

高等学校教材

工程材料 及成型工艺

杨眉 王斌 张先菊 等编



化学工业出版社

122
4177

高等学校教材

工程材料及成型工艺

杨 眉 王 斌 张先菊 蔡 绍 等编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书以非材料类工科专业为对象,阐述了材料的相关基础理论,包括材料的种类与性质、材料的结构、金属材料的结晶、金属热处理、机械工程用钢、有色金属、新型材料、铸造、压力加工、焊接等;对石油化工储运工程用材料、管杆材料的压力加工、石油化工设备的焊接工艺做了重点介绍。

本书的特色是既重视材料基础理论介绍的系统性,又突出了石油化工常用材料选用、设备的成型等知识的介绍,从理论出发,以实例剖析特色材料的理论基础,深入浅出,满足不同层次的需求。

本书主要作为高等院校机械工程、油气储运、过程装备与控制等专业本科教学用教材或者教学参考书,同时也可供工程技术人员做参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

工程材料及成型工艺/杨眉等编. —北京:化学工业出版社, 2009. 8
高等学校教材
ISBN 978-7-122-06003-7

I. 工… II. 杨… III. 工程材料-成型-工艺-高等学校-教材 IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 100678 号

责任编辑:杨 菁 金 杰
责任校对:凌亚男

文字编辑:徐雪华
装帧设计:刘丽华

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 刷:北京永鑫印刷有限责任公司
装 订:三河市万龙印装有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张 14½ 字数 362 千字 2009 年 8 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

前 言

近年来,随着教育改革的深入,作为工科专业的专业技术基础课程的《金属工艺学》、《工程材料》、《工程材料及成型工艺》等课程教学学时数明显下降,在教学要求上既加强了材料科学的基础性介绍,同时对成型工艺也有了重点要求。随着石油化工行业的发展,材料研究在这些行业提到了更高高度,要求这些专业的同学在具备材料类相关知识的同时,还迫切需要了解材料知识在相关行业的最新进展。本书正是“工程材料及成型工艺基础”的教学基本要求及教学大纲,由编写组拟定了教材编写大纲,深入调研了多个院校相关专业需求的基础上,对编写大纲做了修改与补充,而后分工进行编写,认真讨论而完成教材的定稿。

本书首先对材料的相关基础理论,包括材料的种类与性质、材料的结构、金属材料的结晶、金属热处理、机械工程用钢、有色金属、新型材料、铸造、压力加工、焊接等进行了比较详尽的阐述;其次重点介绍了石油化工储运工程用材料、管杆材料的压力加工、石油化工设备的焊接工艺等特色内容。

本书的特点是既重视材料基础理论介绍的系统性,又突出了石油化工类材料的特色。内容包括了石油化工常用材料的选用、设备的成型等,从理论出发,以实例剖析特色材料的理论基础,深入浅出,满足了不同层次的需求。

本书主要作为高等院校本科教学用材料,教学参考学时为48,同时也供工程技术人员做参考。本书由杨眉为主编,编写组主要成员有王斌、张先菊,范舟、汤小文等,研究生高英、雷正完成了部分文字的编排工作。

本书在编写过程中参考并引用了一些参考文献和资料的相关内容 with 图片,在此编写组谨向本书援引文献资料的原作者表示深深的谢意!

由于编写组经验不足,水平有限,时间仓促,书中疏漏之处在所难免,恳请读者批评指正。

编写组
2009年3月

目 录

第 1 章 材料的种类与性能	1
1.1 工程材料的分类	1
1.1.1 材料简述	1
1.1.2 工程材料分类	2
1.2 材料的性能	3
1.2.1 静载时材料的力学性能	3
1.2.2 其他载荷作用下材料的力学性能	6
1.2.3 材料高温和低温性能	7
1.2.4 材料的物理性能	8
1.2.5 材料的化学性能	9
1.2.6 材料的工艺性能	10
第 2 章 材料的结构	11
2.1 金属的晶体结构	11
2.1.1 材料原子(分子)的相互作用	11
2.1.2 晶格与晶胞	12
2.1.3 三种常见的金属晶体结构	13
2.1.4 合金的晶体结构	15
2.2 金属的实际晶体结构	17
2.2.1 点缺陷	17
2.2.2 线缺陷	18
2.2.3 面缺陷	18
2.2.4 缺陷与性能的关系	18
2.3 非金属材料的结构	19
2.3.1 高分子材料的结构	19
2.3.2 陶瓷材料的结构	19
第 3 章 金属材料的结晶	21
3.1 纯金属的结晶	21
3.1.1 金属结晶的温度	21
3.1.2 金属结晶的规律	21
3.1.3 金属晶粒的细化方法	22
3.1.4 金属的同素异构转变	24
3.2 合金相图及其应用	24
3.2.1 相图的建立	25

