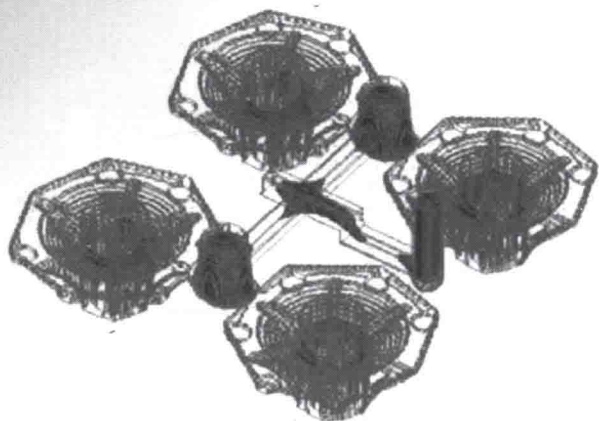




普通高等教育“十一五”国家级规划教材



航空工程材料与 成形工艺基础(第2版)

主 编 王立军 原梅妮
副主编 黄晓斌 郭拉凤 范学领



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

航空工程材料与 成形工艺基础(第2版)

主 编 王立军 原梅妮
副主编 黄晓斌 郭拉凤 范学领

北京航空航天大学出版社

内容简介

本书主要是由中北大学飞行器制造工程专业与飞行器设计专业教学组结合多年的教学经验编写的。在编写过程中充分突出了航空工程材料的特点,在内容安排上尽量选择与航空宇航制造和设计相关的题材。围绕航空工程材料及成形工艺,将内容分解为两大模块:航空工程材料基本理论及常用航空工程材料;航空工程材料成形工艺基础。第一部分系统阐明了航空工程材料的基本理论,同时介绍了常用的航空工程材料:金属材料、非金属材料、复合材料、功能材料,并专门介绍了航空新材料(超塑性合金、快速凝固合金、非晶合金、纳米材料、空心微球);第二部分介绍了常用航空工程材料的成形工艺理论,也加入了一些航空制造新技术与新工艺。

本书可作为航空航天类和机械类专业的教材,教学学时数为40~56(含实验),也可供其他材料、土木、船舶与海洋工程、核电、油气管道等专业的师生、工程技术人员和科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

航空工程材料与成形工艺基础/王立军主编.--2
版.--北京:北京航空航天大学出版社,2015.6
ISBN 978-7-5124-1734-2

I. ①航… II. ①王… III. ①航空材料 IV. ①V25

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第054543号

版权所有,侵权必究。

航空工程材料与成形工艺基础(第2版)

主 编 王立军 原梅妮

副主编 黄晓斌 郭拉凤 范学领

责任编辑 罗晓莉 张艳学

*

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 邮购电话:(010)82316936

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:710×1 000 1/16 印张:22 字数:469千字

2015年6月第2版 2015年6月第1次印刷 印数:2 000册

ISBN 978-7-5124-1734-2 定价:49.00元

若本书有倒页、脱页、缺页等印装质量问题,请与本社发行部联系调换。联系电话:(010)82317024

前 言

《航空工程材料与成形工艺基础》是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,也系航空宇航特色教材。本书可作为航空宇航专业本科生和研究生的教材,也可作为机电等相关专业师生和工程技术人员的参考书,对科研和生产有一定的参考价值。

本书分为两大部分:航空工程材料基本理论及常用航空工程材料;航空工程材料成形工艺基础。第一部分系统地介绍了航空工程材料的结构、组织、性能、相图、塑性加工及热处理等基础知识,并介绍了常用的航空材料:金属材料、非金属材料、复合材料、功能材料,并专门介绍了超塑性合金、快速凝固合金、非晶合金、纳米材料、空心微球等航空新材料。第二部分介绍了铸造、锻造、冲压等成形工艺理论及航空制造技术和工艺。

