

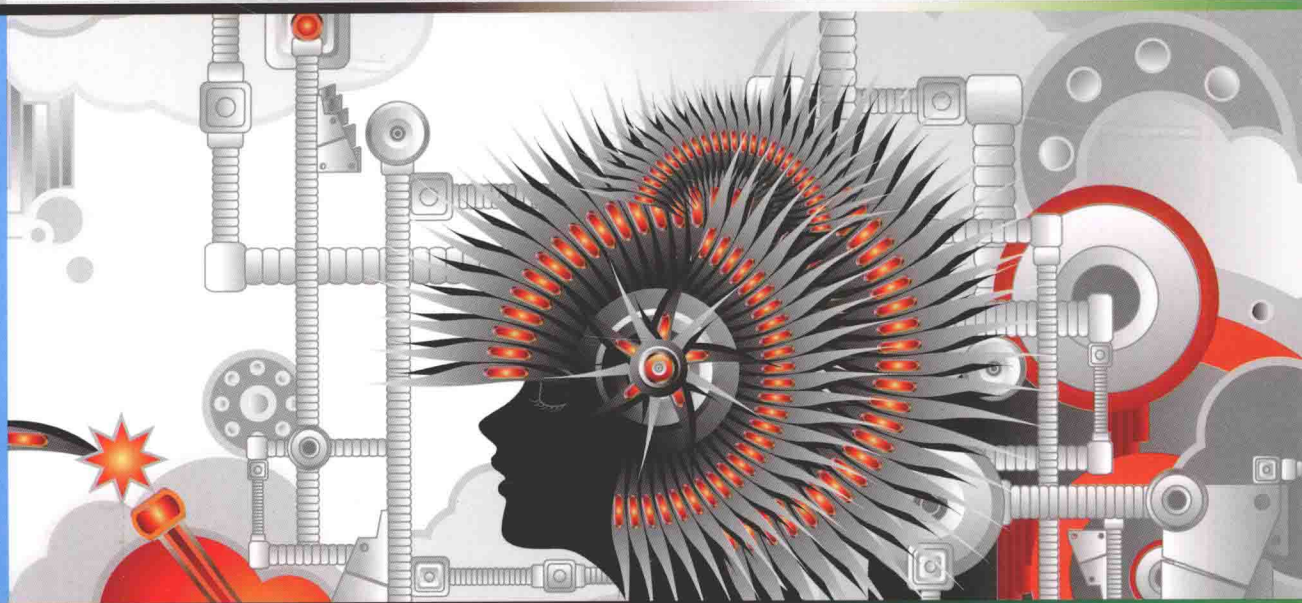


机械专业“十三五”规划教材

机械工程材料与热处理

贾泽春 徐向棋 姚建峰 主编

徐明 主审



兵器工业出版社

机械专业“十三五”规划教材

机械工程材料与热处理

贾泽春 徐向棋 姚建峰 主 编

徐 明 主 审

兵器工业出版社

内容简介

本书主要包括：金属材料的力学性能、钢的热处理、工业用钢、铸钢、铸铁、有色金属与粉末冶金材料；另外包含三章阅读材料：金属的结构与结晶、铁碳合金、金属的塑性变形与再结晶等。

本书可作为应用型本科、职业院校机械专业及相近专业的教材用书，也可作为读者自学参考用书。

图书在版编目（C I P）数据

机械工程材料与热处理 / 贾泽春，徐向棋，姚建峰
主编. — 北京：兵器工业出版社，2016.1
ISBN 978-7-5181-0183-2

I. ①机… II. ①贾… ②徐… ③姚… III. ①机械制
造材料②热处理 IV. ①TH14②TG15

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2015）第 300326 号

出版发行：兵器工业出版社

发行电话：010-68962596，68962591

邮 编：100089

社 址：北京市海淀区车道沟 10 号

经 销：各地新华书店

印 刷：冯兰庄兴源印刷厂

版 次：2016 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

印 数：1 - 3000

责任编辑：陈红梅 杨俊晓

封面设计：赵俊红

责任校对：郭 芳

责任印制：王京华

开 本：787×1092 1/16

印 张：14.25

字 数：321 千字

定 价：32.00 元

（版权所有 翻印必究 印装有误 负责调换）

前言

为了更好地适应全国院校教育改革、推进素质教育的需要,全面提升教学质量以更加符合技能人才培养的需要,本书的编写融入了先进的教学理念和教学方法,注重加强应用实践教学内涵,体现了职教的职业性、实践性、发展性的特点。本书在理论体系、组织结构、内容描述等方面做了大胆创新,教学目的明确、重点突出。

