

浙江省高等教育重点教材

机械制造基础

林江 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



浙江省高等教育重点教材

机械制造基础

主 编 林 江
副主编 楼建勇 李建平
主 审 王家平



机械工业出版社

本书是根据教育部工程材料与机械制造基础课程指导小组的教改精神和浙江省高等教育重点教材建设规划精神,以面向 21 世纪为指导思想编写的浙江省高等教育重点教材。

本书共 10 章。第 1 章工程材料基础,第 2 章铸造成形,第 3 章塑性成形,第 4 章焊接,第 5 章粉末冶金,第 6 章非金属材料的成形,第 7 章切削加工成形,第 8 章特种加工,第 9 章其他先进制造技术,第 10 章加工方法选择。全书比较系统地介绍了机械制造生产过程所涉及的主要工艺方法,同时也对有关制造的新工艺、新技术及其发展趋势作了介绍。

为了增加教材的适应性和衔接性,特设工程材料基础一章,可视各校“工程材料”课程的设置、先修情况选用。教材编写考虑了多媒体教学手段的应用,配有多媒体教学软件。

本书为高等工科院校机械工程类专业的专业基础课程教材,可供高等工科院校机械工程类、近机类专业及其他工程类专业使用,也可供高等师范学院、高等职业技术学院、高等工业专科学校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

机械制造基础/林江主编. —北京:机械工业出版社, 2004.6
浙江省高等教育重点教材
ISBN 7-111-14509-7

I. 机… II. 林… III. 机械制造工艺-高等学校-教材
IV. TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 047384 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: 张斌如 版式设计: 霍永明
责任校对: 申春香 封面设计: 解辰 责任印制: 李妍
北京蓝海印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2004 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆· 17.25 印张· 421 千字
定价: 25.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646
封面无防伪标均为盗版

前 言

《机械制造基础》一书是根据教育部工程材料与机械制造基础课程指导小组的教改精神和浙江省高等教育重点教材建设规划精神，以面向 21 世纪为指导思想编写的浙江省高等教育重点教材。

《机械制造基础》是围绕适应教育部调整合并高校专业设置后提出的改革教学内容、课程体系，以加强学生素质及能力培养的要求而编写的。以培养学生工程背景、提高适应能力为目标，按照“基础内容扎实，新型工艺拓宽；在注重引入新知识的同时，落脚于普适性”的原则编写，以点带面。具有普适性的内容力求系统，增加知识面的新成果力求面宽，以展现机械制造的系统性、先进性。各章基本以基础理论、工艺方法、工艺设计、结构工艺性、新发展为主线展开。全书比较系统地介绍了机械制造生产过程所涉及的主要工艺方法，同时也对有关制造的新工艺、新技术及其发展趋势作了介绍。本书主要为高等工科院校机械工程类专业编写。在编写过程中，对内容进行了精选，为使教材内容适应教学改革后宽口径、少学时的新形势，在篇幅上进行了压缩，在形式上进行了改变。传统机械类的《机械制造基础》教材分为上下两册，上册《热加工工艺基础》，下册《机械加工工艺基础》，本书改为全一册，以符合当前的教学实际。为了增加教材的适应性和衔接性，设工程材料基础一章，可视各校“工程材料”课程的设置、先修情况在教学中选用。

《机械制造基础》由浙江科技学院林江任主编，浙江工业大学楼建勇、浙江大学李建平任副主编。由浙江大学王家平教授主审。编写人员及分工如下：林江（第 1 章 1.1.3 节、第 2 章），绍兴文理学院蒋伟江（第 1 章），李建平（第 3 章），楼建勇（第 4 章），浙江金华职业技术学院金向平（第 5 章），浙江工程学院郭绍义（第 6 章），宁波大学李国平、林庆兰（第 7 章 7.2 节、7.4 节），宁波高等专科学校陈濂清（第 7 章 7.1 节、7.3 节），浙江大学宁波理工学院陈俊龙（第 8 章），浙江科技学院赵东福（第 9 章），浙江金华职业技术学院杜巧莲（第 10 章）。

《机械制造基础》为高等工科院校机械工程类专业的工艺性专业基础课程教材，可供高等工科院校机械工程类、近机类专业及其他工程类专业使用，也可供高等师范院校、职业技术学院、高等工业专科学校及其他大专院校师生以及相关工程技术人员使用。