本书由王立军、原梅妮担任主编。参加本书编写的有中北大学王立军(第1、2章)、黄晓斌(第3章)、原梅妮(第4、8章)、张春元(第5章)、郭拉凤(第6、11章)、范国勇(第7章)、庞俊忠(第9章)、刘彦臣(第12章)、吴耀金(第14章),太原工业学院的赵跃文(第13章),西安交通大学的范学领(第10章),由原梅妮统稿。本书在编写过程中参考了很多文献资料,主要文献列于书后,在此谨向所有参考文献作者表示感谢。另外,中北大学张国庆、张佳庆、王京、郎贤忠、王振兴、向丰华、张明等研究生承担了部分文稿的录入工作,在此表示深切的感谢。

本书的出版得到国家重点基础研究发展计划(2013CB035700)、国家自然科学基金(51201155、11272259、11472204、11321062)及山西省自然科学基金(2012011019-1,2012011007-1)的资助,在此表示感谢。

编 者

2015年3月

目 录

第 1 篇 材料学基础及常用航空工程材料

第 1 章 材料的种类与性能	1
1.1 材料的种类	1
1.2 材料的性能	3
1.2.1 静载荷作用下材料的力学性能	3
1.2.2 动载荷作用下材料的力学性质	6
1.2.3 材料高温和低温下的力学性能	8
1.2.4 材料的物理性能	9
1.2.5 材料的耐蚀性能	10
1.2.6 材料的工艺性能	11
第 2 章 金属的组织与结构	12
2.1 金属的晶体和结晶	12
2.1.1 金属晶体结构	12
2.1.2 金属的结晶	13
2.2 实际金属组织及其缺陷	15
2.2.1 晶体缺陷类型	15
2.2.2 晶体缺陷和材料性能的关系	16
2.3 金属的合金、相和二元相图	16
2.3.1 基本概念	16
2.3.2 匀晶相图	18
2.3.3 共晶相图	21
2.3.4 其他相图	25
2.3.5 合金相图与材料性能的关系	25
2.4 铁碳合金相图	27
2.4.1 铁碳合金相图中的基本相	27
2.4.2 铁碳合金相图分析	28
2.4.3 铁碳合金相变分析	30
2.4.4 铁碳合金相图中的相和组织与合金的力学性能、工艺性能的关系	31

第3章 铁合金材料的热处理及其改性	34
3.1 概 述	34
3.2 钢加热时的组织变化	34
3.2.1 加热温度	34
3.2.2 钢加热时的组织转变——奥氏体化	35
3.3 钢冷却时的组织变化	37
3.3.1 共析钢过冷奥氏体的等温转变曲线	37
3.3.2 过冷奥氏体等温转变产物	38
3.3.3 影响等温转变曲线的因素	41
3.3.4 过冷奥氏体的连续冷却转变曲线	43
3.4 钢的普通热处理	44
3.4.1 钢的退火与正火	44
3.4.2 钢的淬火	46
3.4.3 钢的回火	50
3.5 钢的表面热处理	53
3.5.1 钢的表面淬火	53
3.5.2 化学热处理	55
3.5.3 表面复合热处理	58
3.6 铸铁的热处理	58
3.6.1 灰口铸铁的热处理	59
3.6.2 球墨铸铁的热处理	59
第4章 铁合金材料	61
4.1 碳 钢	61
4.1.1 钢的分类	61
4.1.2 碳钢中杂质元素的影响	62
4.1.3 碳钢的编号和用途	62
4.2 合金结构钢	69
4.2.1 合金元素在钢中的作用	69
4.2.2 合金钢的编号	72
4.2.3 合金结构钢	73
4.2.4 工具钢	83
4.2.5 特殊性能钢	90
4.3 铸 铁	99
4.3.1 铸铁的成分及性能	99

