



国防特色教材·职业教育

# 工程材料与材料成形工艺

GONGCHENG CAILIAO YU CAILIAO CHENGXING GONGYI

黄祥 主编 蒋红云 副主编

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

北京航空航天大学出版社 哈尔滨工程大学出版社  
哈尔滨工业大学出版社 西北工业大学出版社



国防特色教材·职业教育

# 工程材料与材料成形工艺

**北京理工大学出版社**

北京航空航天大学出版社 哈尔滨工程大学出版社

哈尔滨工业大学出版社 西北工业大学出版社

## 内容简介

全书共分13章,主要讲述了工程材料的性能、结构与结晶,钢的热处理、常用金属材料与非金属材料、零件毛坯的成形方法、金属切削加工工艺、材料与成形工艺选择等内容,并安排了部分实验。

本书是国防科技工业高等职业教育制造类专业的通用教材,可用于课堂教学、实验与实训等教学环节,也可作为其他高等职业院校中机械、机电类专业的教学用书,还可作为有关工程技术人员的参考用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

工程材料与材料成形工艺/黄祥主编. —北京:北京理工大学出版社,2009.8

国防特色教材. 职业教育

ISBN 978-7-5640-2353-9

I. 工… II. 黄… III. 工程材料-成形-工艺-高等学校:技术学校-教材 IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 101479 号

## 工程材料与材料成形工艺

黄祥 主编

责任编辑 周艳红

\*

北京理工大学出版社出版发行

北京市海淀区中关村南大街5号(100081) 发行部电话:010-68944990 传真:010-68944450

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

北京地质印刷厂印刷 全国各地新华书店经销

\*

开本:787毫米×960毫米 1/16 印张:19.5 字数:396千字

2009年8月第1版 2009年8月第1次印刷 印数:1—3000册

ISBN 978-7-5640-2353-9 定价:35.00元

# 前 言

本书是根据国防科工委“关于国防科工委职业教育‘十一五’规划教材立项申报的通知”精神,对照教育部制定的“高职高专教育工程材料与成形工艺基础课程教学基本要求”,按照国防科技工业对高等技术应用型人才的要求和一般机械工程专业教育培养目标,并结合高职教育的实践经验编写而成的。在编写本书的过程中,我们从高职教育的实际出发,做到基本概念清晰,重点突出;内容上以必需和够用为原则,注重实践性和启发性;将理论与实验实训进行融合,三位一体,有利于实现工学结合,并与职业资格等级考试相结合,具有鲜明的职业教育特色。本书建立了大材料观,整体上形成了金属材料与非金属材料并重的格局,塑造了工程材料、成形工艺和现代制造过程的完整概念,引入新材料、新工艺和新技术,全面贯彻国家标准。

本书由安徽国防科技职业学院黄祥担任主编,蒋红云担任副主编,参加本书编写的还有六安职业技术学院邵安生、安徽国防科技职业学院徐俊(原安徽江汽集团六安齿轮有限公司高级技师)。其中,黄祥编写第5、6、10、11、13章及附录实验,蒋红云编写第1、2、3、4章,邵安生编写第7、8、9章,徐俊编写第12章。全书由黄祥副教授负责统稿,并由安徽省金工研究会秘书长合肥工业大学郑红梅副教授和安徽国防科技职业学院余嗣元副教授主审。另外,在本书的编写过程中,安徽军工集团国营9324厂高级工程师田发林给予了大量的指导和帮助。

随着社会经济的发展和科技的进步,高职高专教育也在迅速发展并发生着深刻的变革,对高职高专教育的课程体系和教学内容建设也处在积极的探索之中。本书力求适应高职高专教育的改革和发展,有利于对国防科技工业和机械制造业高技能人才的培养,但由于编者自身能力有限,书中不足之处在所难免,真诚希望广大读者批评指正。

本书在编写过程中参阅了大量的文献资料,得到了有关院校专家和老师的支持,在此一并表示衷心的感谢。

编 者

# 目 录

绪论	1
第 1 章 材料的性能	3
1.1 材料的力学性能	3
1.1.1 强度和塑性	3
1.1.2 硬度	5
1.1.3 冲击韧性	7
1.1.4 疲劳强度	9
1.2 材料的工艺性能	10
1.2.1 铸造性能	10
1.2.2 锻造性能	10
1.2.3 焊接性能	10
1.2.4 切削加工性能	11
复习思考题	11
第 2 章 材料的结构与结晶	12
2.1 金属的晶体结构	12
2.1.1 晶体与非晶体	12
2.1.2 晶体结构的基本概念	12
2.1.3 金属实际晶体结构	14
2.1.4 金属的结晶过程	15
2.2 合金的晶体结构	18
2.2.1 基本概念	18
2.2.2 合金的组织	19
2.3 二元合金相图	20
2.3.1 二元合金相图的建立	20
2.3.2 二元合金相图的分析	21
复习思考题	23