衷心感谢在本书的编写和出版过程中给予支持和帮助的众多同行。

限于编者水平，对于书中不妥和错误之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言	
第 1 章 工程材料基础	1
1.1 工程材料的性能结构	1
1.1.1 金属材料的性能	1
1.1.2 非金属材料的性能	8
1.1.3 常用工程材料实例——铁碳合金	9
1.2 常用工程材料	11
1.2.1 常用工程材料分类	11
1.2.2 常用金属材料	12
1.2.3 钢的热处理	20
第 2 章 铸造成形	25
2.1 液态成形理论基础	25
2.1.1 金属的凝固	25
2.1.2 金属与合金的铸造性能	27
2.1.3 铸造性能对铸件质量的影响	31
2.2 砂型铸造方法	35
2.2.1 手工造型	35
2.2.2 机器造型	35
2.2.3 造型生产线简介	38
2.3 特种铸造方法	39
2.3.1 熔模铸造	39
2.3.2 金属型铸造	40
2.3.3 压力铸造	41
2.3.4 低压铸造	42
2.3.5 离心铸造	43
2.3.6 挤压铸造	43
2.3.7 实型铸造	45
2.4 铸造工艺设计	45
2.4.1 铸造工艺设计的内容	45
2.4.2 铸造工艺实例	49
2.5 铸件结构工艺性	50
2.5.1 铸造合金性能的影响	50
2.5.2 铸造工艺的影响	52
2.5.3 铸造方法的影响	53
2.6 铸造成形新发展	54
2.6.1 凝固理论推动的铸造新发展	55
2.6.2 造型技术的新发展	56
2.6.3 计算机技术推动铸造的新发展	57
第 3 章 塑性成形	59
3.1 塑性成形理论基础	60
3.1.1 塑性成形的实质	60
3.1.2 冷变形强化与再结晶	63
3.1.3 锻造比与锻造流线	64
3.1.4 塑性成形基本规律	66
3.1.5 金属的锻造性能	66
3.2 塑性成形方法	68
3.2.1 锻造	68
3.2.2 板料冲压	73
3.2.3 其他塑性加工方法	80
3.3 塑性成形工艺设计	83
3.3.1 自由锻工艺规程的制订	83
3.3.2 自由锻工艺规程实例	84
3.3.3 模锻工艺规程的制订	84
3.4 塑性加工方法的结构工艺性	88
3.4.1 自由锻件的结构工艺性	88
3.4.2 模锻件的结构工艺性	90
3.4.3 板料冲压件的结构工艺性	90
3.5 塑性成形新发展	92
第 4 章 焊接	94
4.1 焊接成形基础	95
4.1.1 熔焊的冶金过程	95
4.1.2 金属的焊接性能	99
4.1.3 焊接应力和变形	100
4.2 焊接方法	102
4.2.1 熔焊	103
4.2.2 压焊	111

4.2.3 钎焊	115	6.2 工业陶瓷的成形	159
4.3 焊接结构工艺设计	115	6.2.1 工业陶瓷成形基础	159
4.3.1 焊接材料	116	6.2.2 陶瓷制品的生产过程	160
4.3.2 焊件材料	118	6.2.3 陶瓷成形方法	161
4.3.3 焊接接头工艺	121	6.3 复合材料成形	165
4.3.4 焊接方法的选择	124	6.3.1 复合材料成形特点	165
4.3.5 焊接参数的选择	125	6.3.2 复合材料成形技术	166
4.3.6 焊接实例	126	第7章 切削加工成形	174
4.4 焊接技术新发展	127	7.1 切削加工基础知识	174
第5章 粉末冶金成形	130	7.1.1 切削运动与切削要素	174
5.1 粉末冶金基础	130	7.1.2 切削刀具	177
5.1.1 粉末性能和粉末制备	131	7.1.3 切削过程	182
5.1.2 粉末的成形	133	7.2 常规切削加工方法	188
5.1.3 烧结	135	7.2.1 外圆面的加工	189
5.1.4 后处理	136	7.2.2 孔的加工	191
5.2 粉末冶金模具	136	7.2.3 平面的加工	196
5.2.1 单向压模	137	7.2.4 成形表面的加工	199
5.2.2 双向压模	137	7.2.5 螺纹的加工	202
5.2.3 摩擦芯杆压模	137	7.2.6 齿轮齿形的加工	205
5.2.4 组合压模	138	7.3 切削加工工艺基础	209
5.3 常用粉末冶金材料简介	138	7.3.1 生产过程和工艺过程	209
5.3.1 硬质合金	138	7.3.2 零件机械加工工艺规 程的制订	213
5.3.2 含油轴承材料	140	7.3.3 典型零件的工艺过程实例	220
5.3.3 铁基结构材料	140	7.4 切削加工件的结构工艺性	226
5.4 粉末冶金制品结构工艺性	141	7.4.1 结构工艺性的设计原则	226
5.4.1 从压制困难性及简化 模具考虑	141	7.4.2 改善结构工艺性示例	227
5.4.2 从脱模困难性考虑	141	第8章 特种加工	233
5.4.3 从粉末均匀填充及压 坯密度考虑	142	8.1 特种加工概述	233
5.4.4 从压模强度及寿命考虑	142	8.1.1 特种加工的产生和发展	233
5.5 粉末冶金技术的新发展	143	8.1.2 特种加工对机械制造工艺 技术的影响	234
5.5.1 粉末制备	143	8.2 特种加工方法	234
5.5.2 成形	144	8.2.1 电火花加工	235
5.5.3 烧结	145	8.2.2 电火花线切割加工	236
第6章 非金属材料的成形	147	8.2.3 电解加工	237
6.1 高分子材料的成形	147	8.2.4 超声加工	238
6.1.1 工程塑料的成形	147	8.2.5 激光加工	240
6.1.2 橡胶材料的成形	156	8.2.6 电子束和离子束加工	241