3.2.2	匀晶相图	25
3.2.3	共晶相图	27
3.2.4	其他相图	30
3.2.5	合金的性能与相图的关系	30
3.2.6	铸锭(件)的凝固	31
3.3	铁碳合金相图	33
3.3.1	铁碳合金相图分析	33
3.3.2	典型铁碳合金的结晶过程及其组织	36
3.3.3	铁碳合金的成分、组织与性能的关系	39
第4章	金属热处理	41
4.1	钢的热处理基本原理	41
4.1.1	钢在加热和冷却时的转变温度	41
4.1.2	钢在加热时的组织转变	42
4.1.3	钢在冷却时的组织转变	43
4.2	钢的普通热处理	47
4.2.1	钢的退火	47
4.2.2	钢的正火	49
4.2.3	钢的淬火	49
4.2.4	钢的回火	52
4.3	钢的表面热处理	54
4.3.1	表面淬火	54
4.3.2	化学热处理	55
第5章	机械工程用钢	57
5.1	机械工业用钢概述	57
5.1.1	钢中常存元素的作用	57
5.1.2	钢中合金元素的作用	57
5.1.3	钢的分类	60
5.1.4	钢的编号方法	60
5.2	碳素钢	61
5.2.1	普通碳素结构钢	62
5.2.2	优质碳素结构钢	62
5.2.3	碳素铸钢	63
5.2.4	碳素工具钢	63
5.3	合金钢	64
5.3.1	合金结构钢	64
5.3.2	合金工具钢	70
5.3.3	特殊性能钢	74
5.4	铸铁	77
5.4.1	铸铁的基本知识	77
5.4.2	常用铸铁	79

5.4.3	特种铸铁	82
第 6 章	石油储运工程材料	84
6.1	石油管杆材料	84
6.1.1	石油管钢中合金元素的作用	84
6.1.2	石油管钢的组织细化与性能	89
6.1.3	石油管钢的组织与性能	91
6.2	球罐用钢	96
6.2.1	球罐用钢的基本要求	96
6.2.2	球罐用钢的分类	96
6.2.3	球罐用钢	96
6.3	管道用钢	101
6.3.1	管道钢的基本要求	101
6.3.2	油气输送用管线钢管的种类及标准	103
6.3.3	管线用钢的分类及性质	103
6.3.4	管材选择的基本原则	103
第 7 章	有色金属及其合金	104
7.1	铝及铝合金	104
7.1.1	概述	104
7.1.2	变形铝合金	105
7.1.3	铸造铝合金	106
7.2	铜及铜合金	108
7.2.1	纯铜（紫铜）	108
7.2.2	铜合金	109
7.3	钛及钛合金	110
7.3.1	纯钛性能	110
7.3.2	钛的合金化及钛合金分类	110
7.3.3	钛及其合金的主要特性	111
7.4	镁及镁合金	111
7.4.1	纯镁	111
7.4.2	镁合金	112
第 8 章	新型材料	113
8.1	形状记忆合金	113
8.1.1	形状记忆合金的分类及特点	113
8.1.2	形状记忆合金的用途	114
8.2	减振合金	114
8.2.1	减振合金的分类及特点	114
8.2.2	减振合金的应用及发展	115
8.3	纳米材料	115
8.3.1	纳米微粒	115

8.3.2	纳米结构材料	116
8.4	非晶态材料	116
8.5	磁性材料	116
8.5.1	软磁材料	117
8.5.2	硬磁材料	117

第 9 章 铸造 118

9.1	铸件成形基础理论	118
9.1.1	液态合金充型能力	118
9.1.2	铸件的凝固与收缩	121
9.1.3	铸件的常见缺陷	122
9.2	砂型铸造	125
9.2.1	生产过程	125
9.2.2	砂型铸造工艺	125
9.3	特种铸造	130
9.3.1	熔模铸造	130
9.3.2	金属型铸造	131
9.3.3	压力铸造	132
9.3.4	低压铸造	133
9.3.5	离心铸造	133
9.4	常用合金铸件生产特点	134
9.4.1	铸铁件	134
9.4.2	铸钢件	136
9.5	铸件的结构工艺性	137
9.5.1	铸件质量对铸件结构的要求	137
9.5.2	铸造工艺对铸件结构的要求	138
9.5.3	不同铸造合金对铸件结构的要求	140