4.3.2	铸铁的石墨化及影响因素	100
4.3.3	铸铁的分类	102
4.4	铁合金材料在航空航天中的应用	105
4.4.1	中碳调质钢在航空航天中的应用	105
4.4.2	其他钢种在航空航天中的应用	106
第5章	非铁合金材料	107
5.1	铝及其合金	107
5.1.1	纯 铝	107
5.1.2	铝合金及其分类	108
5.1.3	形变铝合金	109
5.1.4	铸造铝合金	111
5.1.5	铝合金的热处理	114
5.1.6	铝合金在航空航天中的应用	116
5.2	钛及其合金	117
5.2.1	纯 钛	117
5.2.2	钛合金	117
5.2.3	钛及其合金的热处理	119
5.3	镁及镁合金	119
5.3.1	纯 镁	120
5.3.2	镁合金	120
5.3.3	变形镁合金	121
5.3.4	铸造镁合金	122
5.3.5	镁合金在航空航天中的应用	122
5.4	铜及其合金	123
5.4.1	纯 铜	123
5.4.2	铜合金	124
5.4.3	黄 铜	127
5.4.4	青 铜	128
5.5	镍及镍合金	129
5.5.1	镍的性质	129
5.5.2	镍合金的分类和用途	130
第6章	非金属材料及其改性	134
6.1	非金属材料分类、结构和特点	134
6.1.1	高分子材料	134

6.1.2	陶瓷材料	148
6.2	非金属材料的改性及其强化	155
6.2.1	高分子材料的改性及其强化	155
6.2.2	陶瓷的增韧强化	161
6.3	非金属材料在航空航天中的应用	162
6.3.1	塑料在航空航天中的应用	162
6.3.2	工程结构陶瓷材料在航空航天中的应用	163
第7章	复合材料	164
7.1	复合材料的复合形式和强化机理	164
7.1.1	复合材料的分类	164
7.1.2	复合材料强化机理	164
7.1.3	复合材料的性能	165
7.2	常用的复合材料特点和性能	166
7.2.1	纤维增强复合材料(FRP)	166
7.2.2	层合复合材料	168
7.2.3	颗粒复合材料	168
7.2.4	骨架复合材料	169
7.3	复合材料的改性技术	169
7.3.1	复合材料的改性及强化机理	169
7.3.2	复合材料的界面设计原则	169
7.4	复合材料在航空航天中的应用	170
7.4.1	树脂基复合材料的应用	171
7.4.2	陶瓷基复合材料的应用	172
7.4.3	金属基复合材料的应用	173
7.4.4	层合复合材料及其应用	174
7.4.5	功能复合材料	174
第8章	功能材料及航空新材料	175
8.1	功能材料	175
8.1.1	功能材料的概念与特点	175
8.1.2	功能材料的分类	176
8.1.3	航空航天常用的功能材料	177
8.2	航空新材料	180
8.2.1	超塑性合金	180
8.2.2	快速凝固合金	182

8.2.3 非晶合金及纳米材料	184
第 9 章 零件失效及选材原则	187
9.1 失效分析	187
9.1.1 零件的失效形式及原因	187
9.1.2 零件失效分析的一般方法	192
9.1.3 零部件失效分析实例	192
9.2 选材方法和原则	194
9.2.1 选材的基本原则	194
9.2.2 典型零部件选材及工艺分析	197
第 2 篇 材料成形工艺基础	
第 10 章 铸造工艺基础	202
10.1 铸造理论基础	202
10.1.1 液态合金的充型能力	203
10.1.2 铸件的收缩	205
10.1.3 铸件缺陷	206
10.2 铸造成形工艺	210
10.2.1 砂型铸造	210
10.2.2 特种铸造	222
10.2.3 各种铸造方法选择原则	228
10.2.4 铸件结构设计	230
10.2.5 常用合金铸造生产特点	236
10.3 现代铸造技术简介	241
10.3.1 实型铸造	241
10.3.2 陶瓷型铸造	242
10.3.3 连续铸造	243
10.3.4 磁型铸造	244
10.3.5 铸造技术的发展趋势	245
第 11 章 锻压工艺基础	246
11.1 压力加工理论基础	247
11.1.1 金属塑性变形的实质	247
11.1.2 塑性变形对金属组织和性能的影响	248
11.2 锻造及其工艺基础	251