第 9 章 其他先进制造技术	244	第 10 章 加工方法选择	257
9.1 引言	244	10.1 机械零件毛坯选择原则	257
9.2 超高速加工技术	244	10.1.1 保证使用要求	257
9.2.1 高速主轴单元	245	10.1.2 满足经济性	258
9.2.2 高速进给系统	245	10.1.3 考虑实际生产条件	258
9.2.3 高速加工的优点和应用领域	246	10.2 机械加工方法选择原则	258
9.3 超精密加工技术	246	10.2.1 根据表面的尺寸精度和 表面粗糙度 R_a 值选择	259
9.3.1 概述	246	10.2.2 根据表面所在零件的结构形状 和尺寸大小选择	259
9.3.2 超精密加工主要方法	247	10.2.3 根据零件热处理状况选择	260
9.3.3 超精密加工机床	248	10.2.4 根据零件材料的性能选择	261
9.3.4 超精密加工的测控技术	248	10.2.5 根据零件的批量选择	261
9.3.5 超精密加工的环境控制	248	10.3 各类零件的结构特点及 其制造方法比较	261
9.4 快速成形技术	249	10.3.1 轴杆类零件	261
9.4.1 概述	249	10.3.2 盘套类零件	262
9.4.2 立体印刷	250	10.3.3 箱体机架类零件	263
9.4.3 分层实体制造 (LOM)	250	参考文献	264
9.4.4 选择性激光烧结 (SLS)	251	教师信息反馈表	266
9.4.5 熔融沉积成形 (FDM)	252		
9.4.6 快速成形技术的应用	252		
9.5 先进制造工艺发展趋势	254		

第 1 章

工程材料基础

材料是人类用来制作各种产品的物质。人类生活与生产都离不开材料，它的品种、数量和质量是衡量一个国家现代化程度的重要指标。现代材料种类繁多，据粗略统计，目前世界上的材料总和已达 50 余万种。材料有许多不同的分类方法，机械工程中使用的材料常按化学组成为金属材料、高分子材料、陶瓷材料三大类。

目前机械工业生产中应用最广的仍是金属材料，在各种机器设备所用材料中，金属材料约占 90% 以上。这是由于金属材料不仅来源丰富，而且它还具有优良的力学性能、物理性能、化学性能和易于用各种加工方法成形的工艺性能。优良的使用性能可满足生产和生活上的各种需要。优良的工艺性能则可使金属材料易于采用各种加工方法，制成各种形状、尺寸的零件和工具。金属材料还可通过不同成分配制、不同加工和热处理来改变其组织和性能，从而进一步扩大使用范围。

虽然高分子材料和陶瓷材料的某些力学性能不如金属材料，但它们具有金属材料不具备的某些特性，如耐腐蚀、电绝缘、隔音、减振、耐高温（陶瓷材料）、质轻、原料来源丰富、价廉以及成形加工容易等优点，因而近年来发展较快。