第 10 章 金属塑性成形 142

10.1	塑性变形基本理论	142
10.1.1	金属塑性变形的实质	142
10.1.2	塑性变形的形式	142
10.1.3	金属的回复与再结晶	143
10.1.4	冷变形与热变形	144
10.1.5	锻造流线	144
10.1.6	金属的锻造性能	145
10.2	常用锻造方法	145
10.2.1	自由锻	145
10.2.2	锤上模锻	148
10.3	板料冲压	151
10.3.1	分离工序	152
10.3.2	成形工序	154

10.3.3	冲压件结构工艺性	158
10.4	石油管加工技术	160
10.4.1	套管的不同加工方法及其性能特点	161
10.4.2	无缝管的加工	161
第 11 章	焊接	167
11.1	熔化焊成形理论基础	168
11.1.1	焊接电弧	168
11.1.2	焊接冶金	169
11.1.3	焊条	170
11.1.4	焊接接头的金属组织与性能	172
11.1.5	焊接应力与变形	174
11.2	常用焊接方法	176
11.2.1	电弧焊	176
11.2.2	电渣焊	179
11.2.3	电阻焊	180
11.2.4	钎焊	181
11.3	常用材料的焊接	182
11.3.1	金属材料的焊接性	182
11.3.2	碳素钢的焊接	183
11.3.3	合金结构钢的焊接	184
11.3.4	不锈钢的焊接	185
11.3.5	铸铁的焊接	185
11.3.6	非铁金属的焊接	185
11.4	焊接结构工艺设计	186
11.4.1	焊缝工艺设计原则	186
11.4.2	接头型式的选择与设计	189
第 12 章	石油加工设备焊接工艺	191
12.1	球罐的焊接	191
12.1.1	球罐焊接的内容和特点	191
12.1.2	球罐的焊接方法和焊接材料	191
12.1.3	球罐的焊接工艺评定	194
12.1.4	球罐焊接施工和施焊顺序	194
12.1.5	球罐焊接工艺要点	195
12.1.6	球罐的焊后热处理	197
12.2	管线钢的成型焊接	200
12.2.1	螺旋缝埋弧焊钢管的成型焊接	200
12.2.2	直缝高频电阻焊钢管的成型焊接	203
第 13 章	机械零件失效分析及选材	207
13.1	零件失效分析	207

13.1.1	失效分析的目的及作用	207
13.1.2	零件失效的原因	207
13.1.3	零件失效的形式	208
13.1.4	失效分析的思路及步骤	209
13.2	选材的基本原则和方法	210
13.2.1	选材的基本原则	210
13.2.2	材料及成形工艺选择的步骤、方法、依据	211
13.3	典型零件的材料及成形工艺选择	218
13.3.1	轴杆类零件	218
13.3.2	齿轮类零件	219
13.3.3	箱体类零件	219

参考文献	221
------------	-----

第 1 章 材料的种类与性能

1.1 工程材料的分类

1.1.1 材料简述

人类生活在材料组成的世界里，无论是经济活动、科学研究、国防建设，还是人们的衣食住行都离不开材料。材料是人类赖以生存并得以发展的物质基础，正是材料的发现、使用和发展，才使人类在与自然界的斗争中走出混沌蒙昧的时代，发展到科学技术高度发达的今天。人类的文明史就是材料的发展史，并往往以所使用的材料来划分人类的社会时期，如石器时期、青铜器时期和铁器时期等。

人类使用的材料可分为天然材料和人造材料。天然材料是所有材料的基础，就是在科学技术高速发展的今天，仍在大量使用土壤、石料、木材、生物、橡胶等天然材料。在漫长的人类社会初期，人们只会用天然材料。随着社会的发展，人们开始对天然材料进行各种加工和处理，使它更适合于人们使用，这就是人造材料。经过加工和处理，人造材料具有了天然材料无法比拟的优越性能。人造材料从最初的木材、石器、陶器，到青铜器和铁器，直到现在具有各种优越性能的合金、高分子材料、复合材料等，得到飞速的发展。人造材料成为人类必不可少的重要材料。在我们生活、工作中所见的材料，人造材料有相当大的比重。我们住的房子、用的工具、穿的衣服、骑的车子、各种设备和设施、各种先进的武器、各种精密的仪器等，几乎都是由人造材料制成的。