11.2.1	锻造加工理论基础	251
11.2.2	常用锻造方法	254
11.3	冲压及其工艺基础	266
11.3.1	板料冲压成形原理	266
11.3.2	板料冲压的工艺特点与应用	266
11.3.3	板料冲压的基本工序	266
11.3.4	冲压模具	268
11.4	现代压力加工技术与发展动向	270
第12章 焊接工艺基础		275
12.1	焊接理论基础	275
12.1.1	焊接工艺方法的分类	275
12.1.2	焊接工艺的特点	275
12.1.3	焊接工艺的基本理论	276
12.1.4	焊接工艺的应用	283
12.2	常见的焊接工艺方法	284
12.2.1	熔焊	284
12.2.2	压焊	289
12.2.3	钎焊	292
12.3	常用材料焊接和焊接件设计	293
12.3.1	金属材料的焊接性	293
12.3.2	钢的焊接	294
12.3.3	铸铁的补焊	295
12.3.4	常用非铁合金材料的焊接	296
12.3.5	焊接件设计	299
12.4	焊接新技术和发展趋势	301
12.4.1	焊接新技术	301
12.4.2	其他先进焊接方法简介	306
12.4.3	焊接技术的发展趋势	307
第13章 非金属材料成形工艺		310
13.1	陶瓷件成形工艺	310
13.1.1	配料	310
13.1.2	成形	311
13.1.3	烧结	315
13.2	塑料件成形工艺	316

13.2.1	塑料的可加工性及其注意点	316
13.2.2	常用塑料成形工艺	317
第 14 章	复合材料成形工艺	323
14.1	复合材料通用制备法	323
14.1.1	颗粒、晶须、短纤维增强复合材料	323
14.1.2	纤维增强体增强复合材料	323
14.2	树脂基复合材料的成形方法	325
14.2.1	热固性树脂基复合材料(RMC)的成形	325
14.2.2	热塑性树脂基复合材料的成形	329
14.3	金属基复合材料的成形方法	329
14.3.1	液态金属浸润法	330
14.3.2	扩散黏结法	331
14.3.3	粉末冶金法	332
14.3.4	喷雾共沉积法	335
14.4	陶瓷基复合材料的成形方法	335
14.4.1	浆体浸渗工艺	335
14.4.2	气—液反应工艺	336
14.4.3	化学气相渗透法	336
14.4.4	纳米复合技术	337
14.5	碳/碳复合材料(C/C)的成形方法	337
14.5.1	增强剂碳纤维预成形工艺	337
14.5.2	基体碳和预成形的碳纤维的熔合致密工艺	338
参考文献		339

第 1 篇

材料学基础及常用航空工程材料

第 1 章 材料的种类与性能

1.1 材料的种类

人类早期的历史,是以当时人们使用的材料来划分的,如石器时代(陶器)、青铜器时代和铁器时代等,这说明材料的制作和应用对人类文明和发展有多么重要。当今社会,材料科学、电子信息、生命科学和能源科学并称为四大基础学科,带领着其他学科蓬勃发展。

社会上使用的材料种类很多,这里要介绍的材料是指工程材料。所谓工程是指机械工程和建筑工程,工程材料的极大部分并不是大自然直接提供使用的,而是经人工提炼、制造而成的,而且均指固体材料。工程材料有不同分类方法,这里按通常的以其组织成分进行分类,如图 1-1 所示。

航空航天工程材料是用来制造飞行器的,所以减轻质量尤为重要,在这一点上,不论是民航飞机还是宇航飞船,不论是近地卫星还是同步轨道卫星,轻质都是其首要问题。其次的要求是高强度、高刚度(弹性模量)、高韧性、耐冲击、耐高温和低温,抗氧化和抗腐蚀等,所以铝合金在民用飞机上的占用量为 70%~80%,军用飞机上的占用量为 40%~60%。钛合金密度比铝高 1.69 倍,强度比铝高 $\left(\frac{1\ 100}{600}=1.83\right)$,故钛合金的比强度高于铝合金。随着时间的推移,航空航天材料正在由目前的铝合金占主要地位逐渐向以钛合金为主的方向转移。

