

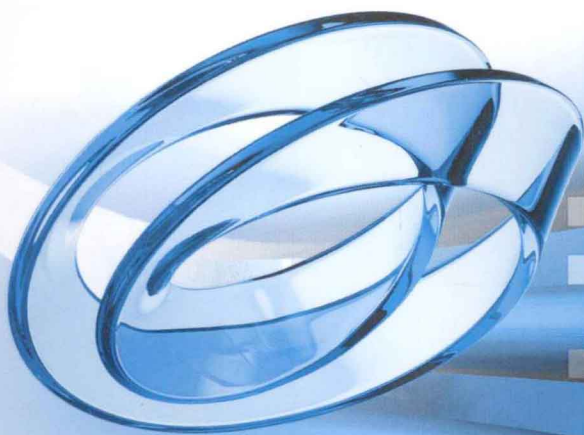


普通高等教育“十二五”卓越工程能力培养规划教材
浙江省高等教育重点教材

工程材料及机械制造基础

林 江 主 编

楼建勇 祝邦文 副主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十二五”卓越工程能力培养规划教材
浙江省高等教育重点教材

工程材料及机械制造基础

主 编 林 江
副主编 楼建勇 祝邦文
参 编 马红萍 李建平
 李国平
主 审 刘舜尧

机械工业出版社

本书是为了适应我国卓越工程师教育培养计划和教学改革的需要,根据新世纪人才培养模式的新变化,针对本科课程改革和创新人才培养的特点而编写的。本教材为“浙江省高等教育重点教材”。

全书共分11章,包括工程材料、材料成形工艺、机械加工工艺和零件成形方法的选择等四部分内容。每章附有适量的复习思考题。

本书内容简明扼要,具有综合性、实践性、科学性和先进性等特点,突出实用性,并注重理论与实践相结合。本书是高等学校机械工程类、近机械工程类等理工科各专业的教材,也可供职业院校相关专业及其他大专院校师生以及相关工程技术人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

工程材料及机械制造基础/林江主编. —北京:机械工业出版社, 2013. 7

普通高等教育“十二五”卓越工程能力培养规划教材

ISBN 978-7-111-42761-2

I. ①工… II. ①林… III. ①工程材料—高等学校—教材②机械制造—高等学校—教材 IV. ①TG

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第171200号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:刘小慧 责任编辑:刘小慧 杨茜 邓海平

版式设计:霍永明 责任校对:王欣 封面设计:张静

责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2013年9月第1版第1次印刷

184mm×260mm·23.25印张·577千字

标准书号:ISBN 978-7-111-42761-2

定价:43.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是根据我国高等教育的改革与发展，特别是卓越工程师教育培养计划的教学改革的需要而编写的。全书共有 11 章，包括工程材料、材料成形工艺、机械加工工艺和零件成形方法的选择等四大部分，涵盖了工程材料及“热加工”和“冷加工”的全部内容。每章附有适量的复习思考题。本书配有助教型 CAI 教学软件，发挥多媒体的综合优势，将不易理解的原理、理论及运动关系生动地表现出来，并展示各种生产设备和生产现场，以说明工艺过程、应用实例。特别加强对新材料、新技术和新工艺的介绍，实现“展示事实，创设情景，提供示范”的作用。

本书由浙江科技学院林江教授任主编，浙江工业大学楼建勇教授、浙江科技学院祝邦文教授任副主编。具体章节编写人员及分工如下：第一章、第四章、第五章由浙江科技学院祝邦文编写，第二章、第三章由浙江科技学院马红萍编写，第六章、第八章由浙江科技学院林江编写，第七章由浙江大学李建平编写，第九章第一节、第三节由宁波大学李国平编写，第九章第二节、第四节、第十章、第十一章由浙江工业大学楼建勇编写。

