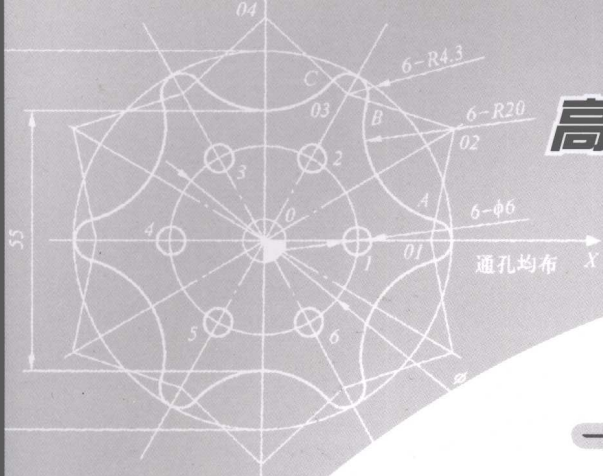
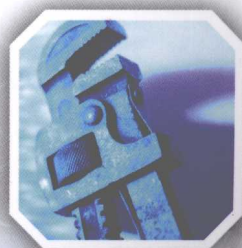


高职高专机电类规划教材



工程材料 及其成型

■ 李英 主编 ■ 李新德 李龙根 副主编



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

高职高专机电类规划教材

工程材料及其成型

李 英 主编

李新德 李龙根 副主编

人 民 邮 电 出 版 社

北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

工程材料及其成型 / 李英主编. —北京: 人民邮电出版社, 2007.9

高职高专机电类规划教材

ISBN 978-7-115-16525-1

I. 工... II. 李... III. 工程材料—成型—高等学校: 技术学校—教材 IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 103133 号

内 容 提 要

本书根据教育部对高职高专教学的最新要求, 结合最新国标编写。主要内容包括金属材料的力学性能、工业用钢、钢的热处理、铸铁、非铁金属及粉末冶金、非金属材料及成型、铸造成型、压力加工成型、焊接成型及胶接、先进加工技术简介、机械零件成型方法的选择等。全书采用了大量的实物图片, 文字叙述简洁, 力求做到实践性强、应用性强、先进性强、创新性强。本书在各章后附有适量习题, 供老师选用。

本书是按 50~80 学时编写, 可作为高职高专、高级技校、技师学院的机械、数控、模具类专业及相关专业的教材, 也可供有关工程技术人员参考。

高职高专机电类规划教材

工程材料及其成型

◆ 主 编 李 英

副 主 编 李新德 李龙根

责任编辑 潘新文

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号

邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

北京天时彩色印刷有限公司印刷

新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 9.75

字数: 229 千字

2007 年 9 月第 1 版

印数: 1—3 000 册

2007 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-16525-1/TN1

定价: 18.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223

高职高专机电类规划教材

编 审 委 员 会

主 任：郭建尊

副主任：赵小平 孙小捞 马国亮

委 员：（以姓氏拼音为序）

陈建环	陈桂芳	陈 静	程东风	毕建平	杜可可
巩运强	霍苏萍	郝 屏	黄健龙	孔云龙	李大成
李俊松	娄 琳	李新德	李秀忠	李银玉	李 英
李龙根	马春峰	宁玉伟	瞿彩萍	施振金	申辉阳
申晓龙	田光辉	童桂英	王 浩	王宇平	王金花
解金榜	于保敏	杨 伟	张伟林	赵晓东	张景耀
张月楼	周 兰	章志芳	曾和兰	张 薇	

丛书前言

目前,高职高专教育已成为我国普通高等教育的重要组成部分。“十一五”期间,国家将投入 20 亿元专项资金建设 100 所示范性高等职业院校。如此大规模的建设计划在我国职业教育发展历史上还是第一次,这充分表明国家正在深化高职高专教育的深层次的重大改革,加大力度推动生产、服务第一线真正需要的应用型人才的培养。

为适应当前我国高职高专教育如火如荼的发展形势,满足高职高专院校的教学和教材改革的需要,促进我国高职高专教育质量的进一步提高,人民邮电出版社在相关教育、行政主管部门的大力支持下,组织专家、高职高专院校的骨干教师及相关行业的工程师,共同策划编写了这套“高职高专机电类规划教材”。