传统工业是以金属材料为主,特别是铁合金材料,即钢和铸铁,占了主导地位。但在航空航天工程中铁合金的用量却不多,大概只占总量的 10%左右,而且主要指超高强度钢($\sigma_s > 1\ 380\ \text{MPa}$)的应用,一般强度的钢和铸铁基本不用。

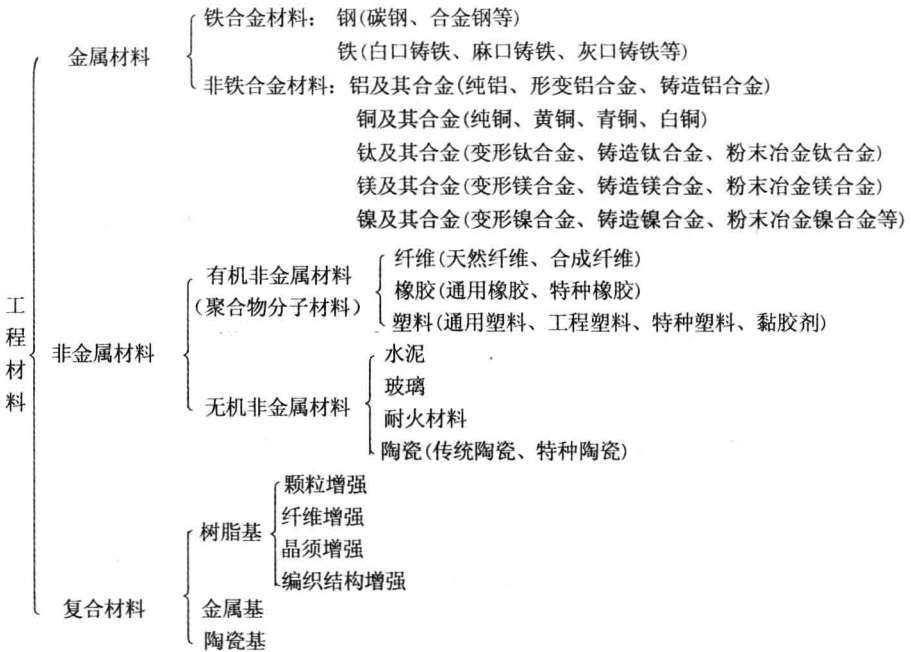


图 1-1 工程材料分类

非金属材料包括有机非金属材料 and 无机非金属材料。有机非金属材料也称聚合物分子材料或高分子材料, 主要指塑料、橡胶等; 无机非金属材料主要指陶瓷、水泥等。在航空航天工程中, 非金属材料大多是以复合材料中基体材料或增强材料或既是基体材料又是增强材料出现的, 很少单独使用。

复合材料在航空航天工程中具有举足轻重的地位。在飞行器结构中, 常用复合材料来减轻质量, 例如在先进歼击机上, 为减轻飞机的质量提高飞机的机动性, 树脂基复合材料的使用占了整机质量的 24%; 卫星、远程导弹和固体火箭发动机上的关键零部件材料, 大多也采用了复合材料。未来航空发动机关键结构材料将由高温树脂基复合材料、金属基复合材料、陶瓷基复合材料、碳/碳复合材料占主导地位。

材料的分类, 除了按组织成分划分外, 还常常按用途来划分——结构材料和功能材料两类。结构材料用于制造实现运动和传递动力的零件, 它是强度、硬度、刚性、塑性、韧性、疲劳强度和耐磨性等力学性能为主要的性能指标, 主要有以上所述的金属材料、高分子材料、陶瓷材料和复合材料等; 功能材料是以声、光、电、磁、热等物理性能为主要性能指标, 利用物质的各种物理特性及其对外部环境的敏感反应, 实现对各种信息的处理和能量的转换。例如, 高分子基复合材料中有对电磁波具有特殊性能的材料, 可用于透波雷达罩材料和吸波隐身材料。功能材料主要包括大规模集成电路材料、信息记录材料、光学材料、超导材料和形状记忆材料等, 在通信、计算机、电子、航空航天工程等领域扮演着极其重要的角色。