工程材料主要指用于机械工程、建筑工程以及航空航天等领域的材料。工程材料按其性能特点分为结构材料 and 功能材料两大类。结构材料以力学性能为主，兼有一定的物理、化学性能。功能材料以特殊的物理、化学性能为主，如那些要求具有电、光、声、磁、热等功能和效应的材料。本书中重点讲述结构材料。

从使用角度来看，人类使用的工程材料必须具备以下几个要点。

(1) 一定的组成和配比

材料的使用性能主要取决于组成它的各成分，以及各成分之间的配比。其中材料的力学性能、热性能、电性能、耐腐蚀性能等为其主要成分所支配，而次要成分可用来改善加工性能、使用性能或赋予某种特殊性能。

(2) 成形加工性

作为有用的材料应具有一定的形状结构特征，它是通过成形加工获得的。因此，作为材料必须具备在一定温度和一定压力下加工成某种形状的能力。成形加工包括熔融状态下的一次加工，也包括冷却后进行的车、铣、刨、磨等二次加工。不具备成形加工性，就不能成为有用的材料。

(3) 形状保持性

任何材料都以一定的形状出现，并在该形状下使用。因此，材料应具有在使用条件下，保持既定形状、并可供实际使用的能力。

(4) 经济性

由该材料制得的产品质优价廉，富有竞争性，在经济上能被社会和人们接受。

(5) 回收再生性

作为任何一种材料的产品，在其原料生产、材料制造、施工、使用过程中，废弃物处理过程中，都应对维护人类健康、保护生态环境负责。

所以工程材料可以这样来表述：工程材料是以一种化学物质为主要成分、并含有次要成分所组成的，可以在一定条件下加工成所需形状，在使用过程能有效保持形状，并能满足某些工况下使用要求的产品或制品。其生产过程必须实现最高生产率、最低原材料成本和能耗，产生最少环境污染物，其废物可回收再利用。

1.1.2 工程材料分类

工程材料种类很多，用途极为广泛，有许多不同的分类方法，比较科学的方法是按其化学组成进行分类，如图 1-1 所示。

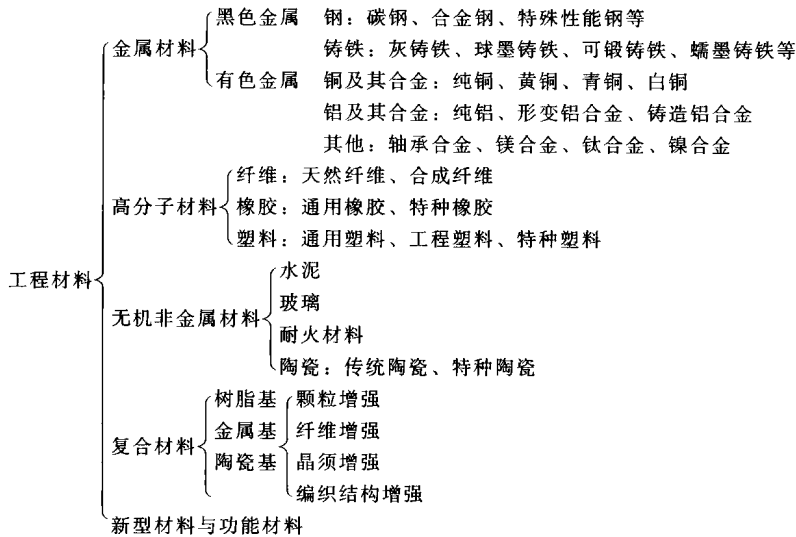


图 1-1 工程材料的分类

金属材料常指工业上所使用的金属或合金的总称。对纯金属而言，自然界中目前存在的大约有 70 种，常见的金属有铁、铜、锌、铅、铝、锡、镁、镍、钼、钛、金、银等。合金是指由两种或两种以上的金属、金属与非金属结合而成的，且具有金属性质的材料。常见的合金如铁与碳所形成的碳钢；铜与锌所形成的黄铜等。

金属材料包括钢铁、有色金属及其合金，由于金属材料具有良好的力学性能、物理性能、化学性能及工艺性能，并能采用比较简单和经济的方法制成零件，因此金属材料是目前应用最广泛的材料。

无机非金属材料主要指水泥、玻璃、陶瓷材料和耐火材料等。它们不可燃，不老化，而且硬度高，耐压性能良好，耐热性和化学稳定性高，且原料丰富，在电力、建筑、机械等行业中有广泛的应用。