本书的编写还得到浙江省温州市鹿城区人才计划的支持，在此一并特致以衷心的感谢！

本书由中南大学刘舜尧教授主审，他对书稿提出了许多宝贵的建议。

由于编者的水平与经验有限，书中不足、漏误之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者
于杭州

目 录

前言

第一章 金属材料的性能 1

第一节 金属材料的力学性能 1

一、弹性和刚性 1

二、强度与塑性 2

三、硬度 3

四、冲击韧度 4

五、疲劳和断裂韧度 5

六、材料的高温和低温性能 7

第二节 材料的物理、化学性能和工艺性能 7

一、材料的物理性能 7

二、材料的化学性能 9

三、材料的工艺性能 9

复习思考题 9

第二章 金属的晶体结构 11

第一节 晶体结构的基本概念 11

第二节 金属中常见的晶体结构 11

一、晶体与非晶体 11

二、晶格与晶胞 12

三、常见晶体结构 12

第三节 实际晶体的结构 16

一、晶体结构 16

二、晶体缺陷 17

第四节 合金相结构 22

一、固溶体 22

二、金属化合物 25

复习思考题 28

第三章 金属的相变和相图 29

第一节 纯金属的相变 29

一、液态金属的结构及结晶 29

二、纯金属的相变 31

三、晶体的同素异构 37

第二节 二元合金相图 38

一、概述 38

二、合金相图的建立 40

三、匀晶相图 41

四、共晶相图 43

五、共析相图 47

六、其他类型的二元系合金相图 47

七、二元相图的规律及合金性能 50

第三节 铁碳合金相图 52

一、铁碳合金的组元及基本相 52

二、Fe-Fe₃C 相图分析 54

三、典型合金的结晶过程及组织 55

四、含碳量与铁碳合金组织及性能的关系 61

五、铁碳合金相图的应用 62

第四节 金属的凝固组织 63

一、金属铸锭宏观组织 63

二、铸锭中的缺陷 64

复习思考题 65

第四章 钢的热处理 66

第一节 钢在加热时的转变 67

一、奥氏体的形成过程 67

二、影响奥氏体转变速度的因素 68

三、奥氏体的晶粒度及其影响因素 69

第二节 过冷奥氏体等温冷却转变 70

一、过冷奥氏体等温转变曲线的建立 70

二、过冷奥氏体等温转变曲线的分析 71

三、影响过冷奥氏体转变曲线的因素 71

四、珠光体转变 72

五、贝氏体转变 73

六、马氏体转变 75

第三节 过冷奥氏体连续冷却转变 78

一、共析钢的过冷奥氏体连续冷却转变曲线 79

二、亚共析钢和过共析钢过冷奥氏体的连续冷却转变 79

第四节 钢的普通热处理 80

一、钢的退火 80

二、钢的正火 81

三、钢的淬火 82

四、钢的回火 86

第五节 钢的表面热处理工艺	90	二、铸造工艺实例	192
一、钢的表面淬火	90	第四节 铸件结构工艺性	193
二、钢的化学热处理	93	一、铸造合金性能的影响	193
第六节 其他热处理工艺	96	二、铸造工艺的影响	195
一、形变热处理	96	三、铸造方法的影响	196
二、真空热处理	97	第五节 铸造成形技术的新发展	198
三、激光处理	98	一、凝固理论推动了铸造新工艺的	
四、气相沉积技术	99	发展	198
复习思考题	101	二、造型技术的新发展	199
第五章 常用工程材料	103	三、计算机技术推动铸造的新发展	200
第一节 工业用钢	104	复习思考题	201
一、钢的分类	104	第七章 金属的塑性成形	202
二、碳素钢	104	第一节 塑性成形的理论基础	203
三、合金钢	108	一、塑性成形的实质	203
四、特殊性能钢	121	二、冷变形强化与再结晶	205
第二节 铸铁和铸钢	124	三、锻造比与锻造流线	207
一、铸铁	124	四、塑性成形基本规律	208
二、铸钢	132	五、金属的锻造性能	209
第三节 有色金属及其合金	133	第二节 塑性成形方法	211
一、铝及铝合金	134	一、锻造	211
二、铜及铜合金	137	二、板料冲压	217
三、钛及钛合金	142	三、其他塑性加工方法	223
四、滑动轴承合金	146	第三节 锻件的工艺设计	227
第四节 其他工程材料	147	一、自由锻工艺规程的制订	227
一、粉末冶金材料	147	二、自由锻工艺规程实例	228
二、陶瓷材料	149	三、模锻工艺规程的制订	229
三、高分子材料	154	第四节 锻件的结构工艺性	232
四、复合材料	159	一、自由锻件的结构工艺性	232
第五节 材料的选用	162	二、锻件的结构工艺性	232
一、机械零件失效分析	162	三、板料冲压件的结构工艺性	234
二、机械零件选材的原则	164	第五节 塑性成形技术的新发展	236
三、典型零件选材实例	166	一、精密塑性成形技术	236
复习思考题	167	二、快速制模技术	236
第六章 金属的液态成形	169	三、塑性成形过程的计算机模拟	236
第一节 液态成形理论基础	169	复习思考题	237
一、金属的凝固	169	第八章 焊接	238
二、金属与合金的液态成形性能	171	第一节 焊接成形基础	238
三、液态成形性能对铸件质量的影响	174	一、熔焊的冶金过程	238
第二节 液态金属的成形方法	179	二、金属的焊接性	242
一、砂型铸造成形	180	三、焊接应力和变形	243
二、特种铸造方法	183	第二节 焊接方法	246
第三节 铸造工艺设计	188	一、熔焊	247
一、铸造工艺设计的内容	188	二、压焊	255