1.2 材料的性能

材料的性能包括两大类：一是它的使用性能，二是它的工艺性能。使用性能主要是指它的力学性能，有时也要关注它的物理性能、化学性能。工艺性能是指材料的加工性，加工性包括：切割加工性、铸造、锻造、冲压、焊接和热处理的加工性等。作为工程用的材料，一般都要经过加工，在达到规定的形状、尺寸以及某些力学指标等后才能在工程上应用。

1.2.1 静载荷作用下材料的力学性能

材料表现的力学性能与材料的受力载荷形式有关。载荷有静态和动态两种形式，前者称静载，后者称动载。静载是指给材料缓慢的加载，动载又可分为冲击载荷、交变载荷和摩擦载荷。静载条件下材料的力学性能包括强度、硬度和塑性。

1. 强度

强度是指材料在受载作用下，抵抗变形和断裂的能力。

强度通常由拉伸试验来测定。一般将材料先加工成试样，试样断面是圆形，按一定规则确定其直径和长度；然后将试样卡在拉伸机上，缓慢加载而拉伸。随着拉伸力 F 的加大，试样产生轴向伸长量 Δl ，直到试样被拉断，记下拉伸过程中 F 和 Δl 的对应值。取平面坐标系：原点为 O ， F 和 Δl 分别为纵坐标和横坐标，得 $F - \Delta l$ 拉伸曲线，如图 1-2(a) 所示。将拉力 F 除以试样初始截面积 S_0 ，得单位面积上拉力，称拉应力，用 σ 表示（单位是 MPa），即

$$\sigma = \frac{F}{S_0}$$

将轴向伸长量 Δl 除以试样原始长度 l_0 ，得单位长度上的伸长量，称应变，用 ϵ 表示（单位是无量纲），即

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

若以 σ 为纵坐标、 ϵ 为横坐标、 O 为坐标原点建立坐标系，将 σ 和 ϵ 值一一对应描绘出曲线来，则得拉伸曲线，如图 1-2(b) 所示。图(a)为拉伸曲线受试样尺寸的影响，而图(b)中拉伸曲线不受试样尺寸的影响，所以常用图 1-2(b) 所示的拉伸应力-应变曲线来表示材料力学性能。

(1) 弹性极限 σ_e 和弹性模量 E

在 $\sigma - \epsilon$ 曲线上， oe 段是直线，即 σ 与 ϵ 成正比，这种应力下的应变称弹性变形，即应力逐渐消失时， ϵ 也相应退到 0。而 e 点是弹性变形阶段的最大应力和应变的对应点，习惯上称该点的纵坐标值为弹性极限，符号为 σ_e ，单位是 MPa ($1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa}$)，工程上一些弹性元件常以 σ_e 为主要力学指标。

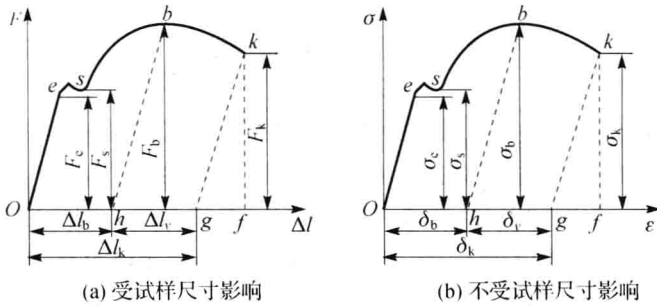


图 1-2 退火低碳钢的拉伸曲线和应力-应变曲线

oe 直线上任意一点的应力和应变之比,称弹性模量,用 E 表示,即

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (1-1)$$

E 的单位是 GPa ($1 \text{ GPa} = 10^9 \text{ Pa}$),弹性模量大,即 oe 线和水平坐标之夹角 α 大,则表示该材料产生一定量的弹性应变 ε 所用的应力要大,即弹性变形不易,在工程上常用刚度大来表示弹性变形不易;反之,刚度小,即易产生弹性变形。因此 E 也称为材料的刚度。