<b>第3章 铁碳合金</b> .....	24
3.1 纯铁的同素异构转变 .....	24
3.2 铁碳合金的基本组织 .....	25
3.3 铁碳合金相图 .....	26
3.3.1 相图分析 .....	27
3.3.2 典型成分铁碳合金结晶过程分析 .....	28
3.3.3 含碳量对铁碳合金组织和性能的影响 .....	33
3.4 铁碳合金相图的应用 .....	34
3.4.1 在选材方面的应用 .....	34
3.4.2 在铸造方面的应用 .....	34
3.4.3 在锻造方面的应用 .....	34
3.4.4 在焊接方面的应用 .....	34
3.4.5 在热处理方面的应用 .....	35
复习思考题 .....	35
<b>第4章 钢的热处理</b> .....	36
4.1 钢在加热时的组织转变 .....	36
4.1.1 奥氏体的形成过程 .....	37
4.1.2 奥氏体晶粒的长大及其影响因素 .....	38
4.2 钢在冷却时的组织转变 .....	40
4.2.1 过冷奥氏体等温冷却转变 .....	40
4.2.2 过冷奥氏体连续冷却转变 .....	43
4.3 钢的普通热处理 .....	44
4.3.1 钢的退火与正火 .....	44
4.3.2 钢的淬火与回火 .....	46
4.4 钢的表面热处理 .....	54
4.4.1 钢的表面淬火 .....	54
4.4.2 钢的化学热处理 .....	55
4.5 热处理新技术简介 .....	58
4.5.1 可控气氛热处理 .....	59
4.5.2 真空热处理 .....	59
4.5.3 形变热处理 .....	60
4.5.4 流动化热处理 .....	61



---

4.5.5 循环热处理	61
4.5.6 强韧化处理	62
4.5.7 激光热处理	63
复习思考题	64
<b>第5章 金属材料</b>	<b>65</b>
5.1 杂质元素和合金元素对钢的作用	65
5.1.1 杂质元素和合金元素在钢中的作用	65
5.1.2 钢的分类	68
5.2 非合金钢	69
5.2.1 普通质量非合金钢	69
5.2.2 优质非合金钢	70
5.2.3 特殊质量非合金钢	72
5.2.4 铸钢	73
5.3 低合金钢和合金钢	74
5.3.1 合金钢的牌号	74
5.3.2 合金结构钢	75
5.3.3 特殊性能钢	85
5.4 铸铁	88
5.4.1 铸铁的石墨化及影响因素	89
5.4.2 常用铸铁	90
5.4.3 合金铸铁	96
5.5 非铁金属材料	97
5.5.1 铝及铝合金	97
5.5.2 铜及铜合金	102
5.5.3 滑动轴承合金	107
5.5.4 粉末冶金材料	109
复习思考题	112
<b>第6章 非金属材料</b>	<b>114</b>
6.1 高分子材料	114
6.1.1 塑料	114
6.1.2 橡胶	120
6.1.3 胶黏剂	121

6.2	陶瓷材料 .....	121
6.2.1	陶瓷的分类 .....	121
6.2.2	陶瓷的性能 .....	121
6.2.3	常用工业陶瓷 .....	122
6.3	复合材料 .....	122
6.3.1	复合强化原理 .....	123
6.3.2	复合材料的分类 .....	123
6.3.3	复合材料的性能 .....	123
6.3.4	常用复合材料 .....	124
	复习思考题 .....	125
<b>第7章</b>	<b>铸造成形工艺</b> .....	<b>126</b>
7.1	铸造工艺基础 .....	126
7.1.1	概述 .....	126
7.1.2	金属的铸造性能 .....	127
7.2	砂型铸造 .....	129
7.2.1	型砂和芯砂 .....	130
7.2.2	手工砂型造型 .....	132
7.2.3	型芯制造 .....	138
7.2.4	合箱与浇注 .....	138
7.2.5	落砂和清理 .....	138
7.2.6	铸件的质量检验 .....	139
7.3	铸造工艺 .....	140
7.3.1	浇注位置和分型面的选择 .....	140
7.3.2	铸造工艺参数的选择 .....	143
7.3.3	浇注系统和冒口 .....	145
7.3.4	铸造工艺图 .....	147
7.4	特种铸造工艺 .....	147
7.4.1	熔模铸造 .....	148
7.4.2	金属型铸造 .....	149
7.4.3	压力铸造 .....	150
7.4.4	离心铸造 .....	151
7.5	铸件的结构设计 .....	152
7.5.1	铸造工艺对结构的要求 .....	152