三、钎焊	258	第十章 其他材料的成形	331
第三节 焊接结构工艺设计	259	第一节 高分子材料的成形	331
一、焊接材料	259	一、工程塑料的成形	331
二、焊件材料	261	二、橡胶材料的成形	340
三、焊接接头工艺	264	第二节 工业陶瓷的成形	343
四、焊接方法的选择	269	一、工业陶瓷的成形基础	343
五、焊接工艺参数的选择	269	二、陶瓷制品的生产过程	344
六、焊接工艺实例	270	三、陶瓷成形方法	345
第四节 焊接技术的发展	271	第三节 复合材料的成形	349
一、计算机技术在焊接中的应用	271	一、复合材料成形特点	349
二、焊接机器人和智能化	272	二、复合材料成形技术	349
三、焊接能源	272	复习思考题	357
四、提高焊接生产率	272	第十一章 零件成形方法的选择	358
复习思考题	273	第一节 机械零件毛坯的选择原则	358
第九章 机械加工	274	一、保证使用要求	358
第一节 机械加工基础知识	274	二、满足经济性	359
一、切削运动与切削要素	274	三、考虑实际生产条件	359
二、切削刀具	276	第二节 机械加工方法的选择原则	359
三、切削过程	282	一、根据表面的尺寸精度和表面粗糙度 选择	359
第二节 常规机械加工方法	288	二、根据表面所在零件的结构形状和尺 寸选择	360
一、外圆面的加工	288	三、根据零件热处理状况选择	360
二、孔的加工	290	四、根据零件材料的性能选择	361
三、平面的加工	295	五、根据零件的批量选择	361
四、成形表面的加工	298	第三节 各类零件的结构特点及其制造 方法比较	362
五、螺纹的加工	300	一、轴杆类零件	362
六、齿轮齿形的加工	303	二、盘套类零件	362
第三节 机械加工工艺基础	308	三、箱体机架类零件	363
一、生产过程和工艺过程	308	复习思考题	364
二、零件机械加工工艺规程的制订	311	附录	365
三、典型零件的工艺过程实例	318	参考文献	366
第四节 机械加工件的结构工艺性	324		
一、结构工艺性的设计原则	324		
二、改善结构工艺性示例	325		
复习思考题	330		

第一章 金属材料的性能

第一节 金属材料的力学性能

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，能采用简单经济的加工方法制成零件，因此金属材料是目前应用最广泛的工程材料。金属材料主要的性能是力学性能，即抵抗外力作用所反映出来的性能，其主要指标有静载荷下的强度、硬度、塑性和动载荷下的冲击韧度、疲劳强度和断裂韧度等。静载是指对试样缓慢加载。常用的静载试验有拉伸、压缩、硬度、弯曲、扭转等，利用这些试验方法，可以测得强度、塑性、硬度等力学性能指标。动载一般有两种形式，一种是载荷以较高速度施加到零件上，形成冲击，可以测得冲击韧度；另一种是载荷的大小和方向呈周期性变化的交变载荷，形成疲劳。

一、弹性和刚性

金属材料受外力作用产生变形，当外力去除后能恢复原来形状的性能，称为弹性。随外力消失而消失的变形，称为弹性变形，其大小与外力成正比，服从胡克定律。金属材料抵抗弹性变形的能力称为刚性。将金属材料制成图 1-1 所示的标准试样，在拉伸试验机上对试样施加一轴向拉伸力 F 并缓慢拉伸，直至试样断裂。利用拉伸力和试样伸长的数值变化可得到力—伸长量的变化曲线，如图 1-2a 所示。将拉伸力 F 除以试样的原始截面积 S_0 ，可得到拉伸力 R （单位截面上的拉应力），将伸长量 ΔL 除以试样的标距长度 L ，可得到应变 e （单位长度的伸长量），根据 R 和 e ，可得到应力—应变曲线，如图 1-2b 所示。

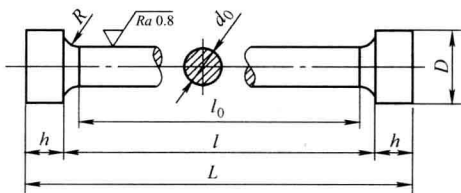


图 1-1 圆形拉伸试样

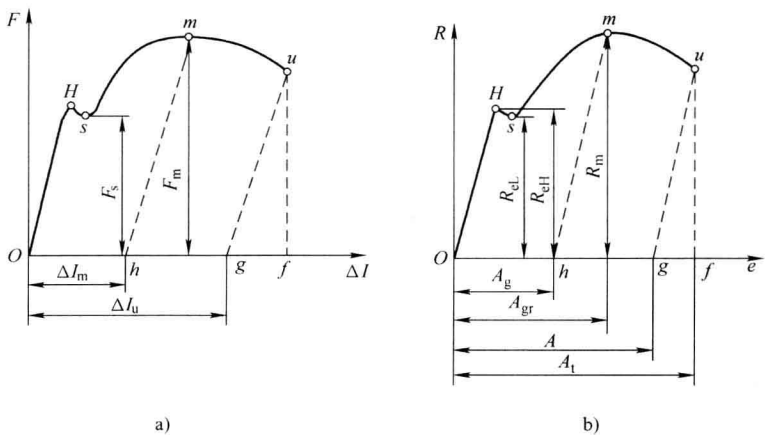


图 1-2 退火低碳钢的拉伸曲线

a) 拉伸力—拉伸曲线 b) 应力—应变曲线

由图 1-2 可知, 当拉力未达到 H 点以前, 试样只产生弹性变形, H 点所对应的弹性变形阶段的最大应力, 称为弹性极限, 对于一些弹性零件, 如精密弹簧片、板等, 它属于主要的性能指标。材料在弹性变形范围内的应力与应变的比值称为弹性模量, 以 E 表示 (MPa), 即

$$E = \frac{R}{e} \quad (1-1)$$

弹性模量 E 表征材料产生弹性变形的难易程度。 E 越大, 材料产生一定量的弹性变形所需要的应力也越大, 即越不容易产生弹性变形, 反之亦然。弹性模量在工程上称为材料的刚度。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、原子间距等, 材料的其他强化手段对弹性模量的影响较小。