1.1 工程材料的性能结构

1.1.1 金属材料的性能

由于金属材料的品种很多，并具有各种不同的性能，能满足各种机械的使用和加工要求，故在生产上得到广泛应用。

1.1.1.1 金属材料的力学性能

金属材料的力学性能是指金属在不同环境因素（温度、介质）下，承受外加载荷作用时所表现的行为，这种行为通常表现为变形和断裂。因此金属材料的力学性能可以理解为金属抵抗外加载荷引起的变形和断裂的能力。常用的力学性能有：强度、塑性、刚度、弹性、硬度、冲击韧度、断裂韧度和疲劳等。

1. 强度

金属材料在外力作用下抵抗变形和破坏的能力称为强度。根据受力形式的不同，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。一般以测定材料的抗拉强度为主。

抗拉强度圆形低碳钢拉伸试样如图 1-1 所示。试验结果所测得的载荷 F 和伸长量 Δl 之间的关系曲线，称为低碳钢的拉力—伸长曲线，即拉伸图，见图 1-2。

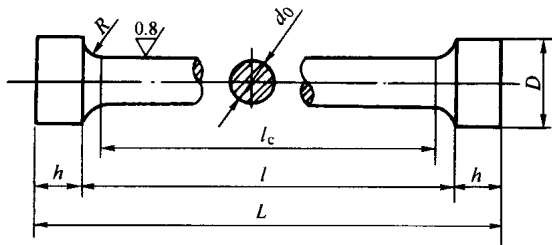


图 1-1 圆形拉伸试样

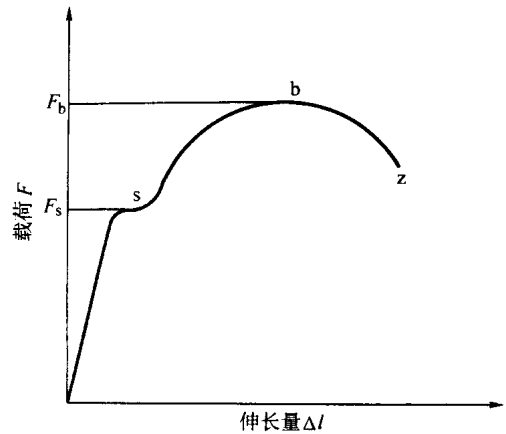


图 1-2 低碳钢的拉伸图

当材料受外加载荷作用而未引起断裂时，其内部产生与外加载荷相平衡的内力。单位面积上的内力，称为应力。材料强度的高低通常是以应力 σ （单位为 MPa）表示的。即

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

式中 F ——试验时的外加载荷，单位为 N；

A ——试样的横截面积，单位为 mm^2 。

应力单位 MPa（兆帕）和 Pa（帕）为国际单位制单位，目前我国材料手册有的还是应用工程单位制，即 kgf/mm^2 （公斤力/毫米²），两者相互关系为 $1\text{kgf}/\text{mm}^2 \approx 10\text{MPa} = 10^7\text{Pa}$ 。

(1) 弹性极限 弹性极限是材料产生完全弹性变形时所能承受的最大应力值。即

$$\sigma_e = \frac{F_e}{A_0}$$

式中 F_e ——试样发生完全弹性变形的最大载荷；

A_0 ——试样的原始横截面积。

由于弹性极限是表示金属材料在不产生塑性变形时所能承受的最大应力值，故是工作中不允许有微量塑性变形零件的设计与选材的重要依据。

(2) 抗拉强度 抗拉强度是材料在断裂前所能承受的最大应力，用符号 σ_b （单位为 MPa）表示：

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0}$$

式中 F_b ——试样被拉断前所承受的最大拉力，单位为 N；

A_0 ——试样原来的横截面积，单位为 mm^2 。

(3) 屈服点 试样刚开始产生塑性变形时的最小应力，或试样在拉伸过程中外力不增加仍能继续伸长时的应力，叫屈服点，用符号 σ_s （单位为 MPa）表示：

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0}$$

F_s 为试样屈服时所承受的拉力。由于许多金属材料没有明显的屈服现象，屈服点 s 的测定比较困难，因此工程上规定试样产生 0.2% 残余塑性变形时的应力作为材料的条件屈服点，用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

σ_s (或 $\sigma_{0.2}$) 和 σ_b 都是设计和选材时的主要依据 (对生铁等脆性材料，因无塑性变形，故以测得 σ_b 为主)。金属材料的强度，不仅与材料本身内在因素 (如化学成分、晶粒大小等) 有关，还会受外界因素 (如温度、加载速度、热处理状态等) 的影响而有所变化，见表 1-1 和表 1-2。