本系列教材力求充分体现高职高专教育的特点,突出理论和实践的紧密结合,本着“易学,易用”的编写原则,强调学生创造能力、创新精神和解决实际问题能力的培养,以使学生在 2~3 年的时间内充分掌握基本技术技能和必要的基本知识。

本系列教材按照如下的原则组织、策划和编写,以尽可能地适应当今高职高专教育领域教学改革和教材建设的新需求和新特点。

1. 着重突出“实用”特色。概念理论取舍得当,够用为度,降低难度。对概念和基本理论,尽量用具体事物或案例自然引出。
2. 基本操作环节讲述具体详细,可操作性强。使学生很容易达到对基本技能的掌握。
3. 内容紧随新技术发展,将新技术、新工艺、新设备、新材料引进教材。
4. 尽可能多地采用实物图和原理图结合,便于学生将书本知识与生产实践紧密联系起来。
5. 每本书配备全面的教学服务内容,包括电子教案,习题答案等。

本系列教材第一批共有 22 本,涵盖了高职高专机电类各专业的专业基础课和数控、模具、CAD/CAM 专业的大部分专业课,将在 2007 年年底出版。

为方便高职高专老师授课和学生学习,将提供完善的教学服务体系,包括多媒体教学课件或电子教案、习题答案等教学辅助资料,欢迎访问人民邮电出版社网站 <http://www.ptpress.com.cn/download/>, 进行资料下载。

我们期望,通过本系列教材的编写和推广应用,能够进一步推动我国机电类职业技术教育的教学模式、课程体系和教学方法的改革,使我国机电类职业技术教育日臻成熟和完善。同时欢迎更多的老师参与到本系列教材的建设中来,如对本系列教材有任何的意见和建议,或有意向参与本系列教材后续的编审工作,请与人民邮电出版社教材出版分社联系,联系方式: 010-67145004, panxinwen@ptpress.com.cn。

“高职高专机电类规划教材”丛书编委会

2007.5

编者的话

“工程材料及其成型”是一门研究有关工程材料、热处理及制造金属机件工艺方法的综合性技术科学课程，是机械类各专业开设的一门必修专业技术基础课。开设本课程的目的是使学生懂得有关金属材料和其他工程材料的基本知识；掌握常用金属材料的成分、性能及热处理工艺之间的关系；掌握铸造成型、压力加工成型、焊接成型基础知识，为学习其他课程和从事生产技术工作打好必要的基础。

学习本课程的主要任务是：

1. 培养学生掌握工程材料、热处理、铸造成型、压力加工成型、焊接成型等基础知识；
2. 培养学生合理选用工程材料的能力；
3. 培养学生选择毛坯和零件加工成型方法的初步能力；
4. 培养学生了解与本课程有关的新技术、新材料与新工艺知识的能力；
5. 培养学生严谨的科学态度，实践动手能力，以及分析问题的能力。

通过本课程的学习，学生应达到下列基本要求：

1. 基本掌握常用工程材料的牌号、性能、用途及选用原则；
2. 掌握钢铁材料热处理的基本原理，初步掌握普通热处理方法的工艺特点和应用范围；
3. 初步具有合理选择材料、确定零件生产工艺过程、热处理工序位置的能力；
4. 初步掌握简单机械零件铸造成型、压力加工成型和焊接成型工艺知识；
5. 初步具有选择零件毛坯加工成型方法的能力；
6. 了解与本课程有关的新技术、新材料与新工艺。

本课程的学习策略是：

1. 注重实践性教学环节，一定要理论联系实际；
2. 掌握基本概念，注重提高分析问题、解决问题的能力。

本书依据教育部《新世纪高职高专机械基础课程教学内容体系改革、建设的研究与实践》研究成果中的教学基本要求，结合高职高专教学改革的实践经验编写，具有以下几个特点。

1. 全面贯彻最新国家标准。
2. 注重建立工程材料、热处理、材料成型工艺和现代先进机械加工技术的完整格局。
3. 注重提高学生的实践知识及动手能力，理论知识以够用为原则，以培养生产第一线需要的高等技术应用型人才为目标。
4. 注重介绍新材料、新工艺、新技术。力争使学生工作后能成为知识扎实、动手能力强、有所创新的受企业欢迎的新型人才。
5. 语言精练、图文并茂，形成强化应用的具有高职高专特点的新教材体系。