二、强度与塑性

1. 强度

强度是金属材料在外力作用下抵抗塑性变形和断裂的能力。按不同外力作用, 可分为抗拉强度、抗压强度、抗扭强度、抗剪强度等。工程上金属材料的强度主要指屈服强度 R_e 和抗拉强度 R_m 。

(1) 屈服强度 R_e 。在图 1-2 所示的拉伸试验曲线中, 在 S 点出现一近似水平线段, 这表明变形增加很多而拉力无明显变化, 称为屈服, 这时若卸去载荷, 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称为塑性变形。 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 R_e 表示 (MPa), 即

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

式中 F_s ——对应于 S 点的外力;

S_0 ——试样的原始横截面积。

由于有很多材料的应力—应变曲线上没有明显的屈服 (图 1-3), 无法确定屈服极限, 因此规定试样产生一定量塑性变形时的应力值为该材料的规定塑性延伸强度, 以 R_p 表示, 如图 1-3 中产生 e_p 应变量时的应力

$$R_p = \frac{F_p}{S_0} \quad (1-3)$$

式中, F_p 为产生 e_p 应变量时的拉力。一般工程上以 0.2% 塑性变形时的应力值为该材料的规定塑性延伸强度, 以 $R_{p0.2}$ 表示, 即旧

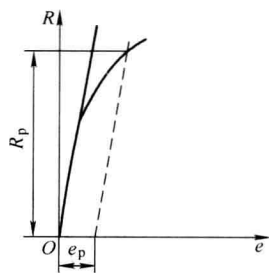


图 1-3 规定塑性延伸强度

国标中的条件屈服极限 $\sigma_{0.2}$ 。

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。

(2) 抗拉强度 R_m 。试样拉断前最大载荷所决定的应力值, 即试样所能承受的最大载

② 抗拉强度 R_m 在旧国标中的符号为 σ_b , 因此类符号尚未在所有金属材料的力学性能标准中完全更新, 故文中出现 R_m 和 σ_b 两种符号, 其意义相同。

荷除以试样原始横截面积, 以 R_m 表示 (MPa), 即

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} \quad (1-4)$$

式中 F_m ——试样所能承受的最大载荷, 如图 1-2a 所示应力—应变曲线上的 m 点。

当载荷增加至 m 点以后, 试样截面局部出现颈缩, 因为截面缩小, 载荷开始下降, 至 u 点时试样被拉断。

抗拉强度 R_m 的物理意义是表征材料对最大均匀变形的抗力, 它也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塑性很低, 因此 R_m 是这类材料的主要设计指标。冷热加工、强化处理等对材料的 R_e 和 R_m 有较大影响。

R_e 和 R_m 的比值称为屈强比, 其数值一般在 0.5 ~ 0.75 之间。屈强比越小, 材料的可靠性越高, 即使超载也不会马上断裂; 屈强比越大, 材料的利用率越高, 但可靠性下降。

2. 塑性

材料在静载荷作用下产生塑性变形而不被破坏的能力称为塑性。塑性以材料断裂后塑性变形的大小来表征, 拉伸时用伸长率 A 和断面收缩率 Z 表示, 两者均为无单位量纲。

1) 伸长率 A 表示试样拉伸断裂后的相对伸长量, 即

$$A = \frac{l_u - l_0}{l_0} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中 l_0 ——拉伸试样原始标距长度 (mm);

l_u ——拉伸试样拉断后的标距长度 (mm)。

2) 断面收缩率 Z 表示试样断裂后截面的相对收缩量, 即

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

式中 S_0 ——拉伸试样原始横截面积 (mm²);

S_u ——拉伸试样拉断处的横截面积 (mm²)。

在实际测试中对试样的尺寸在 GB/T 228—2010 作出规定。用断面收缩率表示塑性比伸长率更接近真实变形情况, $A > Z$ 时, 无缩颈, 为脆性材料特征; $A < Z$ 时, 有缩颈, 为塑性材料表征。

三、硬度

硬度是材料表面抵抗更硬材料压入的能力, 是衡量材料软硬程度的指标。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, 在材料制成的半成品和成品的质量检验中, 硬度是产品质量的重要依据。工程上常用的硬度有布氏、洛氏、维氏硬度等。

1. 布氏硬度

用一定的载荷 F , 将直径为 D 的硬质合金球压入被测材料的表面 (图 1-4), 保持 10 ~ 60s 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 HBW 表示, 即

$$HBW = \frac{2F}{g\pi D[D - \sqrt{(D^2 - d^2)}]} \quad (1-7)$$

式中 d ——压痕直径 (mm)。

g ——重力加速度 (N/kg)。

布氏硬度的单位为 N/mm^2 ，但习惯上只写数值而不标出单位。硬度值越高，表明材料越硬。

布氏硬度的表示方法：硬度值写在符号 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 120HBW1/30/20。