(2) 屈服强度 σ_s

在 $\sigma-\varepsilon$ 曲线上,在 s 点有一小段水平线,表明应力不再增加,但应变会不断加大,如果此时将外力撤去,试样应变虽然随之缩小,但不会变成 0,而有残余的应变存在。这种不可恢复的残余变形称为材料的塑性变形。 s 点是开始塑变的最小应力值,工程上称为屈服极限或屈服强度,用符号 σ_s 表示,单位是 MPa 。

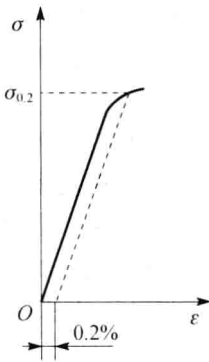
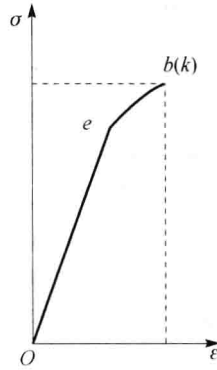
图 1-2 所示是退火的低碳钢拉伸曲线,这种钢塑性好,所以在 s 点有明显的水平线段。但一些脆性材料,其 $\sigma-\varepsilon$ 曲线没有或没有明显的 s 点(屈服点),最后部分存在很少非线性曲线,即塑性变形,如图 1-3 所示。

若试样拉断时,塑性应变为 $100\% = 1$ (无量纲),则规定在产生 0.2% 的塑性应变时,其对应的纵坐标值即是材料的条件屈服极限值,符号为 $\sigma_{0.2}$,以便和 σ_s 有区别。

工程中很大一部分材料是塑性材料,但塑性材料制成的绝大部分机件只允许在弹性范围内工作,所以 σ_s 和 $\sigma_{0.2}$ 是材料强度设计时的主要依据,即实际材料允许的应力 σ 应小于 σ_s 是安全的。

(3) 抗拉强度 σ_b

在图 1-2(b)中的 $\sigma-\varepsilon$ 曲线上,有一个最大应力值点,即 b 点。而 σ_b 就是材料的抗拉强度,但拉断点在 k ,且 $\sigma_k < \sigma_b$ 。有些材料属于脆性材料,塑性很低,刚过弹性变形稍有塑性变形就拉断,如图 1-4 所示,最大应力处 σ_b 也是拉断应力处 σ_k ,两点合二为一,所以常用 σ_b 作为脆性材料的力学设计指标。

图 1-3 脆性材料的拉伸曲线($\sigma_{0.2}$)图 1-4 脆性材料的拉伸曲线(σ_b)

2. 塑性

材料塑性变形的能力称塑性,塑性是可以度量的,通常以延伸率 δ 和断面收缩率 ψ 来表示。

设试样拉伸断裂的长度为 l_k ,试样原始长度为 l_0 ,则延伸率(单位无量纲)为

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \times 100\% \quad (1-2)$$

设试样拉断处横截面积为 S_k ,试样原始截面积为 S_0 ,则断面收缩率(单位无量纲)为

$$\psi = \frac{S_0 - S_k}{S_0} \times 100\% \quad (1-3)$$

应当注意,试样通常有两种尺寸: $l_0 = 5d_0$ 和 $l_0 = 10d_0$ 。两种试样测量延伸率 δ 时,数值不同。所以,用 δ_5 和 δ_{10} 分别表示两种试样的 δ 值。不言而喻,对不同材料延伸率的比较,要用同一种试样类型进行比较。