► 本书特点

本书依据当前学生的实际情况,本着专业知识为生产实践服务的原则,认真分析斟酌每一章节内容,确定生产实用的专业基础知识为教学重点,简化剔除那些不实用的深奥理论内容。具体说,本书有以下几个特点:

(1) 本书教学与生产实际紧密结合,强调学生的职业能力与素质教育内涵,收录企业产品案例编写在有关章节,让学生“听得懂”“学得会”。

(2) 本书的每一章节内容划分为学习目标、基本知识和应用实例,同时还有思维训练、探究分析、能力拓展等内容。

(3) 本书把主要精力放在加强学生的思维能力、动手能力、语言和文字表达能力、自学能力的培养训练上,而对于机械设计手册表明的不常用的钢种材料及图表等有关专业内容不再重复写到书中。

(4) 本书选编了生产常用的金属材料作为学习内容,把编写的重点放在了常用的基础知识和生产实践的实用性方面。而将理论性较强的内容(第八章金属的晶体结构与结晶、第九章铁碳合金相图、第十章金属的塑性变形与再结晶)作为阅读资料以便查询参考。

► 本书结构和课时安排

本书的主要内容及课时计划:第一章金属材料的力学性能(6学时)、第二章钢的热处理(12学时)、第三章工业用钢(12学时)、第四章铸钢(4学时)、第五章铸铁(6学时)、第六章有色金属(4学时)与第七章粉末冶金材料(2学时)等共7章,一学期讲完(理论与实习对倒),共46学时(不包括学生自学的阅读资料:第八章金属的晶体结构与结晶、第九章铁碳合金、第十章金属的塑性变形与再结晶)。

本书的相关资料、习题答案和售后服务可扫封底的微信二维码或与QQ(2436472462)联系获得。



➤ 本书创作者

本书由秦皇岛技师学院的贾泽春、铜陵学院的徐向棋和抚顺市技师学院的姚建峰担任主编，陈锋、王云霞、王鑫、扈立峰、郭海芳、张毅、张志明参与了本书的编写。其中，贾泽春编写了前言、应用实例、思维训练、能力拓展及第二章，徐向棋编写了第四章，姚建峰编写了第五章，陈锋、王云霞、王鑫、扈立峰、郭海芳、张毅编写了第一、三、七、八、九和十章。本书由徐明主审，由贾泽春制定大纲并统稿，由马会杰、何丽蒙、曹福龙对阅读材料文字进行校对。另外，参加本书编写研讨的人员还有：徐明、张立民、李雯、于涌、王蕾、宋博、朱英华、燕云娜、冉德森、曲芸、惠曼玲、孟晶、栗莉、文志勇、苏玉林、齐超。

