般在 0.75 左右。

二、塑性

材料在外力作用下产生塑性变形而不破坏的能力称为塑性。常用的塑性指标是断后伸长率和断面收缩率。一般通过拉伸试验测定。

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标距长度的百分比。用符号 δ 表示

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

式中 L_0 ——试样原标距长度 (mm);

L_1 ——试样拉断后对接的标距长度 (mm)。

拉伸试样按长径比分为长试样 ($L_0/d_0 = 10$) 和短试样 ($L_0/d_0 = 5$) 两种,长试样的断面伸长率以 δ_{10} 或 δ 表示。短试样的断后伸长率以 δ_5 表示。一般把 $\delta \geq 5\%$ 的材料称为塑性材料, $\delta < 5\%$ 的材料称为脆性材料。

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最大缩减量与原始横截面积的百分比,用符号 ψ 表示

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

式中 S_0 ——试样原始横截面积 (mm^2);

S_1 ——试样拉断后缩颈处最小横截面积 (mm^2)。

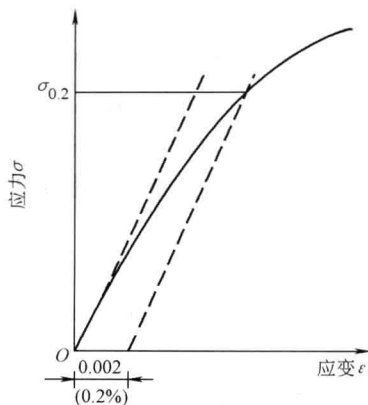


图 1-7 屈服强度示意图

塑性直接影响到零件的成形及使用。塑性好的材料，不仅能顺利地进行轧制、锻压等成形工艺，而且在使用中万一超载，由于变形，能避免突然断裂。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。一般情况，伸长率达5%或断面收缩率达10%的材料，即可满足大多数零件的使用要求。

强度、塑性计算方法举例：

例：有一直径为10mm的碳钢短试样，在静拉伸载荷增加到20410N时，出现屈服现象；载荷加至37680N时被拉断。拉断后的长度为73mm；断裂处的直径为7.07mm。求试样的屈服点、抗拉强度、断后伸长率及断面收缩率。

解：

(1) 求屈服点

已知： $F_s = 20410\text{N}$ ， $d_0 = 10\text{mm}$

$$\text{则 } S_0 = \frac{\pi d_0^2}{4} = \frac{3.14 \times 10^2}{4} \text{mm}^2 = 78.5 \text{mm}^2$$

$$\text{所以 } \sigma_s = \frac{F_s}{S_0} = \frac{20410\text{N}}{78.5 \text{mm}^2} = 260 \text{N/mm}^2 = 260 \text{MPa}$$

(2) 求抗拉强度

已知： $F_b = 37680\text{N}$ ， $S_0 = 78.5 \text{mm}^2$

$$\text{所以 } \sigma_b = \frac{F_b}{S_0} = \frac{37680\text{N}}{78.5 \text{mm}^2} = 480 \text{N/mm}^2 = 480 \text{MPa}$$

(3) 求断后伸长率

已知：短试样 $L_0 = 5D_0 = 50\text{mm}$

$$L_1 = 73\text{mm}$$

$$\text{所以 } \delta_5 = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% = \frac{73\text{mm} - 50\text{mm}}{50\text{mm}} \times 100\% = 46\%$$

(4) 求断面收缩率

已知： $d_1 = 7.07\text{mm}$

$$\text{则 } S_1 = \frac{\pi d_1^2}{4} = \frac{3.14 (7.07)^2}{4} \text{mm}^2 = 39.25 \text{mm}^2$$

$$\text{所以 } \varphi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\% = \frac{78.5 \text{mm}^2 - 39.25 \text{mm}^2}{78.5 \text{mm}^2} \times 100\% = 50\%$$

答：此钢的屈服点 $\sigma_s = 260 \text{N/mm}^2 = 260 \text{MPa}$

抗拉强度 $\sigma_b = 480 \text{N/mm}^2 = 480 \text{MPa}$

断后伸长率 $\delta_5 = 46\%$

断面收缩率 $\varphi = 50\%$

三、硬度

硬度是指材料抵抗局部变形，特别是塑性变形、压痕或划痕的能力，它是衡量材料软硬程度的力学性能指标。由于硬度测定具有简单、迅速、不破坏工件等优点，所以在工业生产中得到广泛应用。

测定硬度的方法很多，工业上广泛应用的是压入法硬度试验，即在规定的试验力下将压

头压入被测材料或零件表面，用压痕深度或压痕表面面积来评定硬度。常用的硬度主要有布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度等。

1. 布氏硬度

布氏硬度数值是通过布氏硬度试验测定而得。布氏硬度试验是指用一定直径的（球体钢球或硬质合金球）以相应的试验力压入被测材料或零件表面，经规定保持时间后卸除试验力，通过测量表面压痕直径来计算硬度的一种压痕硬度试验方法，如图 1-8 所示（图中 h 为球冠形压痕的高， φ 为压入角）。

布氏硬度值用球面压痕单位面积上所承受的平均压力来表示。

布氏硬度符号用 HBW 表示，其计算公式如下

$$\text{HBW} = \frac{F}{S} = 0.102 \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