7.5.2 铸件质量对结构的要求 .....	154
7.6 铸造成形技术发展简介 .....	156
复习思考题 .....	158
<b>第 8 章 锻压成形工艺</b> .....	<b>160</b>
8.1 金属的塑性变形 .....	161
8.1.1 金属塑性变形的实质 .....	161
8.1.2 金属的锻造性 .....	164
8.2 锻造 .....	166
8.2.1 自由锻造 .....	166
8.2.2 模锻 .....	172
8.2.3 锻件的结构工艺性 .....	176
8.3 板料冲压 .....	178
8.3.1 冲压设备 .....	178
8.3.2 板料冲压的基本工序 .....	180
8.3.3 冲压模具 .....	182
8.3.4 板料冲压件的结构工艺性 .....	184
8.4 其他锻压成形方法 .....	185
8.4.1 挤压 .....	185
8.4.2 拉拔 .....	187
8.4.3 辊轧 .....	187
8.4.4 锻压成形新工艺与新技术简介 .....	189
复习思考题 .....	191
<b>第 9 章 焊接成形工艺</b> .....	<b>193</b>
9.1 焊接工艺基础 .....	193
9.1.1 焊接工艺概述 .....	193
9.1.2 金属熔焊原理 .....	194
9.2 常用焊接方法 .....	195
9.2.1 焊条电弧焊 .....	195
9.2.2 埋弧自动焊 .....	199
9.2.3 气焊和气割 .....	201
9.2.4 气体保护焊 .....	203
9.2.5 电阻焊 .....	205

9.2.6	电渣焊 .....	207
9.2.7	钎焊 .....	208
9.3	焊接质量及其控制 .....	208
9.3.1	焊接接头的组织与性能 .....	208
9.3.2	焊接应力与变形 .....	211
9.3.3	焊接接头的主要缺陷及检验 .....	214
9.4	常用金属材料的焊接 .....	217
9.4.1	金属材料的焊接性 .....	218
9.4.2	碳钢的焊接性 .....	219
9.4.3	低合金结构钢的焊接 .....	219
9.4.4	铸铁的焊补 .....	219
9.4.5	有色金属的焊接 .....	220
9.5	焊接结构的设计 .....	222
9.5.1	焊接结构件材料的选择 .....	222
9.5.2	焊缝的布置 .....	222
9.5.3	焊接方法的选择 .....	224
9.5.4	焊接接头形式的选择与设计 .....	225
	复习思考题 .....	228
<b>第 10 章</b>	<b>机械加工成形工艺 .....</b>	<b>230</b>
10.1	切削加工基本知识 .....	230
10.1.1	切削运动与切削要素 .....	230
10.1.2	金属切削刀具 .....	232
10.1.3	切削液 .....	234
10.1.4	金属切削过程中的物理现象 .....	234
10.2	常用切削加工方法 .....	237
10.2.1	车削加工 .....	237
10.2.2	其他常用机床及其加工 .....	240
	复习思考题 .....	245
<b>第 11 章</b>	<b>机械加工工艺过程 .....</b>	<b>247</b>
11.1	机械加工工艺的基础知识 .....	247
11.1.1	机械加工工艺过程 .....	247
11.1.2	工件的装夹 .....	250