表 1-1 退火状态下材料成分对 σ_s 、 σ_b 的影响

含碳量 w_C (%)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.45	0.5
σ_s /MPa	180	220	260	300	320	340
σ_b /MPa	340	420	500	580	610	640

要控制和调整材料的强度，可通过细化晶粒、合金化或热处理方法来达到，以最大限度地发挥材料的内部潜力，延长其使用寿命。

表 1-2 热处理状态对 40Cr 钢 σ_s 、 σ_b 的影响

热处理状态	退火	正火	调质
σ_s /MPa	340	440	760
σ_b /MPa	630	710	1000

2. 塑性

塑性是指金属材料在静载荷作用下，产生塑性变形而不破坏的能力。伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 是表示材料塑性好坏的指标。

(1) 伸长率 (延伸率) 伸长率是指试样拉断后标距增长量与原始标距长度之百分比，即

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \times 100\%$$

式中 l_k —— 试样断裂后的标距长度；

l_0 —— 试样原始标距长度。

材料的伸长率是随标距长度的增加而减小的，所以同一材料的短试样 ($l_0/d_0 = 5$ 的试样) 要比长试样 ($l_0/d_0 = 10$ 的试样) 所测得的伸长率大 20% 左右，对局部集中变形特别明显的材料，甚至可以大到 50%。因此，用长、短两种试样求得的伸长率应分别以 δ_{10} (或 δ) 和 δ_5 表明。

(2) 断面收缩率 断面收缩率是指试样拉断处横截面积的缩减量与原始横截面积之百分比，即

$$\psi = \frac{A_0 - A_k}{A_0} \times 100\%$$

式中 A_k —— 试样断裂处的最小横截面积；

A_0 —— 试样的原始横截面积。

虽然塑性指标通常不直接用于工程设计计算,但任何零件都要求材料具有一定塑性。因为零件使用过程中,偶然过载时,由于能发生一定的塑性变形而不致于突然脆断。同时,塑性变形还有缓和应力集中、削减应力峰的作用,在一定程度上保证了零件的工作安全。此外,各种成形加工(如锻压、轧制、冷冲压等)都要求材料具有一定的塑性。

3. 硬度

硬度是指金属材料抵抗其他更硬物体压入其表面的能力,也可以看作是材料对局部塑性变形的抗力。工程上常用的硬度指标有布氏硬度(HBS或HBW)、洛氏硬度(HRC)、维氏硬度(HV)。

(1) 布氏硬度 将直径为 D 的淬火钢球或硬质合金球,在外力 F 的作用下压入被测金属表面,停留一定时间后将外力去除,然后根据压痕直径 d 的大小,见图 1-3,可通过查表(表上已有硬度值的计算结果)就能确定材料的硬度值。硬度值的单位习惯上不加标注。根据 GB/T 231-2002 规定,布氏硬度符号分别用 HBS 或 HBW 表示,符号前为硬度值,符号后为试验条件。例如:120HBS10/1000/30,表示用直径 10mm 钢球在 9.807kN (1000kgf) 试验力作用下保持 30s 测得的布氏硬度值为 120。500HBW5/750 表示用直径 5mm 硬质合金球在 7.355kN (750kgf) 试验力作用下保持 10~15s (可以不标注) 测得的布氏硬度值为 500。

这种方法测定的硬度值准确。HBS 主要用于测定硬度不高的金属材料 ($HBS < 450$),如灰铸铁,有色金属,一般经退火、正火和调质处理的钢材。HBW 适用于测定硬度较高的金属材料 ($HBW < 650$)。

(2) 洛氏硬度 将顶角为 120° 的金刚石圆锥(压头),施加 1.471kN (150kgf) 的外力压入工件表面,卸载后根据压痕的深度 $h = h_1 - h_0$ (其中 h_1 为总载荷 1.471kN (150kgf) 作用下压头的压入深度, h_0 为预载荷 10kgf 作用下压头的压入深度),便可在硬度计刻度盘上 ($HRC = 100 - \frac{h}{0.002}$) 直接读出硬度值,见图 1-4。其硬度符号为 HRC,符号前为硬度值,常用硬度值范围为 20~67HRC。它主要适用于淬火钢等较硬材料的测定。与布氏硬度比较,此法操作简单迅速,可直接读数,但由于压痕小,测量误差稍大,通常可在零件的不同部位测量数次,取其平均值。