本书由广州铁路职业技术学院副教授李英担任主编，广东白云学院副教授李龙根、商丘职业技术学院副教授李新德担任副主编。参加本书编写的有李英（第1、2、8章）、李龙根（第

5、6、10 章)、李新德(第 7、9 章)和河南工程学院讲师郝少祥(第 3、4、11 章)。

在本书的编写过程中,得到各有关院校、科研单位和工厂的大力支持,在此一并表示衷心感谢。

由于编者时间仓促,书中缺点错误在所难免,诚请广大读者批评指正。

编者

2007.6

目 录

第1章 金属材料的力学性能	1
1.1 强度与塑性	1
1.1.1 强度	1
1.1.2 塑性	4
1.2 硬度	4
1.2.1 布氏硬度	4
1.2.2 洛氏硬度	5
1.2.3 维氏硬度	6
1.3 冲击韧性与疲劳强度	7
1.3.1 冲击韧性	7
1.3.2 疲劳强度	8
习题	10
第2章 工业用钢	11
2.1 钢铁的分类	11
2.1.1 铁碳合金	11
2.1.2 钢铁的分类	15
2.2 非合金钢	16
2.2.1 碳素结构钢	16
2.2.2 优质碳素结构钢	17
2.2.3 碳素工具钢	18
2.2.4 铸钢	19
2.3 低合金钢	19
2.3.1 常用低合金钢的牌号	19
2.3.2 常用的低合金钢	20
2.4 合金钢	21
2.4.1 常用合金钢的牌号	21
2.4.2 常用的合金钢	22
习题	24
第3章 钢的热处理	26
3.1 钢的热处理的基本概念	26
3.1.1 钢的热处理的分类	26

3.1.2 钢的热处理工艺曲线	27
3.1.3 钢的冷却	27
3.2 钢的普通热处理	29
3.2.1 钢的退火	29
3.2.2 钢的正火	29
3.2.3 钢的淬火	30
3.2.4 钢的回火	31
3.2.5 钢的调质处理	31
3.3 钢的表面热处理	31
3.3.1 钢的表面淬火	31
3.3.2 钢的表面化学热处理	32
3.4 热处理新技术简介	34
3.4.1 真空热处理	34
3.4.2 可控气氛热处理	34
3.4.3 形变热处理	34
3.4.4 化学热处理新技术	34
3.4.5 电子束表面淬火	35
习题	35
第4章 铸铁	36
4.1 概述	36
4.1.1 铸铁的石墨化过程	36
4.1.2 铸铁的分类	36
4.2 灰铸铁	37
4.2.1 灰铸铁的成分、组织与性能	37
4.2.2 灰铸铁的孕育处理及热处理	37
4.2.3 常用灰铸铁的牌号及用途	38
4.3 其他常用铸铁	39
4.3.1 可锻铸铁	39
4.3.2 球墨铸铁	40
4.3.3 蠕墨铸铁	41
4.3.4 常用的合金铸铁	41
习题	42
第5章 非铁金属及粉末冶金	44
5.1 铝及铝合金	44
5.1.1 纯铝	45
5.1.2 铝合金	45
5.2 铜及铜合金	48