11.1.3 工件的定位	254
11.1.4 夹具简介	255
11.2 零件机械加工工艺规程的制定	257
11.3 典型零件的机械加工工艺方案	259
11.3.1 轴类零件	259
11.3.2 套类零件	260
复习思考题	262
<b>第 12 章 先进制造技术简介</b>	<b>263</b>
12.1 精密加工技术	263
12.1.1 研磨	263
12.1.2 珩磨	263
12.1.3 抛光	264
12.1.4 超精密加工	264
12.2 特种加工技术	264
12.2.1 电火花加工	265
12.2.2 电解加工	266
12.2.3 超声波加工	267
12.2.4 激光加工	268
12.2.5 水射流加工	268
12.3 数控机床加工技术	268
12.4 快速原型制造技术	269
12.4.1 快速原型制造技术的概念	269
12.4.2 快速原型制造技术的特征	270
12.4.3 快速原型工艺	271
复习思考题	273
<b>第 13 章 材料与成形工艺选择</b>	<b>274</b>
13.1 机械零件的失效形式	274
13.1.1 零件失效的原因	274
13.1.2 零件失效的形式	275
13.2 材料及成形工艺选择	276
13.2.1 材料及成形工艺选择的原则	276
13.2.2 材料及成形工艺选择的方法	278

13.3 典型零件的选材实例分析·····	280
13.3.1 轴类零件的选材·····	280
13.3.2 齿轮类零件的选材·····	284
13.3.3 机架和箱体类零件的选材·····	289
复习思考题·····	289
<b>附录</b> ·····	291
实验1 硬度实验·····	291
实验2 常用金属材料的显微组织观察实验·····	294
实验3 碳钢的热处理实验·····	296
<b>参考文献</b> ·····	299

# 绪 论

工程材料与材料成形工艺是以目前使用最广的钢铁材料为主,着重讲述各种材料加工工艺方法本身的规律性及其在机械制造中的应用,涉及金属材料与非金属材料的性能、毛坯成形和机械加工等综合性技术科学。

材料是人类文明生活的物质基础。综观人类利用材料的历史,可以清楚地看到,每一类重要新材料的发现和都会引起生产技术的革命,加速社会文明发展的进程。

在远古时代,人类是以石器为主要工具的。他们在不断改进石器和寻找石料的过程中发现了天然红铜,并在用火烧制陶器的生产中发明了冶铜术,后来又发现把锡矿石加到红铜里一起熔炼,制成的物品更加坚韧耐磨,这就是青铜。公元前 5000 年,人类进入青铜器时代。公元前 1200 年左右,人类进入铁器时代,刚开始使用的是铸铁,后来炼钢工业迅速发展,成为 18 世纪产业革命的重要内容和物质基础。

中华民族在材料生产及其成形加工工艺技术方面,有着辉煌的成就。原始社会后期,中国开始有陶器,早在仰韶文化和龙山文化时期,制陶技术就已经很成熟。我国的青铜冶炼技术开始于夏代,到了殷商、西周时期,已经达到当时世界高峰,用青铜制造出的工具、食具、兵器和车马饰,在当时已得到普遍使用。河南安阳武官村发掘出来的商代青铜“司母戊”大鼎,高 133 cm,长 110 cm,宽 78 cm,重达 875 kg。在大鼎的四周,有蟠龙等组成的精致花纹,能铸造出这样大型的青铜器物,充分反映出我国古代青铜冶炼和铸造成形的高超技艺。湖北江陵楚墓中发掘的埋葬了 2 000 多年现在仍金光闪闪的越王勾践的宝剑以及陕西临潼秦皇陵陪葬坑发掘的工艺复杂、制作精美的铜车马等,都显示了当时制作工艺的精细。春秋战国时期的《周礼考工记》中关于钟鼎和刀剑不同的铜锡配比记载,反映出当时的人们已经掌握了青铜的成分与性能之间的关系。利用现代技术对古代宝剑进行检验,我们揭开了宝剑在阴暗潮湿的地下埋葬了 2 000 多年之后仍保持通体光亮且锋利异常的奥秘:越王剑经过了硫化处理,秦皇陵俑剑采用了铬盐氧化法的钝化处理。这些表面处理技术在现代仍是重要的防护方法。

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遗址中,就有浇铸农具用的铁模子,这说明当时的人们已经掌握铁模铸造技术。随后出现了炼钢、锻造、钎焊技术和退火、淬火、正火、渗碳等热处理技术。在明朝之前的 2 000 多年间,我国的钢铁生产和金属材料成形工艺技术一直在世界上遥遥领先。

我国的金属切削加工工艺可追溯到青铜时代,越王剑的刃口磨得非常精细,可与目前使用精密磨床得到的产品相媲美。在湖南衡阳出土的东汉人字齿轮,说明在汉朝就有了金属机件。明朝出现了简单的切削加工设备。明朝宋应星所著的《天工开物》,是举世公认的有关金属加工的最早的科学技术著作之一,书中记载了冶铁、铸造、锻造、淬火等各种金属加工的方法。