➤ 致谢

对在编写本书过程中给予支持帮助的企业单位表示感谢！对给予指导帮助的各位同仁深表谢意！

限于编者经历及水平，书中难免有不妥之处，恳请各位专家及读者提出宝贵意见，以便进一步修订更改。

编者

2016年1月

目 录

第一章 金属材料的力学性能 1

第一节 强度与塑性 1

【学习目标】 1

【基础知识】 1

一、强度 1

二、塑性 5

【应用实例】 7

第二节 硬度 8

【学习目标】 8

【基本知识】 8

一、布氏硬度 8

二、洛氏硬度 10

三、维氏硬度 12

【应用实例】 13

第三节 冲击韧性 14

【学习目标】 14

【基础知识】 14

一、夏比摆锤冲击试验原理 14

二、摆锤冲击前后的位能差测定 15

三、冲击试样类型与尺寸 15

四、冲击试验机 16

【应用实例】 17

第四节 疲劳强度 17

【学习目标】 17

【基础知识】 17

一、金属的疲劳 18

二、疲劳曲线和疲劳强度 18

三、疲劳的其他种类 19

【应用实例】 21

【本章练习】 22

第二章 钢的热处理 25

第一节 温度变化对钢的影响 25

【学习目标】 25

【基础知识】 25

一、钢在加热时的转变 26

二、钢在冷却时的转变 26

第二节 钢的退火与正火 29

【学习目标】 29

【基础知识】 29

一、退火 29

二、正火 31

【应用实例】 32

第三节 钢的淬火 35

【学习目标】 35

【基础知识】 35

一、淬火工艺 36

二、淬火方法 37

三、钢的淬透性及影响因素 38

【应用实例】 40

第四节 钢的回火 42

【学习目标】 42

【基础知识】 42

一、回火目的 43

二、回火的种类及应用 43

三、回火脆性 44

【应用实例】 45

第五节 钢的表面淬火	48	一、碳素结构钢	78
【学习目标】	48	二、低合金高强度结构钢	80
【基础知识】	48	三、优质碳素结构钢及合金结构钢	80
一、表面淬火热处理	49	四、常用型钢图片	83
二、表面处理强化的方法	54	【应用实例】	84
【应用实例】	55	第三节 渗碳钢	84
第六节 钢的化学热处理	57	【学习目标】	84
【学习目标】	57	【基础知识】	84
【基础知识】	57	一、常用渗碳钢化学成分	84
一、钢的渗碳	57	二、常用的渗碳钢	85
二、钢的渗氮(氮化)	61	三、热处理	87
三、钢的碳氮共渗	62	四、渗碳钢产品图例	87
第七节 影响热处理件质量的因素	67	【应用实例】	89
【学习目标】	67	第四节 调质钢	89
【基础知识】	67	【学习目标】	89
一、热处理工艺因素	67	【基础知识】	90
二、工件的结构因素	68	一、化学成分	90
【应用实例】	68	二、常用调质钢	90
【本章练习】	69	三、热处理	93
第三章 工业用钢	73	四、常用调质型钢图片	93
一、常存元素和杂质对钢性能的影响 ...	73	【应用实例】	95
二、合金元素在钢中的作用	73	第五节 碳素工具钢与热作模具钢	96
第一节 钢的分类及编号	74	【学习目标】	96
【学习目标】	74	【基础知识】	97
【基础知识】	74	一、碳素工具钢	97
一、按用途分类	74	二、热作模具钢	98
二、按冶金质量分类	74	三、产品图例	100
三、按化学成分分类	75	【应用实例】	101
四、钢的编号	75	第六节 不锈钢与耐热钢	101
【应用实例】	77	【学习目标】	101
第二节 碳素结构钢与合金结构钢	77	【基础知识】	101
【学习目标】	77	一、不锈钢	102
【基础知识】	78	二、耐热钢	104
		三、不锈钢与耐热钢产品图例	105

【应用实例】	106
【本章练习】	107
第四章 铸钢	110
第一节 铸造碳钢	110
【学习目标】	110
【基础知识】	110
一、铸件	110
二、铸造碳钢的牌号	111
三、铸态组织	112
四、热处理	112
五、铸造合金钢	113
六、铸造碳钢件产品图例	115
【应用实例】	116
第二节 高锰钢	117
【学习目标】	117
【基础知识】	117
一、高锰钢牌号、成分及适用范围	117
二、高锰钢水韧处理	118
三、高锰钢的应用	119
【应用实例】	119
【本章练习】	120
第五章 铸铁	123
一、铸铁的分类	123
二、铁碳合金双重相图	123
三、石墨化过程	124
第一节 灰铸铁	125
【学习目标】	125
【基础知识】	125
一、灰铸铁的化学成分、组织 和性能	125
二、灰铸铁的孕育处理	127
三、铸铁熔炼配料	127
四、灰铸铁的热处理	128
五、冲天炉配料计算	129
【应用实例】	131
第二节 球墨铸铁	133
【学习目标】	133
【基础知识】	133
一、球墨铸铁的化学成分、组织 和性能	133
三、球墨铸铁的热处理	135
四、蠕墨铸铁	135
五、球墨铸铁产品图例	136
【应用实例】	138
第三节 可锻铸铁	138
【学习目标】	138
【基础知识】	139
一、可锻铸铁的化学成分和组织	139
二、可锻铸铁的牌号、性能及用途	140
三、可锻铸铁产品图例	141
【应用实例】	142
第四节 合金铸铁	143
【学习目标】	143
【基础知识】	143
一、耐磨铸铁	143
二、抗磨铸铁	143
三、耐热铸铁	145
四、耐蚀铸铁	145
五、冷硬铸铁	146
六、合金铸铁产品图例	146
【应用实例】	147
【本章练习】	148
第六章 有色金属	151
第一节 铝及铝合金	151
【学习目标】	151