采用布氏硬度试验材料表面压痕较大，不受微小不均匀硬度的影响，试验数据稳定，重复性好，但不宜用于成品零件和薄壁件的硬度检验。

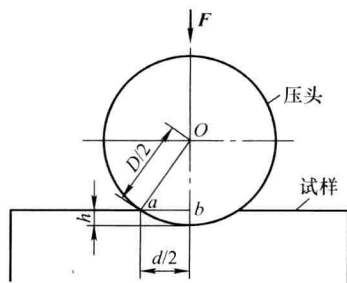


图 1-4 布氏硬度试验原理图

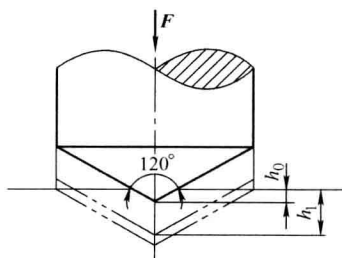


图 1-5 洛氏硬度试验原理图

2. 洛氏硬度

如图 1-5 所示，洛氏硬度试验采用顶角为 120° 的金刚石圆锥或直径为 1.588mm ($1/16\text{in}$) 的钢球压头，施加一定的压力压入材料表面，根据压痕的深度来确定材料的硬度。根据压头和压力的不同，洛氏硬度用九种不同符号表示。常用的有三种，即 HRA、HRB 和 HRC。HRA 是采用 60kg 的载荷和钻石锥压头测得的硬度，用于硬度极高的材料，如硬质合金。HRB 是采用 100kg 的载荷和直径为 1.58mm 淬硬的钢球测得的硬度，用于硬度较低的材料，如退火钢、铸铁等。HRC 是采用 150kg 的载荷和钻石锥压头测得的硬度，用于硬度高的材料，如淬火钢、调质钢等。最常用的洛氏硬度是 HRC，数值可以从硬度试验机的仪表盘上直接读出。

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。但由于接触面积小，当硬度不均匀时，数值波动较大，须多测几个点取平均值。

3. 维氏硬度

维氏硬度采用锥面夹角为 136° 的金刚石四棱锥体压头，在一定载荷下保持一定的时间后卸载，得到一四方棱锥形压痕，如图 1-6 所示，载荷除以压痕表面积的值即为维氏硬度，用 HV 表示。

维氏硬度用于测定薄片金属材料、表面淬硬层、各种涂层等的表面硬度。

必须注意，由于各种硬度的试验条件不同，不同方法、级别测定的硬度值无可比性，相互间无换算公式，但通过经验关系可大致换算： $10\text{HBW} \approx 1\text{HRC}$ ， $1\text{HBW} \approx 1\text{HV}$ 。

四、冲击韧度

在生产实际中，许多机构和零部件都受到冲击载荷的作用，如空气锤的锤杆、压力机的

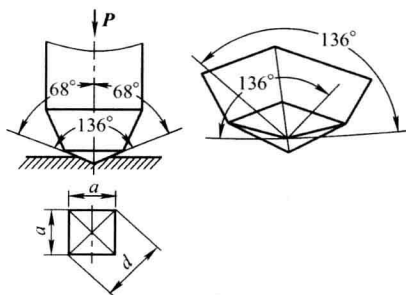


图 1-6 维氏硬度实验原理图

冲头等, 由于瞬时冲击作用所引起的变形和应力比静载荷时大得多, 因此表征材料在冲击力作用下的力学性能非常重要。

冲击韧度是材料在冲击载荷作用下抵抗变形和断裂的能力。冲击韧度值一般是用一次摆锤冲击试验来测定的。把待测材料的标准缺口试样 (图 1-7a) 放在试验机支座上, 将具有一定重量 G 的摆锤自一定高度 H 自由落下, 冲断试样, 摆过支承点升至高度 h , 如图 1-7b 所示。摆锤冲断试样所吸收能量用 A_{KU} 或 A_{KV} 表示 (J), 即

$$A_{KU} = GH - Gh \quad (1-8)$$

$$A_{KV} = GH - Gh \quad (1-9)$$

式中 A_{KU} 、 A_{KV} ——U 型、V 型缺口试样的冲击吸收能量。

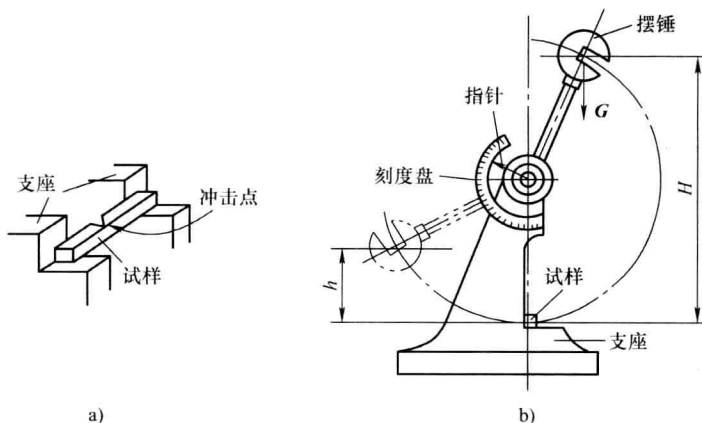


图 1-7 摆锤冲击试验示意图

a) 试样放置 b) 冲击试验机

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 A_{KU} 或 A_{KV} 值来反映冲击韧度有一定的局限性。研究表明, 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指标。

材料的冲击韧度随温度的下降而下降, 在某一温度范围内冲击韧度值急剧下降的现象称为韧脆转变。发生韧脆转变的温度范围称为韧脆转变温度。材料的使用温度应高于韧脆转变温度。