高分子材料指塑料、橡胶等以高分子化合物为主要组分的材料，它的突出特点是相对分子质量非常大，通常在 10^4 以上。因其原料丰富，成本低，加工方便等优点，发展极其迅速，在各个领域中得到广泛应用。塑料具有密度小、比强度高、耐腐蚀、电绝缘性好、耐磨和自润滑性好，还有透光、隔热、消音、吸震等优点，但强度低、耐热性差、容易蠕变和老

化。橡胶材料具有高弹性,在外力作用下可产生很大的变形,外力去除后能恢复原状,在多次弯曲、拉伸、剪切过程中不容易受到损伤。此外,橡胶还具有不透水、不透气、耐酸碱、绝缘等一系列可贵的性能。

复合材料是由基体材料(高分子材料、金属、陶瓷)和增强剂(纤维、晶须、颗粒)复合而成的,其既保持组成材料各自特性又具有组成后的新特性,且它的力学性能和功能可以根据使用需要进行设计、制造,所以自1940年玻璃钢问世以来,应用领域在迅速扩大,品种、数量和质量有了飞跃的发展。

1.2 材料的性能

工程材料的性能可分为使用性能和工艺性能。材料的使用性能是指材料在服役条件下,为保证安全可靠地工作,材料必须具备的性能,包括力学性能、物理性能和化学性能等。工程材料使用性能的好坏,决定了它的使用寿命和应用范围。材料的工艺性能是指材料适应某种成形加工的能力,主要包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、切削加工性能、热处理工艺性能等。材料的工艺性能的好坏,会直接影响零件或构件的制造方法和制造成本。

工程材料是应用于各行各业的重要材料,是构成各种设备和设施的基础。因此了解和掌握工程材料的使用性能和工艺性能,是进行各种构件及零件设计、生产及应用的基础。

1.2.1 静载时材料的力学性能

静载是指对试样缓慢加载,最常用的静载试验有拉伸、压缩、硬度、弯曲、扭转等,可利用不同的试验方法,测得各种力学性能指标,这里主要讨论静拉伸强度和硬度。

1.2.1.1 强度

强度是指在外力作用下,材料抵抗变形和断裂的能力。

强度指标常通过拉伸实验测定。在标准试样的两端缓慢地施加拉伸载荷,使试样的工作部分受轴向拉力 F ,并引起试样沿轴向产生伸长 Δl ,随着 F 值的增加, Δl 也相应增大,直到试样断裂为止。由载荷(拉力)与变形量(伸长量)的相应变化,可以绘出拉伸曲线。图1-2(a)就是退火低碳钢的拉伸曲线。如果把拉力除以试样的原始截面积 S_0 ,得到拉应力 σ (单位面积上的拉力),把伸长量 Δl 除以试样的标距长度 l_0 得到应变 ϵ (单位长度的伸长量)。根据 σ 和 ϵ ,则可以画出应力-应变曲线[见图1-2(b)]。应力-应变图曲线不受试样尺寸的影响,可以从图上直接读出材料的一些常规机械性能指标。静载拉伸下材料的力学性能指标主要有以下几个。

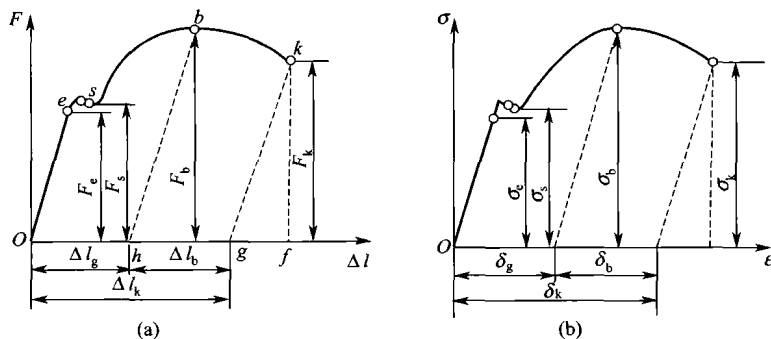


图 1-2 退火低碳钢的拉伸曲线 (a) 和应力-应变曲线 (b)

(1) 弹性极限 σ_e 和弹性模量 E

在应力-应变曲线上, e 点以前产生的可以恢复的变形叫弹性变形, e 点对应的弹性变形阶段的极限值, 称为弹性极限, 以 σ_e 表示 (单位为 MPa), 对一些弹性零件如精密弹簧等, σ_e 是主要的性能指标。

材料在弹性变形阶段内, 应力与应变的比值为定值, 这表征了材料抵抗弹性变形的能力, 其值大小反映材料弹性变形的难易程度, 称为弹性模量, 以 E 表示 (单位为 GPa), 即:

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

在工程上, 零件或构件抵抗弹性变形的能力称为刚度。显然, 在零件的结构、尺寸已确定的前提下, 其刚度取决于材料的弹性模量。

弹性模量主要取决于材料内部原子间的作用力, 如晶体材料的晶格类型、原子间距, 热处理对弹性模量的影响极小。

(2) 屈服强度 σ_s

在拉伸曲线中, s 点出现一水平线段, 这表明拉力虽然不再增加, 但变形仍在进行。这时若卸去载荷, 则试样的变形不能全部恢复, 将保留一部分残余变形。这种不能恢复的残余变形叫塑性变形。 s 点是材料从弹性状态过渡到塑性状态的临界点, 它所对应的应力为材料在外力作用下开始发生塑性变形的最低应力值, 称为屈服极限或屈服强度, 用 σ_s 表示 (单位为 MPa)。

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0} \quad (1-2)$$

式中 F_s ——对应于 s 点的外力;

S_0 ——试样的原始截面积。

由于很多材料的拉伸曲线上没有明显的屈服点 (图 1-3), 无法确定屈服极限, 因此规定试样产生 0.2% 塑性变形时的应力值为该材料的屈服极限, 称为条件屈服极限, 以 $\sigma_{0.2}$ 表示, 即

$$\sigma_{0.2} = \frac{F_{0.2}}{S_0} \quad (1-3)$$

式中, $F_{0.2}$ 为产生 0.2% 残余伸长量的载荷, 其确定方法是首先在拉伸图上截取 $Od = 0.2\% l_0$, 过 d 点做平行于拉伸曲线弹性变形阶段的平行线与拉伸曲线交于 s 点。再过交点 s 点作水平线, 与 F 轴的交点即为 $F_{0.2}$ 。

工程中大多数零件都是在弹性范围内工作的, 如果产生过量塑性变形就会使零件失效, 所以屈服强度是零件设计和选材的主要依据之一。

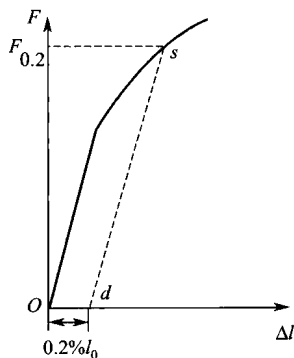


图 1-3 图解法确定 $\sigma_{0.2}$

(3) 抗拉强度 σ_b

试样拉断前最大载荷所决定的条件临界应力, 即试样所能承受的最大载荷除以原始截面积, 以 σ_b 表示 (单位为 MPa)。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0} \quad (1-4)$$

式中, F_b 为试样所能承受的最大载荷。

抗拉强度的物理意义是表征材料对最大均匀变形的抗力, 表征材料在拉伸条件下, 所能承受的最大载荷的应力值, 它是设计和选材的主要依据之一。因为有些材料几乎没有塑性,

或低塑性脆性材料，因此 σ_b 就是这类材料的主要设计指标。

1.2.1.2 塑性

断裂前材料发生塑性变形的能力叫塑性。塑性以材料断裂后塑性变形的大小来表示。拉伸时用延伸率 (δ) 和断面收缩率 (φ) 表示，两者均为无单位量纲。

(1) 伸长率 (δ) 表示试样拉伸断裂后的相对伸长量

$$\delta = \frac{L_k - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中 L_0 ——拉伸试样原始标距长度；

L_k ——拉伸试样拉断后的标距长度。

(2) 断面收缩率 (φ) 表示试样断裂后截面的相对收缩量。

$$\varphi = \frac{S_0 - S_k}{S_0} \times 100\% \quad (1-6)$$

式中 S_0 ——拉伸试样原始截面面积；

S_k ——拉伸试样拉断处的截面面积。

1.2.1.3 硬度

硬度是衡量材料软硬程度的指标，表征材料抵抗比它更硬的物体压入或刻划的能力，因为硬度的测定总是在试样的表面上进行，所以硬度也可以看作是材料表面抵抗变形的能力。

硬度是材料力学性能的一个重要指标，材料制成的半成品和成品的质量检验中，硬度是标志产品质量的重要依据。常用的硬度有布氏、洛氏、维氏、显微硬度等。

(1) 布氏硬度

用一定的载荷 F ，将直径为 D 的淬火钢球或硬质合金球压入被测材料的表面（见图 1-4），保持一定时间后卸除载荷，以载荷与压痕表面积 S 的比值，作为布氏硬度值，用 HB 表示，即

$$HB = \frac{F}{S} = \frac{F}{\pi D h} = \frac{2F}{\pi D [D - (D^2 - d^2)^{\frac{1}{2}}]} \quad (1-7)$$