【基础知识】	151	【学习目标】	175
一、工业纯铝	151	【基础知识】	175
二、铝合金分类及时效强化	151	一、晶体与非晶体	175
三、变形铝合金	153	二、晶体结构的概念	175
四、铸造铝合金	154	三、金属常见晶格类型	176
五、铝合金产品图例	157	四、晶面和晶向	177
【应用实例】	158	第二节 纯金属的结晶	178
第二节 铜及铜合金	158	【学习目标】	178
【学习目标】	158	【基础知识】	178
【基础知识】	158	一、纯金属的冷却曲线及过冷度	178
一、工业纯铜	159	二、纯金属的结晶过程	178
二、铜合金的分类及牌号表示方法	159	三、晶粒大小对金属力学性能	
三、黄铜	159	的影响	179
四、青铜	161	四、金属晶体结构的缺陷	180
五、铜合金产品图例	162	五、金属的同素异构转变	182
【应用实例】	163	第九章 铁碳合金	184
【本章练习】	163	第一节 合金的晶体结构	184
第七章 粉末冶金材料	166	【学习目标】	184
第一节 粉末冶金法及其应用	166	【基础知识】	184
【学习目标】	166	一、合金的基本概念	184
【基础知识】	166	二、合金的相结构	185
一、粉末金属材料的特点	166	第二节 铁碳合金相图	186
二、在机械制造中的应用	167	【学习目标】	186
第二节 硬质合金	169	【基础知识】	187
【学习目标】	169	一、铁碳合金的相及组织	187
【基础知识】	169	二、铁碳合金相图的组成	190
一、硬质合金的性能特点	169	三、Fe-Fe ₃ C 相图中特性点的含义	191
二、常用的硬质合金	170	四、铁碳合金的分类	192
三、硬质合金产品图例	172	五、典型铁碳合金的结晶过程	192
【本章练习】	173	六、铁碳合金的成分、组织与性能	
第八章 金属的结构与结晶	175	的关系	196
第一节 金属的晶体结构	175	七、Fe—Fe ₃ C 相图的应用	197

第十章 金属的塑性变形与再结晶 198

第一节 金属的塑性变形 198

【学习目标】 198

【基础知识】 198

一、晶粒位向的影响 198

二、晶界的作用 198

三、晶粒大小的影响 199

第二节 金属的热塑性变形 199

【学习目标】 199

【基础知识】 199

一、热加工与冷加工的区别 199

二、热加工对金属性能和组织的影响 199

第三节 回复与再结晶 201

【学习目标】 201

【基础知识】 201

一、回复 201

二、再结晶 202

三、晶粒长大 202

第四节 冷塑性变形对金属性能与

组织的影响 203

【学习目标】 203

【基础知识】 203

一、冷塑性变形对金属性能的影响 203

二、冷塑性变形对金属组织结构的影响 204

附录一：各种硬度值换算表 205

附录二：常用国内外钢材牌号对照表.. 208

附录三：热处理行业规范条件 212

参考文献 217

第一章 金属材料的力学性能

金属材料是现代机械制造业的基本材料，广泛地应用于制造生产和生活用品。金属材料之所以获得广泛的应用，是由于它具有许多良好的性能。金属材料的性能包含使用性能和工艺性能两方面。使用性能是指金属材料在使用条件下所表现出来的性能，包括物理性能（如密度、熔点、导热性、导电性、热膨胀性、磁性等）、化学性能（如耐腐蚀性、抗氧化性等）、力学性能等。工艺性能是指金属在制造加工过程中反映出来的各种性能。

在机械设备及工具的设计、制造中选用金属材料时，大多以其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。所谓力学性能是指金属在外力作用下所表现出来的性能。力学性能包括强度、塑性、硬度、冲击韧性及疲劳强度等。

第一节 强度与塑性

【学习目标】

- 了解抗拉强度的表示符号及单位；
- 了解下屈服强度的表示符号及单位；
- 了解伸长率的表示符号；
- 了解断面收缩率的表示符号；
- 会查手册，能熟练利用公式计算四大指标。

【基础知识】

记忆口诀：四大指标莫疏忽，抗拉强度 R_m ，下屈服强度为 R_{eL} ，单位 MPa 要记住。断面收缩率为 Z ，伸长率 A 得背熟。

一、强度

金属在静载荷作用下抵抗塑性变形或断裂的能力称为强度。强度的大小通常用应力来表示。一般情况下多以抗拉强度作为判别金属强度高低的指标。

1. 拉伸试样

拉伸试样的形状一般有圆形、矩形、多边形等。在国家标准（GB/T228—2010）中，

对试样的形状、尺寸及加工要求均有明确的规定。如图 1-1 所示为圆形拉伸试样， d 为试样直径， L_0 为标距长度。试样可分为短试样 ($L_0=5d$) 和长试样 ($L_0=10d$) 两种。标准拉伸比例试样的比例系数 $k=5.65$ ($L_0=k\sqrt{S_0}$ ， S_0 为原始横截面积)，为 $L_0=5d$ 的短试样，其断后伸长率记为 A ；当 L_0 小于 15mm 时，应优先采用 $k=11.3$ 的长试样 ($L_0=10d$)，其断后伸长率记为 $A_{11.3}$ 。