5.2.1 纯铜(紫铜)	48
5.2.2 黄铜	48
5.2.3 青铜	49
5.3 滑动轴承合金	51
5.3.1 滑动轴承合金的性能要求及牌号	51
5.3.2 滑动轴承合金的主要类型	51
5.4 钛及钛合金	52
5.4.1 纯钛	52
5.4.2 钛合金	52
5.4.3 钛及钛合金的热处理	54
5.5 镁及镁合金	54
5.5.1 镁合金的分类	54
5.5.2 镁合金的应用	55
5.6 粉末冶金	55
5.6.1 粉末冶金的工艺特点	55
5.6.2 粉末冶金的主要工艺	55
5.6.3 粉末冶金的生产应用	57
习题	57
第6章 非金属材料及成型	59
6.1 塑料制品及成型	59
6.1.1 塑料的分类	59
6.1.2 塑料制品成型	61
6.2 橡胶制品及成型	63
6.2.1 橡胶基本知识	63
6.2.2 橡胶制品成型	64
6.3 陶瓷制品及成型	65
6.3.1 陶瓷材料的分类	65
6.3.2 陶瓷制品成型	66
6.4 常用复合材料及成型	68
6.4.1 常用复合材料	68
6.4.2 复合材料的性能特点	69
6.4.3 复合材料成型过程简介	70
习题	71
第7章 铸造成型	72
7.1 砂型铸造	72
7.1.1 砂型铸造的工艺流程	72
7.1.2 铸件结构工艺性	76

7.2 合金的特种铸造	79
7.2.1 离心铸造	79
7.2.2 熔模铸造	79
7.2.3 金属型铸造	80
7.2.4 压力铸造	81
7.3 消失模铸造	81
7.3.1 消失模铸造工艺过程	82
7.3.2 消失模铸造应用	83
习题	84
第8章 压力加工成型	85
8.1 概述	85
8.1.1 压力加工成型的基本方法	85
8.1.2 压力加工基本原理	86
8.1.3 锻造加热产生的缺陷及其防止方法	87
8.2 自由锻	88
8.2.1 自由锻的基本工艺规程	89
8.2.2 自由锻件的结构工艺性	91
8.2.3 典型锻件的自由锻过程	92
8.3 模锻	93
8.3.1 锤上模锻	94
8.3.2 胎模锻	95
8.3.3 其他模锻	95
8.4 特种模锻	96
8.4.1 高速高能成型	96
8.4.2 精密模锻	97
8.4.3 液态模锻	98
8.4.4 超塑性模锻	98
8.5 板料冲压	99
8.5.1 冲压基本工序	99
8.5.2 冲压设备及冲压模具	100
8.5.3 典型零件冲压工艺示例	101
习题	101
第9章 焊接成型及胶接	103
9.1 焊条电弧焊	104
9.1.1 焊条电弧焊的焊接过程	104
9.1.2 焊条电弧焊机	104
9.1.3 焊条	105

9.1.4	焊条电弧焊的基本操作技术	105
9.1.5	焊条电弧焊工艺	107
9.2	其他常用的焊接方法	108
9.2.1	埋弧焊	108
9.2.2	气体保护焊	109
9.2.3	电阻焊	110
9.2.4	钎焊	111
9.2.5	气焊	112
9.3	焊接件的变形及其质量控制	112
9.3.1	焊接应力及焊接变形	112
9.3.2	预防和减少焊接变形与应力的措施	113
9.3.3	焊接质量检验	115
9.4	常用金属材料的焊接	116
9.4.1	非合金钢(碳钢)的焊接	117
9.4.2	低合金结构钢的焊接	117
9.4.3	铸铁的焊补	117
9.4.4	非铁金属的焊接	118
9.5	胶接	119
9.5.1	概述	119
9.5.2	胶接的工艺过程	120
9.5.3	典型胶接工艺的应用实例	120
	习题	121
第 10 章	先进加工技术简介	123
10.1	特种加工技术	123
10.1.1	数控电火花与线切割加工	123
10.1.2	电解加工与电铸加工	127
10.1.3	超声波加工	129
10.1.4	激光加工	130
10.2	现代制造技术	131
10.2.1	数控加工技术	131
10.2.2	柔性制造技术	133
10.2.3	成组技术	134
	习题	136
第 11 章	机械零件成型方法的选择	137
11.1	选择零件毛坯类型及成型方法的原则	137
11.1.1	零件毛坯的类型	137
11.1.2	选择毛坯成型方法的原则	138

11.2 典型零件的成型方法	139
11.2.1 齿轮的成型方法	139
11.2.2 传动轴的成型方法	141
11.2.3 液压缸的成型方法	142
习题	143
参考文献	144