布氏硬度的单位为 N/mm^2 ，但一般都不标出，硬度值越高，表明材料越硬。

采用布氏硬度试验的优点是压痕面积大，不受微小不均匀硬度的影响，试验数据稳定，重复性好。但不适用于成品零件和薄壁器件的硬度检验。

硬度的表示方法；压头为淬火钢球时用 HBS，适用于布氏硬度值在 450 以下的材料；压头为硬质合金球时用 HBW，适用于布氏硬度在 650 以下的材料。

硬度值写在符号 HBS 或 HBW 之前，符号之后按下列顺序用数值表示试验条件：①球体直径 (mm)；②试验力 (N)；③力保持时间 (s)，如 120HBS 10/1000/30。

(2) 洛氏硬度

在先后两次施加载荷（初载荷 F_0 及总载荷 F ）的条件下，将标准压头 [顶角为 120° 的金刚石圆锥或直径为 1.588mm (1/16in) 的钢球] 压入试样表面，然后根据压痕的深度来确定试样的硬度。

根据压头和压力的不同，洛氏硬度用三种不同符号表示，HRA、HRB、HRC，最常用的是 HRC。它们的数值直接可以从硬度试验机仪表盘上的指示针读出。

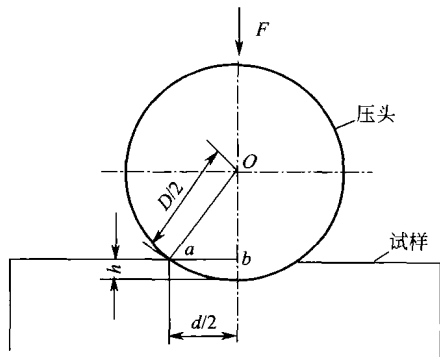


图 1-4 布氏硬度实验原理

洛氏硬度的测定操作迅速、简便,压痕面积小,适用于成品检验,硬度范围广,但由于接触面积小,当硬度不均匀时,数值波动较大,需多打几个点取平均值。必须注意,不同方法、级别测定的硬度值无可比性,只有查表转换成同一级别后,才能比较硬度值的高低。

1.2.2 其他载荷作用下材料的力学性能

1.2.2.1 冲击韧性

在生产实际中,许多机构零件都受到冲击载荷的作用,如机器启动、急刹车、冲床的冲头等,因此表征材料在冲击力作用下的力学性能非常重要。

冲击韧性简称韧性,是材料在冲击载荷作用下抵抗变形和断裂的能力。一般用 α_k 表示(单位为 J/m^2)。

冲击韧性的测定一般是用一次摆锤冲击实验来测定(见图 1-5)。把待测材料的标准缺口试样放在试验机支座上,使一定重量 G 的摆锤自一定高度 H 自由落下,冲断试样,并摆过支承点升至高度 h 。摆锤冲断试样所消耗的冲击功用 A_k 表示(单位 J),有:

$$A_k = GH - Gh \quad (1-8)$$

用试样缺口处的截面积 $S(\text{m}^2)$ 去除 A_k 即得冲击韧性值 α_k (单位为 J/m^2),有:

$$\alpha_k = \frac{A_k}{S} \quad (1-9)$$

实际上,在冲击载荷下工作的机械零件,很少是受大能量一次冲击而破坏的,往往是经受小能量的多次冲击,因冲击损伤的积累引起裂纹扩展而造成断裂,故用 α_k 值来反映冲击韧性有一定的局限性。研究结果表明,金属材料承受小能量多次重复冲击的能力取决于材料强度和塑性的综合性能指标。