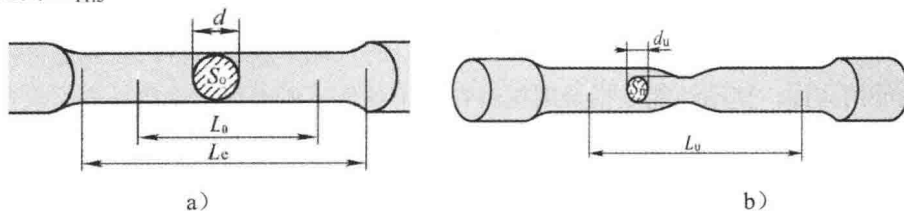


图 1-1 圆形拉伸试样

a) 样拉伸前；b) 试样拉伸后

2. 力—伸长曲线

拉伸试验中得出的拉伸力 F 与伸长量 ΔL 的关系曲线叫作力—伸长曲线，也称为拉伸曲线图。图 1-2 是低碳钢的力—伸长曲线（纵坐标表示力 F 、单位为 N；横坐标表示伸长量 ΔL 、单位为 mm）。

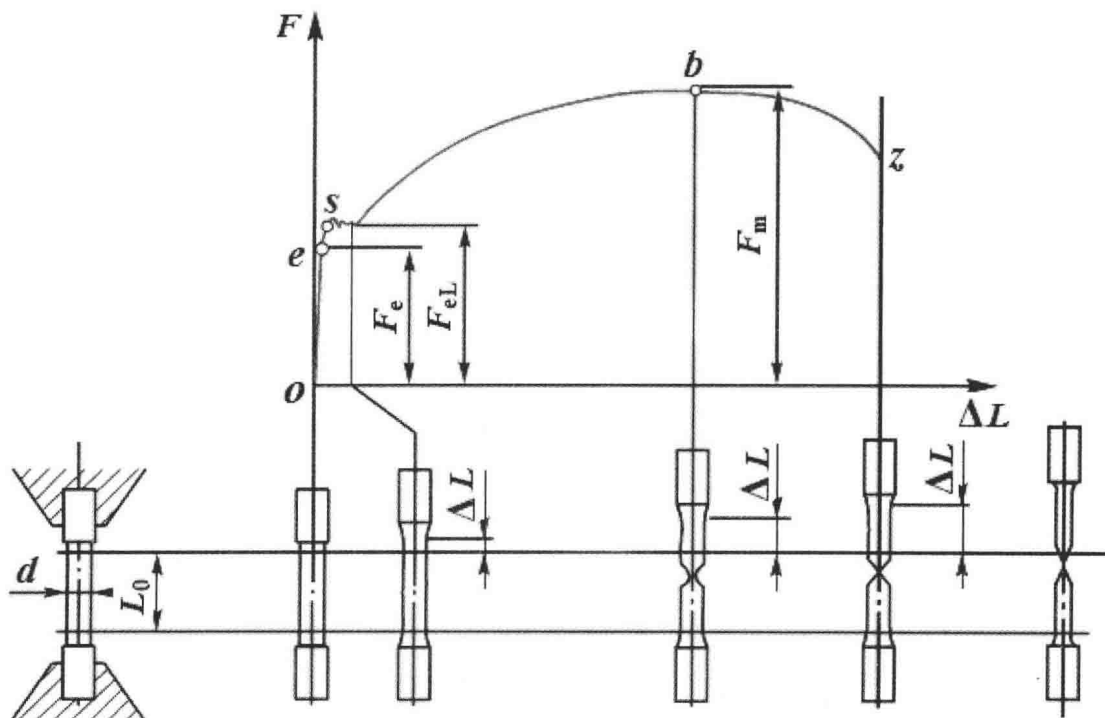


图 1-2 低碳钢的力—伸长曲线



拉伸过程可分为弹性变形、屈服、强化和缩颈四个阶段：

(1) oe ——弹性变形阶段。试样变形是弹性的，外力与伸长是成正比例关系。若外力撤去，则试样变形完全消失。 F_e 为发生最大弹性变形时的最大拉伸力。

(2) es ——屈服阶段。当外力超过 F_e 再撤去时，试样的伸长只能部分地恢复，而保留一部分残余变形。这种不能随外力的去除而消失的变形称为塑性变形。当外力增加到 F_{eL} 时，图上出现平台或锯齿状，这种在拉伸力不增加、试样却继续伸长的现象称为屈服。 F_{eL} 称为屈服载荷。屈服后，材料开始出现明显的塑性变形。

(3) sb ——强化阶段。当外力超过 F_{eL} 后，若试样继续伸长，则必须不断增加拉伸力。随着塑性变形增大，变形抗力也逐渐增大，这种现象称为形变强化（或称加工硬化），此阶段试样的变形是均匀发生的。 F_m 为试样拉伸试验时的最大力。