五、疲劳和断裂韧度

1. 疲劳

有许多机器零件如轴、齿轮、弹簧、活塞连杆等, 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, 因此疲劳是零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。疲劳断裂往往无先兆, 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作用下而无断裂的最大应力得到的, 如图 1-8 所示。材料所受交变应力与断裂循环次数之间的关系称为疲劳曲线, 即 $R-N$ 曲线。由曲线可知, R 越小, N 值越大。当应力值低于某一数值时, 经无数次应力循环也不会发生疲劳

断裂, 此应力称为材料的疲劳强度 (疲劳极限), 用 R_{-1} 表示 (MPa)。有些材料的疲劳曲线无水平部分, 如图 1-9 所示, 这时规定某一应力循环次数 N_0 (一般钢的应力循环次数为 10^7 周次、有色金属的应力循环次数为 10^8 周次) 所对应的应力作为疲劳极限。

金属的疲劳强度除与其化学成分有关外, 还受一些其他因素影响, 其中主要的有:

(1) 应力集中 如果零件存有应力集中处, 如缺口、键槽、孔等, 疲劳强度就会下降, 所以在设计零件时, 应尽可能避免出现应力集中处。

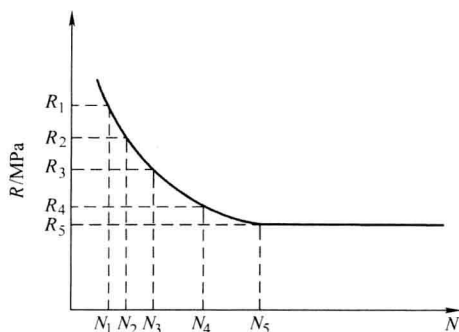


图 1-8 金属疲劳曲线示意图

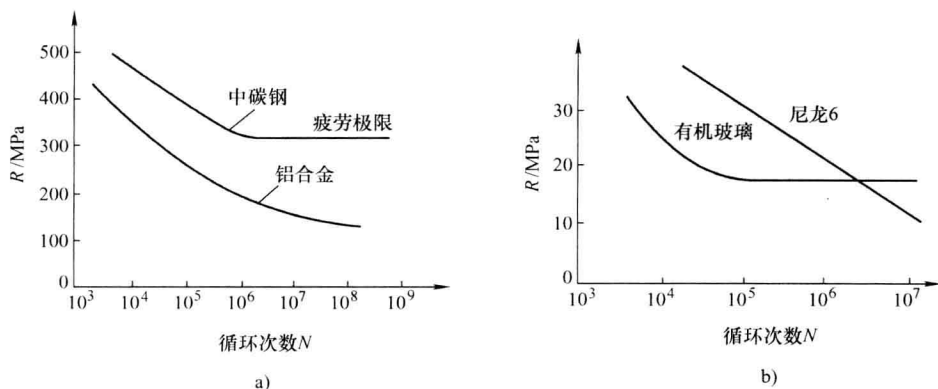


图 1-9 一些材料实测的疲劳曲线

a) 中碳钢及铝合金 b) 尼龙 6 和有机玻璃

(2) 表面状态 由于大多数疲劳失效产生于金属表面, 任何表面状态的变化都会影响疲劳强度, 如钢的表面渗碳、离子渗氮, 使钢的表面硬度增高, 可以提高疲劳强度, 在金属表面形成残留应力层也可提高疲劳强度。

(3) 表面质量 金属材料表面加工越光滑, 疲劳强度就越高。粗糙的零件表面会造成应力集中, 形成疲劳裂纹。

2. 断裂韧度

工程上使用的材料常存在一定的缺陷, 如夹杂物、缩松、气孔、微裂纹等, 这些缺陷都可看作裂纹。它们的存在容易导致材料局部应力集中, 在远低于屈服强度的外加应力作用下, 裂纹尖端的应力可能已远超过屈服强度, 引起裂纹快速扩展而使材料断裂, 此称之为低应力脆断。断裂韧度就是反映材料抵抗裂纹失稳扩展的性能指标。

图 1-10 所示的平板上有一条长度为 $2a$ 的裂纹, 在外力作用下, 其尖端前沿必定存在应力集中。由于实际断裂应力与原始裂纹长度、裂纹的形状、加载方式及材料抵抗裂纹扩展的能力有关, 因此用应力强度因子 K_I ($\text{MN} \cdot \text{m}^{-\frac{3}{2}}$) 表示材料中裂纹各点应力随外加应力变化的比例关系, 即

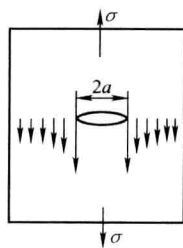


图 1-10 材料开张裂纹

$$K_I = Y\sigma\sqrt{a} \quad (1-10)$$

式中 Y ——与裂纹形状、加载方式及试样几何尺寸有关的量，为无量纲系数；

σ ——外加应力（MPa）；

a ——裂纹半长度（m）。

由式（1-10）可知，当外力增大或裂纹增长时，裂纹尖端的应力强度因子也随之增大，当 K_I 达到某一临界值时，裂纹突然失稳扩展，发生快速脆断。这一临界值称为材料的断裂韧度，用 K_{Ic} 表示，它反映了材料抵抗裂纹扩展的能力。 K_{Ic} 可通过试验测定，它是材料常数，与材料本身的成分、组织与结构有关。