第 1 章 金属材料的力学性能

图 1-1 圆形拉伸试样

图 1-2 拉伸试验机

在生产实际中，不同的材料有不同的性能和用途。同一种金属材料通过不同的热处理方法，也可得到不同的性能。

金属材料的性能包括工艺性能和使用性能。金属材料的工艺性能是指金属材料在制造机械零件和构件的过程中，适应各种冷、热加工的性能，也是金属材料采用某种加工方法制成成品的难易程度，它包括铸造性能、焊接性能、热处理性能、切削加工性能等。金属材料的使用性能是指金属材料在使用条件下表现出来的性能，它包括物理性能、化学性能和力学性能。金属的力学性能是指金属在外力作用下所显示的与弹性和非弹性反应相关或涉及应力-应变关系的性能，如强度、塑性、硬度、韧性及疲劳强度等。

金属材料是现代机械制造业的基本材料。在机械设备及工具的设计、制造中选用金属材料时，大多以力学性能为主要依据，因此熟悉和掌握金属材料的力学性能是非常重要的。

金属材料是现代机械制造业的基本材料。在机械设备及工具的设计、制造中选用金属材料时，大多以力学性能为主要依据，因此熟悉和掌握金属材料的力学性能是非常重要的。

金属材料是现代机械制造业的基本材料。在机械设备及工具的设计、制造中选用金属材料时，大多以力学性能为主要依据，因此熟悉和掌握金属材料的力学性能是非常重要的。

1.1 强度与塑性

金属材料是现代机械制造业的基本材料。在机械设备及工具的设计、制造中选用金属材料时，大多以力学性能为主要依据，因此熟悉和掌握金属材料的力学性能是非常重要的。

金属材料是现代机械制造业的基本材料。在机械设备及工具的设计、制造中选用金属材料时，大多以力学性能为主要依据，因此熟悉和掌握金属材料的力学性能是非常重要的。

1.1.1 强度

金属抵抗塑性变形或断裂的能力称为强度，强度大小通常用应力来表示。

根据载荷作用方式不同，强度可分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗剪强度和抗扭强度等。通过拉伸试验可测定抗拉强度。

1. 拉伸试验

试验时，将标准试样（见图 1-1）装夹在拉伸试验机（见图 1-2）上，缓慢进行拉伸，使试样承受轴向拉力，直到拉断为止。试验机自动记录装置可将整个拉伸过程的拉伸力和伸长量描绘出来。这种在进行拉伸试验时，载荷 F （拉伸力）和试样伸长量 Δl 之间的关系曲线叫做力-伸长曲线。图 1-3 所示为低碳钢的力-伸长曲线，图中纵坐标表示力 F ，单位为 N；横坐标表示绝对伸长 Δl ，单位为 mm。

图 1-3 表示了以下 4 个变形阶段。

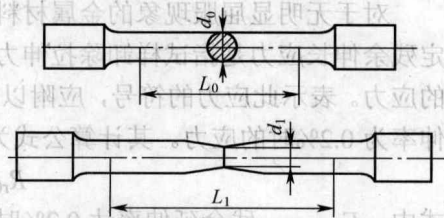


图 1-1 圆形拉伸试样

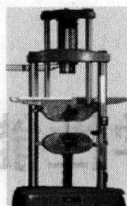


图 1-2 拉伸试验机

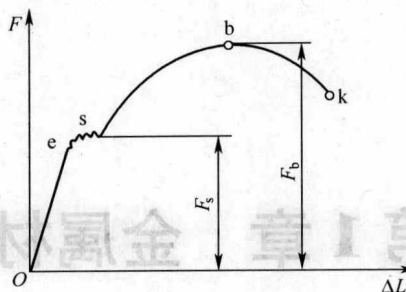


图 1-3 低碳钢力-伸长曲线

oe: 弹性变形阶段。此阶段内试样变形完全是弹性的，卸载后试样即恢复原状。 F_e 是试样保持最大弹性变形的最大拉伸力。

es: 屈服阶段。当载荷超过 F_e 时，若卸载的话，试样的伸长只能部分恢复，而保留一部分残余变形，即为塑性变形。当载荷增加到 F_s 时，图上出现平台或锯齿状，产生屈服现象。在载荷不增加（保持恒定）或略有减少的情况下，试样继续发生变形（伸长）的现象叫做屈服现象，此时的载荷 F_s 称为屈服载荷。屈服后，材料将残留较大的塑性变形。