(4) bz ——缩颈阶段（局部塑性变形阶段）。当外力达到最大值 F_m 后，试样的某一直径处发生局部收缩，称为“缩颈”。此时随着横截面积的减小，试样变形所需的外力也随之逐渐降低，这时伸长主要集中于缩颈部位，直至断裂。

3. 强度指标

(1) 屈服强度。当金属材料呈现屈服现象时，材料在试验期间达到塑性变形而力不增加的应力点称为屈服强度。它分为上屈服强度 R_{eH} （即试样发生屈服而力首次下降前的最高应力）和下屈服强度 R_{eL} （即在屈服期间，不计初始瞬时效应时的最低应力）。在金属材料中，常用下屈服强度 R_{eL} 代表其屈服强度。计算公式如下：

$$R_{eL} = \frac{F_{eL}}{S_0}$$

式中， R_{eL} 为试样的下屈服强度（MPa， $1\text{MPa}=1\text{N/mm}^2=10^6\text{Pa}=10^6\text{N/m}^2$ ）；

F_{eL} 为试样屈服时的最低应力（N）；

S_0 为试样原始横截面面积（ mm^2 ）。

除低碳钢、中碳钢及少数合金钢有屈服现象外，大多数金属材料没有明显的屈服现象。因此，这些材料规定用产生 0.2% 残余伸长时的应力作为屈服强度，可以替代 R_{eL} ，称为条件屈服强度，计为 $R_{p0.2}$ 。

屈服强度是工程技术中最重要的力学性能指标之一，设计零件时常以 R_{eL} 或 $R_{p0.2}$ 作为选用金属材料的依据。

(2) 抗拉强度。材料在断裂前所能承受的最大应力称为抗拉强度，用符号 R_m 表示。计算公式如下：

$$R_m = \frac{F_m}{S_0}$$

式中， R_m 为抗拉强度（MPa）；

F_m 为试样拉断前承受的最大力 (N);

S_0 为试样原始横截面面积 (mm^2)。

零件在工作中所承受的应力, 不允许超过抗拉强度, 否则会产生断裂。 R_m 也是机械零件设计和选材的重要依据。

【思维训练】

【例 1】 一根直径 $d_0=10\text{mm}$, $L_0=100\text{mm}$ 的低碳钢试样, 拉伸试验测得, $F_{eL}=21\text{kN}$, $F_m=29\text{kN}$, $L_u=138\text{mm}$, $d_u=5.65\text{mm}$, 求此试样的下屈服强度 R_{eL} 、抗拉强度 R_m 。

【已知】 $d_0=10\text{mm}$, $L_0=100\text{mm}$, $F_{eL}=21\text{kN}=21000\text{N}$, $F_m=29\text{kN}=29000\text{N}$

【求】 R_{eL} 、 R_m 。

【解】 $S_0=\pi d_0^2/4=3.14\times 10^2/4=78.5\text{ (mm}^2\text{)}$

$$R_{eL}=F_{eL}/S_0=21000/78.5=267.5\text{ (MPa)}$$

$$R_m=F_m/S_0=29000/78.5=369.4\text{ (MPa)}$$

【答】 试样的下屈服强度 $R_{eL}=267.5\text{ MPa}$ 、抗拉强度 $R_m=369.4\text{ MPa}$ 。

4. 刚度和弹性

弹性模量 E 是指金属材料在弹性状态下的轴向拉伸应力与相应的应变的比值。把试样承受的拉伸力 F 与试样的原始横截面积 S_0 的比值定义为工程应力 σ 。试样的伸长量 ΔL 与试样的原始标距 L_0 的比值定义为工程应变 ε 。即:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \text{ (MPa)} \quad \sigma = \frac{F}{S_0} \text{ (MPa)} \quad \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

弹性模量表示金属材料抵抗弹性变形的能力。工程上将材料抵抗弹性变形的能力称为刚度。它除了与零件横截面大小、形状有关外, 还主要取决于材料的性能 (即材料的弹性模量 E)。 E 越大, 刚度越大。

【思维训练】

【例 1】 一根直径 2.5mm , 长度 3m 的钢丝, 承受 4900N 载荷后有多大的弹性变形? ($E=2.1\times 10^5\text{MPa}$)

【已知】 $d_0=2.5\text{mm}$, $L_0=3\text{m}=3000\text{mm}$, $F=4900\text{N}$, $E=2.1\times 10^5\text{MPa}$