六、材料的高温和低温性能

1. 高温性能

材料在长时间的恒温、恒应力作用下，发生缓慢塑性变形的现象称为蠕变。蠕变的一般规律是温度越高，工作应力越大，则蠕变的发展越快，产生断裂的时间就越短。

金属材料在高于一定温度下，承受的应力即使小于屈服强度，也会出现蠕变现象。因此在高温下使用的金属材料，应具有足够的抗蠕变能力。工程塑料在室温下受到应力作用就可能发生蠕变。

蠕变的另一种表现形式是应力松弛，它是指承受弹性变形的零件，在工作过程中总变形量保持不变，但随时间的延长工作应力自行逐渐衰减的现象。如高温紧固件，若出现应力松弛，将会使紧固失效。

在高温下，材料的强度是用蠕变强度和持久强度来表示的。蠕变强度是指材料在一定温度下、一定时间内产生一定永久变形量所能承受的最大应力。例如， $R_{0.1/1000}^{600} = 88\text{MPa}$ ，表示在 600°C 下，1000h 内，引起 0.1% 变形量所能承受的最大应力值为 88MPa；而持久强度是指材料在一定温度下、一定时间内所能承受的最大应力。又如， $R_{100}^{800} = 186\text{MPa}$ ，表示工作温度为 800°C 时，约 100h 所能承受的最大应力为 186MPa。

2. 低温性能

随着温度的下降，多数材料会出现脆性增加的现象，严重时甚至发生脆断。可通过材料的冲击功与温度的变化关系来确定材料的韧、脆状态转化。当温度降到某一值时，冲击吸收能量 KU 或 KV 会急剧减小，使材料呈脆性状态。材料由韧性状态转变为脆性状态的温度 T_k 称为韧脆转化温度。 T_k 低，表明材料的低温韧性好。

第二节 材料的物理、化学性能和工艺性能

一、材料的物理性能

物理性能是指材料的密度、熔点、热膨胀性、磁性、导电性与导热性等。由于机器零件的用途不同，对材料的物理性能要求也不同。例如，航空航天零件常使用密度小的铝、镁、钛合金；机电、电器主要考虑材料的导电性；磁介质主要考虑磁性能。

1. 密度

材料的密度是指单位体积中材料的质量。常用金属材料的密度见表 1-1。一般将密度小于 5g/cm^3 的金属称为轻金属，密度大于 5g/cm^3 的金属称为重金属。抗拉强度 R_m 与密度 ρ

之比称为比强度；弹性模量 E 与密度 ρ 之比称为比弹性模量。这两者也是考虑某些零件材料性能的重要指标，如密度大的材料将增加零件的质量，降低零件单位质量的强度，即降低比强度。一般航空、航天等领域都要求材料具有高的比强度和比弹性模量。

表 1-1 常用金属的物理性能

金属名称	符号	密度 g/cm^3	熔点/ $^{\circ}\text{C}$	热导率 λ $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	线膨胀系数 α $\frac{(0 \sim 100^{\circ}\text{C})}{\text{K}^{-1} \times 10^{-6}}$	电阻率 ρ $(\Omega \cdot \text{m}) \times 10^{-8}$
银	Ag	10.49	960.8	418.6	19.7	1.5 (0°C)
铝	Al	2.698	660.1	221.9	23.6	2.655 (0°C)
铜	Cu	8.96	1083	393.5	17.0	1.67 ~ 1.68 (20°C)
铬	Cr	7.19	1903	67	6.2	12.9 (0°C)
铁	Fe	7.84	1538	75.4	11.76	9.7 (0°C)
镁	Mg	1.74	650	153.7	24.3	4.47 (0°C)
锰	Mn	7.43	1244	4.98 (-192°C)	37	185 (20°C)
镍	Ni	8.90	1453	92.1	13.4	6.84 (0°C)
钛	Ti	4.508	1677	15.1	8.2	42.1 ~ 47.8 (0°C)
锡	Sn	7.298	231.91	62.8	2.3	11.5 (0°C)
钨	W	19.3	3380	166.2	4.6 (20°C)	5.1 (0°C)

2. 熔点

熔点是指材料的熔化温度。金属都有固定的熔点，常用金属的熔点见表 1-1。陶瓷的熔点一般都显著高于金属及合金的熔点，而高分子材料一般不是完全晶体，没有固定的熔点。

合金的熔点取决于它的化学成分，是金属与合金的冶炼、铸造和焊接等重要的工艺参数。熔点高的金属称为难熔金属（如 W、Mo、V 等），可以用来制造耐高温零件，在燃气轮机、航空、航天等领域有广泛的应用。熔点低的金属称为易熔金属（如 Sn、Pb 等），可以用来制造熔丝、防火安全阀等零件。

3. 热膨胀性

材料的热膨胀性通常用线膨胀系数表征。陶瓷的线膨胀系数最低，金属次之，高分子材料最高。常用金属的线膨胀系数见表 1-1。对精密仪器或机器零件，线膨胀系数是一个非常重要的性能指标。在异种金属焊接中，常因材料的热膨胀性相差过大而使焊件变形或破坏。