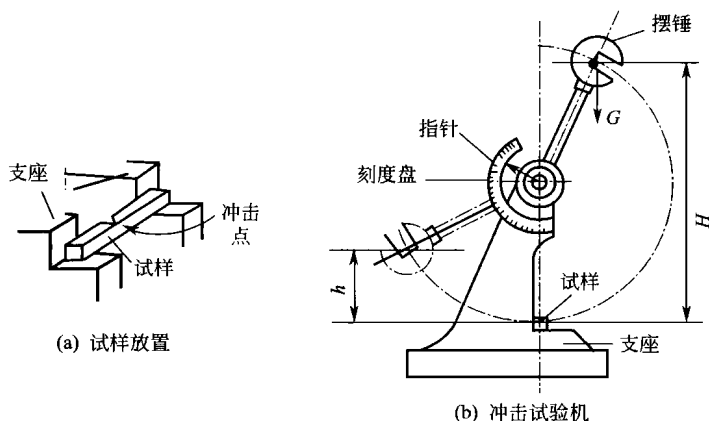


图 1-5 摆锤冲击实验示意图

1.2.2.2 疲劳强度

有许多机器零件如轴、齿轮、弹簧、活塞杆等,都是在交变载荷下工作的,它们工作时所承受的应力一般都低于材料的屈服强度。零件在这种交变动载荷作用下,经过较长时间的工作而发生断裂的现象称为疲劳。因此疲劳是机件在循环或交变应力作用下,经过一段时间产生失效的现象。疲劳断裂无先兆,会产生突然断裂,危害很大,疲劳强度就是用来表征材料抵抗疲劳的能力。

疲劳强度是通过测定材料在重复的交变载荷(钢的交变次数为 $10^6 \sim 10^7$ 周次、有色金属的交变次数为 $10^7 \sim 10^8$ 周次)作用下而无断裂的最大应力来得到的,用 σ_{-1} 表示(单位为 N/m^2)。

1.2.2.3 磨损

机器运转时,任何零件在接触状态下的相对运动都会产生摩擦,导致零件磨损,最后失效。按磨损的破坏机理,磨损可分为:黏着磨损、磨粒磨损、腐蚀磨损、接触疲劳。

(1) 黏着磨损

又称咬合磨损,实质是相对运动的两个零件的表面总是凹凸不平的,在接触压力作用下,由于凸出部分首先接触,有效接触面很小。因而,当压力较大时,凸起部分便会发生严重的塑性变形,从而使材料表面接触点发生黏着(冷焊),随后,在相对滑动时黏着点又被剪切而断掉,造成黏着磨损。

(2) 磨粒磨损

它是当摩擦副一方的硬度比另一方的硬度大得多时,或者在接触面之间存在着硬质粒子时,所产生的磨损,其特征是接触面上有明显的切削痕迹。

(3) 腐蚀磨损

是由于外界环境引起金属表面的腐蚀产物剥落,与金属磨面之间的机械磨损(磨粒、黏着)相结合而出现的磨损。

(4) 接触疲劳

是滚动轴承、齿轮等一类机件的接触表面,在接触压应力的反复长期作用后所引起的一种表面疲劳剥落损坏现象,其损坏形式是在光滑的接触面上分布有若干深浅不同的针尖或豆状凹坑,或较大面积的表层压碎。

1.2.3 材料高温和低温性能

温度是影响材料性能的重要外部因素之一。一般随温度升高,材料的强度、硬度降低而塑性增加。在高温下,载荷作用时间对材料的性能也会产生很大影响。例如,蒸汽锅炉、汽轮机、燃气轮机、核动力及化工设备中的一些高温高压管道,虽然工作应力小于工作温度下材料的屈服强度,但在长期使用过程中,会产生缓慢而连续的塑性变形,使管径增大,最后可能导致管道破裂。因此在高温或者低温条件下工作的零部件,需要认真考虑材料的高低温度力学性能。

1.2.3.1 材料的高温性能

对金属材料而言,所谓高温是指其工作温度超过再结晶温度。材料的高温性能主要有蠕变极限、持久极限、高温韧性和高温疲劳极限等指标。

(1) 蠕变及蠕变极限

材料在长时间的恒温、恒应力作用下,即使所受到的应力小于屈服强度,也会缓慢地产生塑性变形的现象称为蠕变。蠕变是在高温条件下金属材料力学行为的重要特点,碳钢在超过 300℃,合金钢在超过 400℃的条件下工作时,就会发生蠕变。由于蠕变变形而导致材料的断裂称为蠕变断裂。

蠕变极限是材料在规定时间内,在一定的温度下产生一定蠕变变形量所对应的应力值。蠕变极限是反映材料在长时间高温作用下的塑性变形抗力的指标。

(2) 持久强度

材料在高温长期载荷作用下抵抗断裂的能力,称为持久强度。持久强度极限是指材料在恒定温度下,达到规定的时间而不断裂的最大应力。表示方法为 σ_r ,如 $\sigma_{1000}^{700} = 30\text{MPa}$ 表示在 700℃温度下,要使材料使用 1000h 而不断裂,此时材料最大只能承受 30MPa 的应力。持久强度常用于考虑高温状况下零部件使用寿命的情况。规定时间 τ 是以机组的设计寿命为依据的。