【求】 ΔL 。

【解】 $S_0=\pi d_0^2/4=3.14\times 2.5^2/4=4.9\text{ (mm}^2\text{)}$

$$\sigma=F/S_0=4900/4.9=1000\text{ (MPa)}$$

$$\varepsilon=\sigma/E=1000/210000\approx 4.8\times 10^{-3}$$

$$\Delta L=\varepsilon L_0=4.8\times 10^{-3}\times 3000=14.4\text{ (mm)}$$



【答】弹性变形为 14.4mm。

【例 2】青铜的屈服强度 $R_{p0.2}=330\text{MPa}$ ，弹性模量 $E=1.11\times 10^5\text{MPa}$ ，问：

(1) 长度为 1.5m 的青铜棒伸长 0.2cm 时所需的应力多大？

【已知】 $\Delta L=0.2\text{cm}=2\text{mm}$ ， $L_0=1.5\text{m}=1500\text{mm}$ ， $E=1.11\times 10^5\text{ (MPa)}$

【求】 σ 。

【解】 $\varepsilon=\Delta L/L_0=2/1500=133.33\times 10^{-5}$

$$\sigma=\varepsilon E=(133.33\times 10^{-5})\times (1.11\times 10^5)\approx 148\text{ (MPa)}$$

【答】所需应力为 148MPa。

(2) 当承受 $2.8\times 10^4\text{N}$ 载荷而不发生塑性变形时，其横截面应多大？

【已知】 $F=2.8\times 10^4\text{N}$ ， $R_{p0.2}=330\text{MPa}$

【求】 S_0 。

【解】不发生塑性变形，即 $\sigma=(F/S_0)<R_{p0.2}(330\text{MPa})$ ，则 $S_0>(F/R_{p0.2})=(2.8\times 10^4)/330=85\text{ (mm}^2\text{)}$

【答】横截面积应该不小于 85mm^2 。

【例 3】现有一串钻探钢管材料悬挂在一被钻探的油井中，设钢管的横截面积为 25cm^2 ，钢的密度为 7.8t/m^3 ，由于钢管的重而产生的应变为 8.3×10^{-4} ，求该油井的深度。（ $E=2.1\times 10^5\text{MPa}$ ）

【已知】 $S_0=25\text{cm}^2=25\times 10^{-4}\text{m}^2$ ，力加速度 $g=9.81\text{m/s}^2$ ，管密度 $\rho=7.8\text{t/m}^3=7.8\times 10^3\text{kg/m}^3$ ， $E=2.1\times 10^5\text{MPa}=2.1\times 10^{11}\text{Pa (N/m}^2\text{)}$ ， $\varepsilon=8.3\times 10^{-4}$ 。

【求】井深 L 。

【解】设钢管自重 $F=\rho g S_0 L_0$ ， $\sigma=F/S_0=(\rho g S_0 L_0)/S_0=\rho g L_0$

$$\varepsilon=\sigma/E=(\rho g L_0)/E，此 L_0=(\varepsilon E)/(\rho g)$$

$$\Delta L=\varepsilon L_0=\varepsilon [(\varepsilon E)/(\rho g)]$$

$$L=L_0+\Delta L=(1+\varepsilon)L_0=(1+\varepsilon)[(\varepsilon E)/(\rho g)]=(1+8.3\times 10^{-4})\times [(8.3\times 10^{-4}\times 2.1\times 10^{11})/(7.8\times 10^3\times 9.81)]\approx 2280\text{ (m)}。$$

【答】井深 2280m。

二、塑性

断裂前金属材料产生永久变形的能力称为塑性。塑性指标也是由拉伸试验测得的，常用伸长率和断面收缩率来表示。

1. 伸长率（断后伸长率）

试样拉断后，标距的伸长量与原始标距之比的百分率称为伸长率，用符号 A 表示

($k=5.65$ 的短比例试样的断后伸长率记为 A ; $k=11.3$ 的长比例试样的断后伸长率记为 $A_{11.3}$)。其计算公式如下:

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\%$$

式中, L_u 为试样拉断后的标距 (mm);

L_0 为试样的原始标距 (mm)。

2. 断面收缩率

试样拉断后, 缩颈处横截面积的变化量与原始横截面面积的百分比称为断面收缩率, 用符号 Z 表示。其计算公式如下:

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \times 100\%$$

式中, S_0 为试样原始横截面面积 (mm^2);

S_u 为试样拉断后缩颈处的横截面面积 (mm^2)。

【思维训练】

【例 1】拉伸试样的原始标距为 50mm, 直径为 10mm, 拉伸试验后, 将已断裂的试样对接起来测量, 若断后的标距为 79mm, 缩颈区的最小直径为 4.9mm, 求该材料伸长率 A 和断面收缩率 Z 的值 (计算结果保留两位小数)。

【已知】 $L_0=50\text{mm}$; $L_u=79\text{mm}$; $d_0=10\text{mm}$; $d_1=4.9\text{mm}$

【求】 $A=?$ 和 $Z=?$

【解】 1)、 $A = (L_u - L_0) / L_0 \times 100\% = (79 - 50) / 50 \times 100\% = 58\%$