4. 磁性

材料能导磁的性能称为磁性。磁性材料可分为软磁性材料和硬磁性材料。前者是指容易磁化，导磁性良好，但外磁场去掉后，磁性基本消失（如电工用纯铁、硅钢片等）；后者是指去磁后仍保持磁场，磁性不易消失的磁性材料（如淬火的钴钢、稀土钴等）。许多金属（如 Fe、Ni、Co 等）均具有较高的磁性。但也有不少金属（如 Al、Cu、Pb 等）是无磁性的。非金属材料一般无磁性。

5. 导热性

材料的导热性用热导率（也称为导热系数）用 λ 来表征。材料的热导率越大，导热性越好。一般来说，金属越纯，其导热能力越强。常用金属的热导率用表 1-1。金属及合金的热导率远高于非金属材料。

导热性好的材料其散热性也好,可用来制造热交换器等传热设备的零、部件。而导热性差的材料如高合金钢,在锻造或热处理时,加热和冷却速度过快会引起零件表面与内部大的温差,产生不同的膨胀,形成过大的热应力,引起材料发生变形或开裂。

6. 导电性

材料的导电性一般用电阻率来表征。通常金属的电阻率随着温度升高而增加,非金属材料则与此相反。金属一般具有良好的导电性。导电性与导热性相似,是随合金成分的复杂化而降低的,因而纯金属的导电性总比合金要好。常用金属的电阻率见表 1-1。高分子材料多为绝缘体,但有的高分子复合材料也有良好的导电性。陶瓷材料虽然也是良好的绝缘体,但某些特殊成分的陶瓷却是有一定导电性的半导体。

二、材料的化学性能

化学性能是指材料在室温或高温时抵抗各种介质化学侵蚀的能力,如耐酸性、耐碱性、抗氧化性等。对于在腐蚀性介质或高温下使用的零件,比在大气和常温下腐蚀更强烈,所以在设计这一类零件时应特别考虑材料的化学性能,一般应采用化学稳定性良好的合金材料,如火电、核电设备可采用耐热钢;医疗仪器、化工设备可应用不锈钢。

通常将材料因化学侵蚀而损坏的现象称为腐蚀,非金属材料耐蚀性远高于金属材料。金属的腐蚀既容易造成一些隐蔽性和突发性的严重事故,也损失了大量的金属材料。据有关资料介绍,全世界每年由于腐蚀而报废的材料约相当于全年金属产量的 $1/4 \sim 1/3$,所以对材料耐蚀性的研究也越来越得到重视。

三、材料的工艺性能

工艺性能是指材料在冷热成形加工时的难易程度,是其物理性能、化学性能和力学性能在加工过程的综合反映。它是决定材料能否进行加工或如何进行加工的重要因素。工艺性能按加工方法的不同可分为铸造性能、塑性加工性能、焊接性能、热处理性能及切削加工性能等。材料工艺性能的好坏,会直接影响制造零件的工艺方法、质量及其制造成本。

(1) 铸造性能 指金属熔化后,注入铸型制成铸件的难易程度;它包括金属液体的流动性和收缩性。

(2) 塑性加工性能 指金属材料在塑性加工过程中承受压力加工而具有的塑性变形能力。

(3) 焊接性能 指材料是否易于焊接在一起并保证焊缝质量的性能。

(4) 切削加工性能 表示对材料进行切削的难易程度,可用切削抗力的大小、加工表面质量、排屑的难易程度、切削刀具的寿命等指标来衡量。

(5) 热处理工艺性能 指通过材料的加热、冷却产生相变使材料强化的能力,指标有淬硬性、淬透性、淬火变形与淬裂、表面氧化与脱碳、过热与过烧、耐回火性与脆性等。

在设计零件和选择工艺方法时,都要考虑材料的工艺性能。例如低碳钢的焊接性能和塑性加工性能优良;高碳钢的焊接和切削加工性能都不好;铸铁的铸造性能和切削加工性能优良,塑性加工性能和焊接性能差,所以铸铁大量使用铸件,而不进行焊接和塑性成形。

复习思考题

1. 说明下列力学性能指标的名称、意义和单位: R_m 、 R_e 、 R_p 、 A 、 Z 、 a_k 、HBW、HRC、HV。
2. 绘出低碳钢退火 σ - ϵ 曲线,指出曲线上各点的含义及试样的变化情况。

3. 说明布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度的测定方法、各自的优缺点和适用场合。
4. 甲、乙、丙三种材料的硬度分别为 600HBW、800HV 和 50HRC，试比较其硬度的高低。
5. 疲劳破坏是如何形成的？提高零件疲劳极限的方法有哪些？
6. 何为冲击韧性？说明冲击韧性的符号和单位。
7. 金属材料主要具有哪些物理性能、化学性能和工艺性能？
8. 设计刚度好的零件应用何种指标选材？采用何种材料为宜？
9. 试分析下列几种说法是否正确？为什么？
 - 1) 材料的 E 值越大，塑性越差。
 - 2) 脆性材料拉伸时不产生缩颈现象。
 - 3) 布氏硬度适合于测试成品材料的硬度，维氏硬度可测试整体材料的硬度。
 - 4) 弹塑性材料零件可用屈服强度作为设计指标，脆性材料应用抗拉强度作为设计指标。