式中 F ——试验力 (N)；

S ——球面压痕表面积 (mm^2)；

D ——球体直径 (mm)；

d ——压痕平均直径 (mm)。

由上式可以看出，当 F 、 D 一定时，布氏硬度值仅与压痕直径 d 的大小有关。所以在测定布氏硬度时，只要先测得压痕直径 d ，即可根据 d 值的大小，再查有关表格得出 HBW 值，不需要进行上述计算。压痕直径的测量，一般使用带有标尺的读数显微镜进行，如图 1-9 所示。

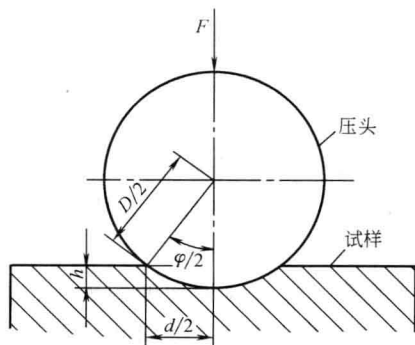


图 1-8 布氏硬度试验原理示意图

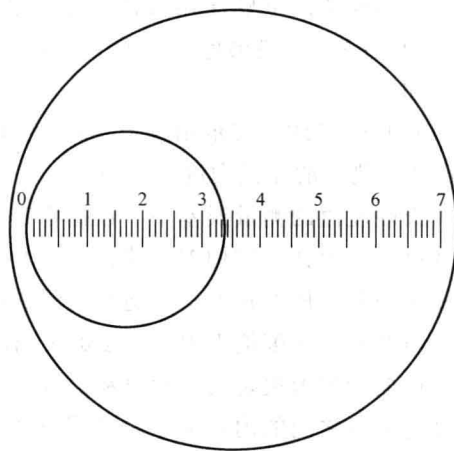


图 1-9 压痕测量示意图

以前在国家标准 GB/231—1984 中曾规定，进行布氏硬度试验时，首先应选择压头的材料，布氏硬度值在 450 以下（如灰铸铁、有色金属及经退火、正火和调质处理的钢材等）时，应选用淬火钢球作压头；当材料的布氏硬度值在 450 ~ 650 时，则应选用硬质合金球作压头。但目前按新标准 GB/T 231—2002 规定，均采用硬质合金球作压头，布氏硬度值都用 HBW 符号表示。其次是根据被测材料种类和试样厚度，按照表 1-1 所示的布氏硬度试验规范，正确地选择压头直径 D 、试验力 F 和保持时间 t 。

表 1-1 布氏硬度试验规范

材料种类	布氏硬度使用范围 (HBW)	球直径 D/mm	$0.102F/D^2$	试验力 F/N	试验力保持时间 s	备注
钢 铸铁	≥ 140	10	30	29420	10	压痕中心距试样边缘距离, 不应小于压痕平均直径的 2.5 倍 两相邻压痕中心的距离, 不应小于压痕平均直径的 4 倍 试样厚度至少应为压痕深度的 10 倍。试验后, 试样支撑面应无可见变形痕迹
		5		7355		
2.5	1839					
< 140	10	10	9807	10 ~ 15		
	5		2452			
	2.5		613			
有色金属材料	≥ 130	10	30	29420	30	
		5		7355		
		2.5		1839		
	35 ~ 130	10	10	9807	30	
		5		2452		
		2.5		613		
< 35	10	2.5	2452	60		
	5		613			
	2.5		153			

布氏硬度习惯上只写出硬度值而不必注明单位, 其标注方法是, 符号 HBW 之前为硬度值, 符号后面按以下顺序用数值表示试验条件: 球体直径、试验力, 试验力保持时间 (10 ~ 15s 不标注)。一般黑色金属为 10 ~ 15s, 有色金属为 30s。

例如:

500HBW5/750, 表示用直径 5mm 的硬质合金球在 7.35kN (750kgf) 试验力作用下, 保持 10 ~ 15s 测得的布氏硬度值为 500。

布氏硬度值的测量误差小、数据稳定、重复性强, 常用于测量退火、正火、调质处理后的零件以及灰铸铁、结构钢、非铁 (有色) 金属及非金属材料等毛坯或半成品零件的硬度。但因测量费时, 压痕较大, 不适宜测量成品零件或薄件。

材料的布氏硬度值 HBW 与强度 σ_b 有一定的内在关系。这是因为硬度的大小, 是由材料的塑性变形抗力决定的, 而材料的强度越高, 其塑性变形抗力就越大, 硬度也就越高。材料硬度与强度之间的内在关系, 可用下述经验公式表示:

$$\begin{aligned} \text{低碳钢} & \quad \sigma_b \approx 0.36\text{HBW} \\ \text{高碳钢} & \quad \sigma_b \approx 0.34\text{HBW} \\ \text{调质合金钢} & \quad \sigma_b \approx 0.325\text{HBW} \\ \text{灰铸铁} & \quad \sigma_b \approx 0.1\text{HBW} \end{aligned}$$

2. 洛氏硬度

洛氏硬度值由洛氏硬度试验测定。

(1) 洛氏硬度的试验原理与方法 洛氏硬度试验是在初始试验力 F_0 及总试验力 F_1 的先后作用下, 将顶角为 120° 金刚石圆锥体或直径为 1.588mm (1/16 in) 的淬硬钢球压入试