2)、 $S_0 = (\pi / 4) d_0^2 = (3.14 / 4) \times 10^2 = 78.5 (\text{mm}^2)$

$S_u = (\pi / 4) d_1^2 = (3.14 / 4) \times 4.9^2 = 18.8 (\text{mm}^2)$

$Z = (S_0 - S_u) / S_0 \times 100\% = (78.5 - 18.8) / 78.5 \times 100\% = 76\%$

【答】 该材料伸长率为 58%、断面收缩率为 76%。

【例 2】现有原始直径为 10mm 圆形长、短试样各一根, 经拉伸试验测得伸长率 $A_{11.3}$ 、 A 均为 25%。求两试样拉断后的标距长度?

【已知】 $d_0=10\text{mm}$ 、 $A_{11.3}=A=25\%$, $L_{10}=10d_0=10 \times 10=100\text{mm}$ 、 $L_5=5d_0=5 \times 10=50\text{mm}$

【求】 L_{u10} 、 L_{u5} 。

【解】 依据 $A = (L_u - L_0) / L_0 \times 100\%$, 推导出 $L_u = (1+A) L_0$

则 $L_{u10} = (1+A) L_{10} = (1+25\%) \times 100 = 125 (\text{mm})$

$L_{u5} = (1+A) L_5 = (1+25\%) \times 50 = 62.5 (\text{mm})$

【答】长、短两试样拉断后的标距长度分别为 125mm 和 62.5mm。

【应用实例】

(1) 特殊结构大型高压阀体防喷器 (见图 1-3) 是出口国外油田钻井用预防石油井喷设备上一种重要的关键部件。最大外形尺寸为 1485mm×982mm×981mm, 净重 7.5t, 材质牌号 ZG25CrNiMo。工作压力 70MPa, 须进行 105MPa 的水压强度试验, 不得出现渗漏和明显变形等现象。磁粉及超声波探伤不允许有任何铸造缺陷。铸件尺寸精度要求达到 CT8~CT10, 铸件非加工表面粗糙度要求达到 $R_a \leq 25 \mu\text{m}$ 。

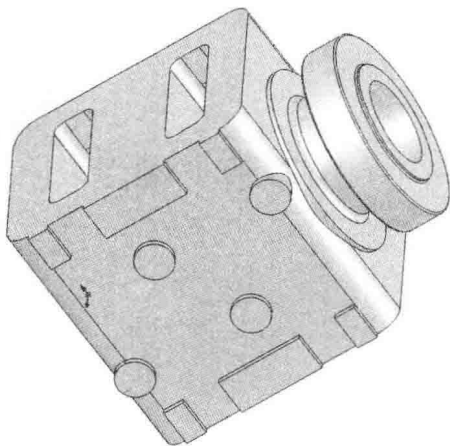


图 1-3 防喷器

ZG25CrNiMo 化学成分为: C(0.26%~0.30%), Si(0.20%~0.35%), Mn(0.80%~1.00%), Cr(0.60%~1.00%), Ni(0.50%~0.95%), Mo(0.20%~0.30%), Cu($\leq 0.18\%$), P($\leq 0.025\%$), S($\leq 0.025\%$)。

铸件经调质热处理后, 力学性能应达到: $R_{eL} \geq 517\text{MPa}$, $R_m \geq 655\text{MPa}$, $A \geq 35\%$, $Z \geq 18\%$, 表面硬度 HB210~234。与铸件随炉浇注试块并一同热处理, 然后加工试棒三根, 任意抽取其中一根试棒按 GB/T228—2010 做拉伸试验, 检验 R_{eL} 、 R_m 、 A 、 Z 值是否符合标准要求。若试验指标 $R_{eL} \geq 517\text{MPa}$, $R_m \geq 655\text{MPa}$, $A \geq 35\%$, $Z \geq 18\%$, 材质合格。若指标中有一项不合格, 再取另外两根试棒进行试验, 指标合格即材质合格。

(2) 炉喉钢砖 (见图 1-4) 是高炉上的重要冷却部件, 主要起保护炉壳和使炉内冶金过程能顺利持续进行的作用, 其铸件质量对冶炼高炉的使用寿命影响很大。其最大外形尺寸为 1580mm×730mm×650mm, 净重 3.4t, 主要壁厚为 80mm, 炉喉钢砖材质为 ZG230—450。铸件内外部质量要求严格, 不允许有裂纹、缩孔、疏松、气孔、砂眼、夹渣和冷隔等任何影响质量的铸造缺陷存在。须进行 0.5MPa 的水压强度试验, 保压 30min 以上不得有渗漏现象。