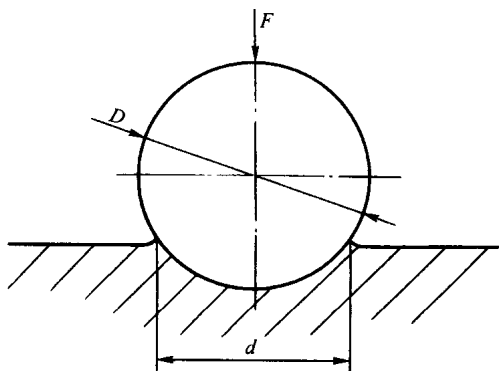


图 1-3 布氏硬度实验原理图

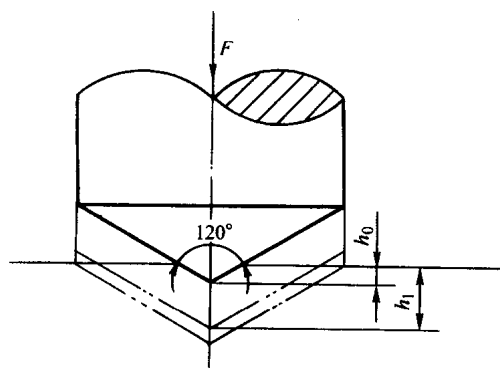


图 1-4 洛氏硬度实验原理图

若需测量工件高硬度薄层(如渗碳层、氮化层),则改用外加载荷为 0.588kN (60kgf),其硬度符号为 HBA,常用硬度值范围为 70~85HBA;若用于测量硬度较低的材料,可改用外加载荷为 0.981kN (100kgf),压头为 $\phi 1.588$ mm 钢球,其硬度符号为 HRB,常用硬度

值范围为 25~100HRB。

洛氏硬度和布氏硬度在数值上有以下近似关系： $HRC \approx 10HBS$ 。

(3) 维氏硬度 洛氏硬度试验虽可采用不同的标尺来测定由极软到极硬金属材料的硬度，但不同标尺的硬度值间没有简单的换算关系，使用上很不方便。为了能在同一种硬度标尺上，测定由极软到极硬金属材料的硬度值，特制定了维氏硬度试验法。

维氏硬度的试验原理基本上和布氏硬度试验相同。它是用一个相对面间夹角为 136° 的金刚石正四棱锥体压头，在规定载荷 F 作用下压入被测试金属表面，保持一定时间后卸除载荷。然后再测量压痕投影的两对角线的平均长度 d ，进而计算出压痕的表面积 A ，最后求出压痕表面积上平均压力 (F/A)，以此作为被测试金属的硬度值，称为维氏硬度，用符号 HV 表示。

与布氏硬度值一样，习惯上也只写出其硬度数值而不标出单位。在硬度符号 HV 之前的数值为硬度值，HV 后面的数值依次表示载荷和载荷保持时间（保持时间为 10~15s 时不标注）。例如，640HV30 表示在 0.294kN (30kgf) 载荷作用下，保持 10~15s 测得的维氏硬度值为 640。

维氏硬度试验法的优点是试验时所加载荷小，压入深度浅，故适用于测试零件表面淬硬层及化学热处理的表面层。同时维氏硬度是一个连续一致的标尺，试验时载荷可任意选择，而不影响其硬度值的大小，因此可测定由极软到极硬的各种金属材料的硬度。维氏硬度试验法的缺点是其硬度值的测定较麻烦，工作效率不如测洛氏硬度高。

4. 疲劳强度

前面介绍的均属静力指标。可是，在实际中，许多零件，如拖拉机上的曲轴、齿轮、弹簧等是在交变载荷作用下运转的。这些承受交变载荷的零件，在服役过程中，常常在低于屈服强度的应力下，发生突然失效（断裂），而无明显的塑性变形预兆，这种现象称为疲劳。