3. 硬度

硬度是指材料的软硬程度。硬的物质可以刻画或压入比其软的物质,这是材料很重要的一种力学性质。

硬度可以在专门的硬度试验机上测量,不同的试验机以及不同的测头会得出不同的硬度值,所以要比较不同材料的硬度,应该用同一种指标体系测量值进行比较。按不同试验机及其测头将硬度指标体系分成:布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度和肖氏硬度等。

(1) 布氏硬度

将直径为 D 的淬火钢球压入被测材料的表面,压力为 F ,持续一段时间后,会压出一个球面小坑,面积为 S ,如图1-5所示,则硬度值HB为

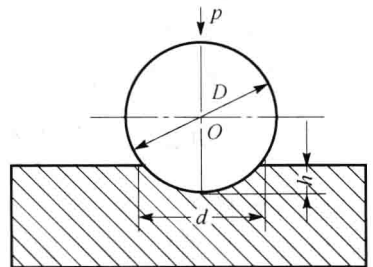


图 1-5 布氏硬度试验原理图

$$HB = \frac{F}{S} = \frac{F}{\pi Dh} = 2F \cdot \frac{1}{\pi D [D - (D^2 - d^2)^{\frac{1}{2}}]} \quad (1-4)$$

布氏硬度虽有单位(N/mm²),但使用时不用标出,只写其数值即可,而且数值越大,表示同一压坑面积下压力越大,所以硬度越高。

除了用淬火钢球外,也有用硬质合金球去压的,为了表示区别,布氏硬度符号用HBC表示前者,而用HBW表示后者。由于硬质合金比淬火钢硬,所以,HBC适用于布氏硬度450以下的材料,而HBW适用于布氏硬度450~650的材料。书写时先写数值后写符号,例如220 HBC,480 HBW。当符号后还有数字时,表示试验硬度时的参数,其顺序是:球体直径(mm),压力(N),压入的保持时间(s)。例如:160 HBC10/1 000/30。

(2) 洛氏硬度

如图1-6所示,将顶角为120°的金刚石圆锥压头或直径为1.588 mm(1/16 in)的淬火钢球先以初载 p_0 施压后再以载荷 p_1 两次施压,然后以压痕的深度来评判试样的硬度,其硬度值不用计算,直接由洛氏硬度试验机仪表盘读出。因压头和压力的不同,洛氏硬度分3个体系:HRA,HRB和HRC,最常用的是HRC。

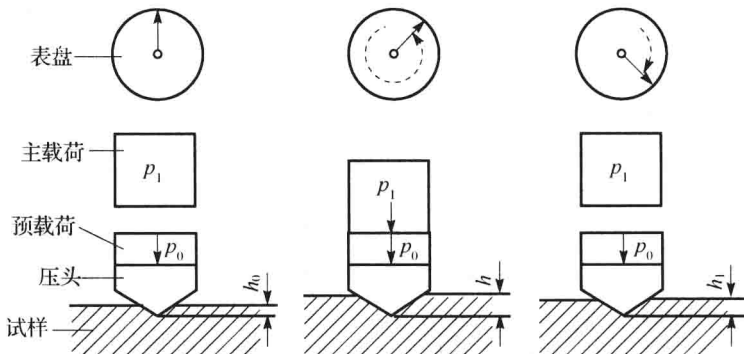


图 1-6 洛氏硬度测量原理图

一般较硬的材料常用洛氏硬度 HRC,如 62 HRC。较软的材料用布氏硬度,如 180HBC。洛氏硬度和布氏硬度不能用数字直接比较,只有查有关资料以同一个级别,列出表格,才能做出比较。工程上最常用的就是布氏和洛氏硬度。至于维氏和肖氏硬度,读者可参阅有关资料。

1.2.2 动载荷作用下材料的力学性质

1. 冲击韧性

锻锤、冲击机和枪炮等在工作时均受到冲击力的作用,组成这些机床和器械的材料在冲击力作用下所具有的抵抗变形和断裂的能力称冲击韧性,简称韧性。韧性好表示抵抗冲击变形和断裂的能力强,韧性常用符号 α_k 表示,其单位是J/m²。