法,其中关于锉刀的制造、翻修和热处理工艺与现在相差无几。清初曾经有人用直径约6.6 cm的嵌齿铣刀,靠牲畜带动旋转来铣削天文仪上的铜环。古代中国还将胶接技术用于器具、工艺品的制造。但是,到了18世纪以后,长期的封建统治和闭关自守严重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发挥着关键性作用,航空工业的发展就充分说明了这一点。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,其飞行速度仅16 km/h;1911年硬铝合金研制成功,金属结构取代木布结构,使飞机的性能和速度获得一个飞跃;喷气式飞机速度之所以能超过音速,高温合金材料制造涡轮发动机起到了重要作用;当飞机速度达到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,其机体表面温度会高达1 000℃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、航天飞行器上已得到了广泛应用。

新中国成立以来,社会主义建设事业蓬勃发展。1962年我国自行设计制造了12 000 t水压机,1964年制造出了原子弹,随后又制造出了氢弹,发射了人造地球卫星和洲际导弹,“神舟七号”载人宇宙飞船的成功返回和“嫦娥一号”成功发射,等等,所有这一切都与材料及其成形工艺密不可分。

工程材料与材料成形工艺是高等职业院校多数理工类专业的技术基础课。它为培养高素质的高等职业技术人才奠定了必要的机械制造工艺方面的基础。学完本课程后,学生应达到如下要求。

- (1) 掌握常用金属材料的成分、组织、种类、牌号、性能及应用,了解非金属材料的类别、特性和用途。
- (2) 熟悉金属热处理的基本原理,掌握常用的热处理方法及其适用范围。
- (3) 掌握铸造、锻压、焊接、粉末冶金和切削加工的基本原理,熟悉其工艺特点、工艺设计基本知识和应用范围。
- (4) 了解零件结构工艺性的基本知识,具备分析零件结构工艺性的初步能力。
- (5) 具备选择材料、毛坯、加工方法和制定加工工艺路线的能力。
- (6) 了解有关的新工艺、新技术及其发展趋势。

本课程是一门综合性技术学科,内容非常丰富。另外由于材料的种类繁多,其性能又千变万化,加工方法复杂多变,因此本课程涉及的术语多,概念多,而且都比较抽象,学习起来有一定的难度。但是,只要弄清楚重要的概念和基本理论,抓住各章节之间的相互联系,按照零件加工过程这一主线进行学习和记忆,注意理论联系实际,认真地进行金工实习,获得对铸造、锻压、焊接、热处理和切削加工的感性认识,完成好作业和实验等环节,是完全可以学好这门课程的,并最终会具备一定的分析问题和解决问题的能力。

# 第 1 章 材料的性能

材料是现代工业、农业、国防和科学技术的物质基础,要准确地选用材料,就必须了解材料的性能。材料的性能包括使用性能和工艺性能两方面。使用性能是指材料在使用过程中表现出来的性能,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,包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、切削加工性能等。

在机械设计选材与制造中主要考虑力学性能。材料的力学性能,是指材料受到各种载荷(外力)作用时,所表现出的抵抗能力,主要包括强度、塑性、硬度、韧性、疲劳极限等。

## 1.1 材料的力学性能

材料在加工及使用过程中所受的外力称为载荷。根据载荷的作用方式不同,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。

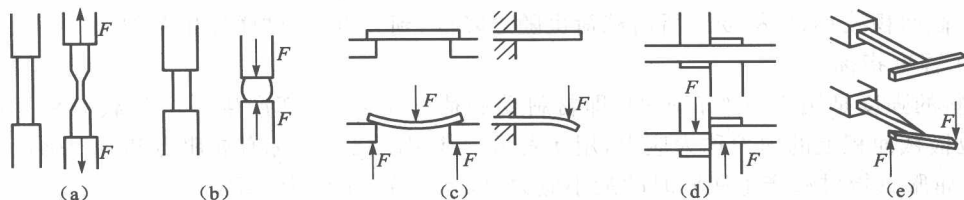


图 1-1 载荷的作用形式

(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

### 1.1.1 强度和塑性

#### 1. 强度

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,所能承受的载荷愈大。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,拉伸试验的方法是:把标准试样(GB/T 6397—1986)装夹在试验机上,然后在试样逐渐施加拉伸载荷的同时连续测量力和相应的伸长量,直至把试样拉断为止,最终得到拉伸曲线,依据拉伸曲线可求出相关的力学性能。