sb: 强化阶段。在屈服阶段以后，欲使试样继续伸长，必须不断加载。随着塑性变形增大，试样变形抗力也逐渐增加，这种现象称为形变强化（或称加工硬化）。 F_b 为拉伸试验时试样所能承受的最大载荷。

bk: 缩颈阶段（局部塑性变形阶段）。当载荷达到最大值 F_b 时，试样的直径发生局部收缩，称为缩颈。试样变形所需的载荷也随之降低，这时伸长主要集中于缩颈部位，直至断裂。

2. 强度指标

金属材料抵抗拉伸载荷的强度指标一般有屈服强度（或规定残余延伸强度 $R_{r0.2}$ ）和抗拉强度 R_m 等。

（1）屈服强度和规定残余延伸强度 $R_{r0.2}$

当金属材料呈现屈服现象时，在试验期间达到塑性变形发生而力不增加的应力点，称为屈服强度。屈服强度分为上屈服强度 R_{eH} 和下屈服强度 R_{eL} 。不同类型的曲线的上屈服强度 R_{eH} 和下屈服强度 R_{eL} 如图 1-4 所示。以下屈服强度为例其计算公式为

$$R_{eL} = F_{eL} / S_0 \quad (\text{N/mm}^2)$$

式中， F_{eL} ——试样屈服时的载荷（N）；

S_0 ——试样原始横截面积（ mm^2 ）。

对于塑性很低的金属材料（如铸铁），不仅没有明显的屈服现象，而且也不产生缩颈。图 1-5 所示为铸铁的力-伸长曲线。

对于无明显屈服现象的金属材料，一般测定其规定残余伸长应力 R_r ，如图 1-6 所示。规定残余伸长应力是指试样卸除拉伸力后，其标距部分的残余延伸达到规定原始标距百分比时的应力。表示此应力的符号，应附以下角标说明所规定的百分率。例如 $R_{r0.2}$ 表示规定残余延伸率为 0.2% 时的应力。其计算公式为