机械零件在服役中所承受的交变应力 σ 也叫做周期性应力。它分为对称和不对称两种。图 1-5 表示是一种对称周期性应力的变化曲线。

零件在交变应力作用下，要经一定的周期次数才会产生疲劳断裂。实验测定金属材料所承受的交变应力与断裂前的应力周期次数有如下关系，如图 1-6 所示。

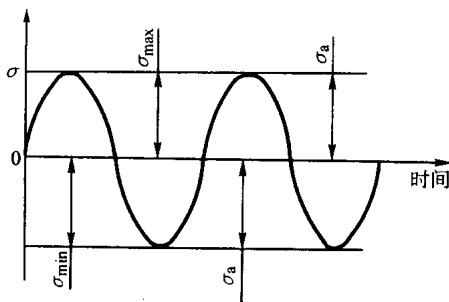


图 1-5 对称周期性应力

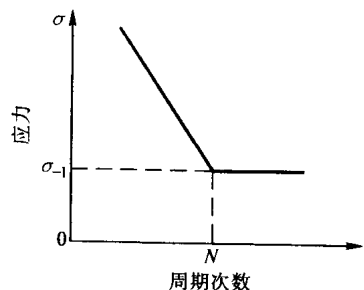


图 1-6 疲劳曲线 ($\sigma-N$ 曲线)

由图可知，当 σ 低到一定值时，曲线与横坐标平行，表示材料可经无限次应力循环而不失效。这一应力称为疲劳极限或疲劳强度，用 σ_{-1} 表示光滑试样的对称弯曲疲劳极限，用 σ_{-1k} 表示缺口试样的对称弯曲疲劳极限。

工程上指的疲劳强度，是指材料在一定的应力循环次数下不发生断裂的最大应力。一般

规定钢铁材料的循环次数 $N = 10^7$ ，非铁金属 $N = 10^8$ 。

发生疲劳断裂的原因，目前认为是由于材料内部的缺陷、微裂纹以及材料在加工过程中所形成的磨痕、刀痕所致。另外，在服役中，零件局部应力集中也会导致裂纹的产生。上述这些裂纹，在交变应力作用下会逐步扩展，最后导致零件有效截面减小而突然断裂。

为了提高机械零件的疲劳强度，一方面应在设计零件时改善零件的结构形状，避免应力集中；另一方面可以改善零件的表面粗糙度和采用表面强化的方法。热处理工艺中的表面淬火、化学热处理等方法以及喷丸处理等技术，已广泛用来提高零件的疲劳强度。

5. 冲击韧度

以很大速度作用于工件上的载荷称为冲击载荷。许多零件和工具在工作过程中，往往受到冲击载荷的作用，如冲床的冲头、锻锤的锤杆、内燃机的活塞销与连杆、风动工具等。由于冲击载荷的加载速度高，作用时间短，使金属在受冲击时，应力分布与变形很不均匀。故对承受冲击载荷的零件来说，仅具有足够的静载荷强度指标是不够的，还必须具有足够抵抗冲击载荷的能力。

金属材料在冲击载荷作用下，抵抗破坏的能力叫做冲击韧度，为了评定金属材料的冲击韧度，需进行一次冲击试验。一次冲击试验是一种动载荷试验，它包括冲击弯曲、冲击拉伸、冲击扭转等几种试验方法。本节将介绍其中应用最普遍的一次冲击弯曲试验。

一次冲击弯曲试验通常是在摆锤式冲击试验机上进行的。所用试样按 GB/T 229-1994 规定，冲击试验标准试样有夏比 U 形缺口试样和夏比 V 形缺口试样两种，习惯上前者简称为梅氏试样，后者为夏氏试样。两种试样的尺寸及加工要求如图 1-7 及图 1-8 所示。