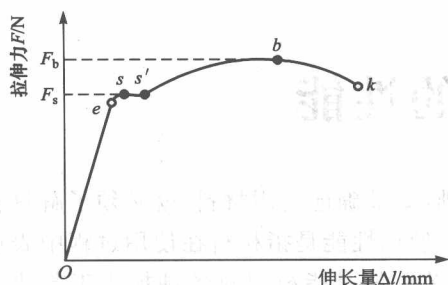


图 1-2 低碳钢的力—伸长曲线

### (1) 拉伸曲线

材料的性质不同,拉伸曲线的形状也不尽相同。如图 1-2 所示为退火低碳钢的拉伸曲线,图中纵坐标表示载荷  $F$ ,单位为  $N$ ;横坐标表示绝对伸长量  $\Delta L$ ,单位为  $mm$ 。下面以退火低碳钢拉伸曲线为例,说明拉伸过程中的几个变形阶段。

①  $Oe$ ——弹性变形阶段。在此阶段中,试样的伸长量与载荷成正比,如果卸载载荷,试样能完全恢复到原来的形状和尺寸。

②  $es$ ——微量塑性变形阶段。在此阶段,当拉伸力继续增加时,试样产生弹性变形,并开始产生微量的塑性变形。

③  $ss'$ ——屈服阶段。当载荷超过  $F_s$  时,曲线上出现水平阶段,即载荷不增加,试样继续伸长,材料丧失了抵抗变形的能力,这种现象叫做屈服。

④  $s'b$ ——均匀塑性变形阶段。当载荷超过  $F_s'$  后,试样开始产生明显的塑性变形,伸长量随载荷的增加而增大。 $F_b$  为试样拉伸试验时的最大载荷。

⑤  $bk$ ——缩颈阶段。当载荷达到最大值  $F_b$  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,到  $k$  点时,试样发生断裂。

### (2) 强度指标

材料的强度是用应力来表示的,即材料受载荷作用后,内部产生一个与载荷相平衡的内力,单位横截面积上的内力称为应力,用  $\sigma$  表示。常用的强度指标有屈服点和抗拉强度。

① 屈服点指材料产生屈服时的最小应力,以  $\sigma_s$  表示,单位为  $MPa$ 。

$$\sigma_s = F_s / S_0$$

式中  $F_s$ ——屈服时的最小载荷( $N$ );

$S_0$ ——试样原始横截面积( $mm^2$ )。

对于无明显屈服现象的金属材料(如铸铁、高碳钢等),测定其  $\sigma_s$  很困难,通常规定把产生试样  $0.2\%$  的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果受力过大,则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时,则不会产生过量的变形。材料的屈服点越高,允许的工作应力也越高。因此,屈服点是机械设计和选材的主要依据,也是评定金属材料优劣的重要指标。

② 抗拉强度指材料在拉断前所能承受的最大应力,以  $\sigma_b$  表示,单位为  $MPa$ 。计算公式为:

$$\sigma_b = F_b / S_0$$

式中  $F_b$ ——试样断裂前所承受的最大载荷( $N$ );

$S_0$ ——试样原始横截面积( $\text{mm}^2$ )。

抗拉强度表示材料抵抗均匀塑性变形的最大能力,也是机械设计和选材的主要依据。

## 2. 塑性

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

试样被拉断后,标距的伸长量与原始标距的百分比称为断后伸长率,用 $\delta$ 表示。计算公式为:

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

式中  $L_0$ ——试样原始标距长度(mm);

$L_1$ ——试样拉断后的标距长度(mm)。

必须注意的是,被测试样的长度不同,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 $\delta_{10}$ 和 $\delta_5$ 表示,通常 $\delta_{10}$ 也写作 $\delta$ 。

### (2) 断面收缩率

试样被拉断后,缩颈处横截面积的最大缩减量与试样原始横截面积的百分比称为断面收缩率,用 $\Psi$ 表示。计算公式为:

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

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

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

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),材料如果过载,则由于产生了塑性变形而不致突然断裂,可以避免事故的发生。

## 1.1.2 硬度

硬度是材料抵抗局部变形,特别是塑性变形、压痕或划痕的能力。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,才能保证其使用性能和寿命。有些机械零件如齿轮等,也要求有一定的硬度,以保证具有足够的耐磨性和使用寿命。

测量硬度的试验方法很多,大体上可分为压入法、划痕法和回跳法等三大类。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。该方法试验操作简单,可直接在零件或工具上进行而不会破坏工件。目