$$R_{r0.2} = F_{r0.2} / S_0 \quad (\text{N/mm}^2)$$

式中， $F_{r0.2}$ ——残余延伸率达 0.2% 时的载荷（N）；

S_0 ——试样原始横截面积（ mm^2 ）。

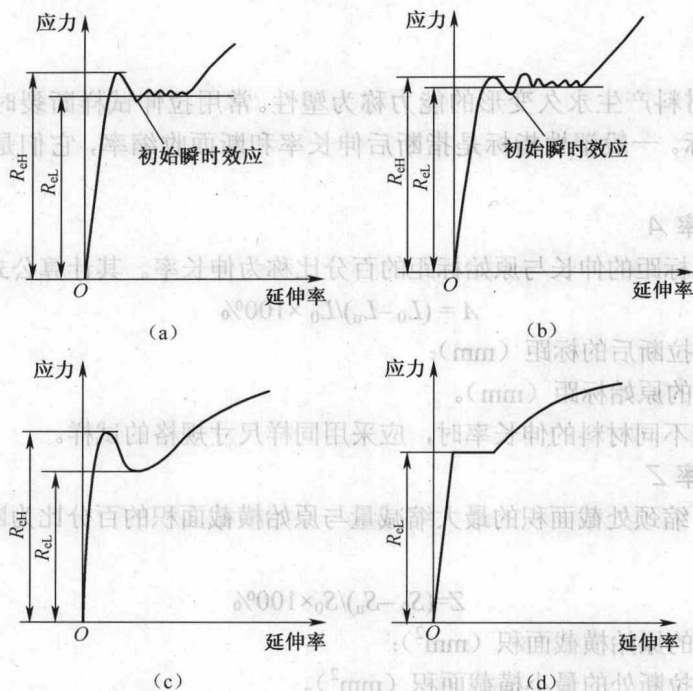


图 1-4 不同类型曲线的上屈服强度和下屈服强度

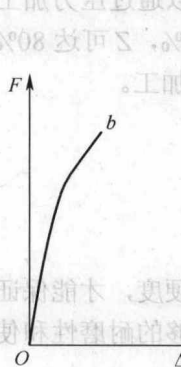


图 1-5 铸铁力—伸长曲线

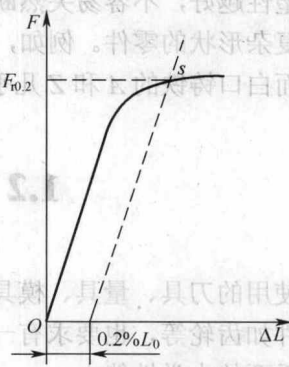


图 1-6 规定残余伸长应力示意图

屈服强度是工程技术上极为重要的力学性能指标之一。因为工程中绝大部分结构件式零件在工作过程中不允许出现塑性变形。例如内燃机车上的缸盖螺栓是不允许产生塑性变形的,否则后果将不堪设想。

(2) 抗拉强度 R_m

材料在拉断前所能承受的最大应力称为抗拉强度。其计算公式为

$$R_m = F_m / S_0 \quad (\text{N/mm}^2)$$

式中, F_m ——试样承受的最大载荷 (N);

S_0 ——试样原始横截面积 (mm^2)。

抗拉强度表示材料在拉伸载荷作用下的最大均匀变形的抗力,也是机械零件设计和选材的主要依据之一。

1.1.2 塑性

断裂前金属材料产生永久变形的能力称为塑性。常用拉伸试样断裂时的最大相对变形量来表示塑性指标。一般塑性指标是指断后伸长率和断面收缩率，它们是通过拉伸试验测得的。

1. 断后伸长率 A

试样拉断后，标距的伸长与原始标距的百分比称为伸长率。其计算公式为

$$A = (L_u - L_0) / L_0 \times 100\%$$

式中， L_u ——试样拉断后的标距 (mm)；

L_0 ——试样的原始标距 (mm)。

注意：在比较不同材料的伸长率时，应采用同样尺寸规格的试样。

2. 断面收缩率 Z

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为断面收缩率。其计算公式为

$$Z = (S_0 - S_u) / S_0 \times 100\%$$

式中， S_0 ——试样的原始横截面积 (mm²)；

S_u ——试样拉断处的最小横截面积 (mm²)。

断面收缩率 Z 的大小与试样尺寸因素无关。金属材料的伸长率 A 和断面收缩率 Z 数值越大，表示材料的塑性越好，不容易突然断裂。塑性好的金属可以通过压力加工、焊接等加工成型方法加工成复杂形状的零件。例如，工业纯铁的 A 可达 50%， Z 可达 80%，可以拉成细丝，轧薄板等；而白口铸铁的 A 和 Z 几乎为零，不能进行塑性加工。

1.2 硬 度

机械制造业使用的刀具、量具、模具等，都应具备足够的硬度，才能保证使用性能和寿命。有些机械零件如齿轮等，也要求有一定的硬度，以保证足够的耐磨性和使用寿命。因此硬度是金属材料重要的力学性能之一。

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。

材料的硬度是通过试验测得的。硬度试验设备简单、操作方便、迅速、损伤很小（属无损检验），可直接在成品或半成品上进行试验而不损坏被测件，并且还可以根据硬度值估计出材料近似的强度和耐磨性。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。

硬度试验的方法很多，有压入硬度试验法（如布氏硬度、洛氏硬度等）、划痕硬度试验法（莫氏硬度）、回跳硬度试验法（肖氏硬度）等，生产中常用的是压入硬度试验法。

1.2.1 布氏硬度

根据 GB231—84 规定：布氏硬度试验是用一定直径钢球或硬质合金球，以相应的试验力 F 压入试样表面，经规定保持时间后，卸除试验力，用测量表面压痕直径 d 来计算硬度的一