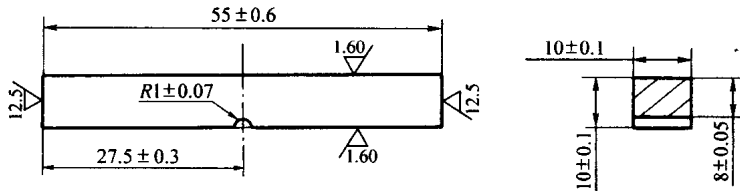


图 1-7 夏比 U 形缺口试样

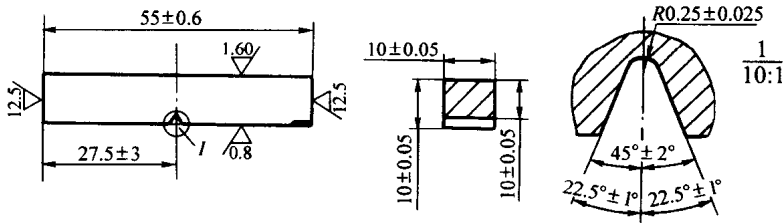


图 1-8 夏比 V 形缺口试样

试验时，将试样放在试验机两支座上，如图 1-9 所示，把质量为 G 的摆锤抬到 H 高度如图 1-10 所示，使摆锤具有位能 GHg (g 为重力加速度)。然后释放摆锤，将试样冲断，并向另一方向升高到 h 高度，这时摆锤具有位能为 Ghg 。故 A_{KU} (A_{KV}) 为摆锤冲断试样失去的位能等于 $GHg - Ghg$ ，这就是试样变形和断裂所消耗的功，称为冲击吸收功。根据试样缺口形状不同，冲击吸收功分别用 A_{KU} 和 A_{KV} 表示，单位为 J (焦耳)。冲击吸收功的值可以从试验机的刻度盘上直接读得。冲击吸收功除以试样缺口底部处横截面积 F ，即获得冲击韧度值，单位为 J/cm^2 (焦耳/厘米²)。

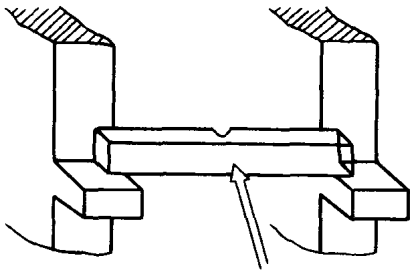


图 1-9 试样安放位置

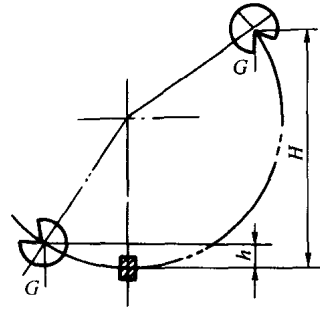


图 1-10 冲击试样原理图

一般把冲击韧度值低的材料称为脆性材料，值高的材料称为韧性材料。脆性材料在断裂前无明显的塑性变形，断口较平整、呈晶状或瓷状，有金属光泽；韧性材料在断裂前有明显的塑性变形，断口呈纤维状，无光泽。

必须指出，冲击韧度值实际上是没有明确物理意义的。从式来看，似乎它是冲断试验时，消耗在断口处单位横截面上的冲击吸收功。事实上，冲击吸收功中大部分不是消耗于断开试样，而是消耗于断开试样前在缺口附近体积内的塑性变形。因此，冲击吸收功 A_{KU} (A_{KV}) 值的大小不是直接取决于缺口处的横截面积，而主要取决于参与变形体积的大小，故冲击韧度值 α_{KU} (α_{KV}) 用 A_{KU} (A_{KV}) 除以 F 来表示，实际上并不合适。还应指出， α_{KU} (α_{KV}) 值相同的几种材料，往往其“韧”“脆”情况并不一定相同。这是因为，冲击吸收功 A_{KU} (A_{KV}) 是由试样的弹性变形功、塑性变形功和撕裂功三部分组成的，而塑性变形功和撕裂功的大小，才能真正代表材料在冲击破坏时的“韧”“脆”程度，故 α_{KU} (α_{KV}) 值不能代表材料真正的韧性。

1.1.1.2 金属材料的物理性能和化学性能

1. 金属材料的物理性能

金属材料的物理性能是指不发生化学反应就能表现出来的一些性能，如密度、熔点、导电性、导热性、磁性和热膨胀性等。由于机器零件的用途不同，对于金属材料的物理性能要求也就不一样。如飞机和汽车上的许多零件和构件，要选用密度比较小的铝、镁合金来制造。又如电动机、电器上的一些零件，常要考虑金属材料的导电性能等。

金属材料的物理性能对于热加工工艺有一定的影响。如铸钢、铸铁和铸造铝合金的熔点各不相同，因此，它们的熔炼工艺有很大的差别。又如高速钢的导热性很差，在锻造时应缓慢加热及适当时间保温，否则会产生裂纹。

2. 金属材料的化学性能

金属材料的化学性能是指发生化学反应时才能表现出来的性能，如金属材料在室温或高温条件下被活泼介质所侵蚀。金属材料的化学性能包括抗氧化性能、耐腐蚀性和化学稳定性等。

在腐蚀介质中或高温条件下工作的零件，比在空气中或室温下的腐蚀更为厉害。在设计这类零件时，应该特别注意这类材料的化学性能。

1.1.1.3 金属材料的工艺性能

金属材料的工艺性能是指金属材料适应加工工艺要求的能力。在设计机械零件和选择其加工方法时，都要考虑金属材料的工艺性能。按工艺方法不同，工艺性能有：铸造性能，锻造性能，焊接性和切削加工性等。如灰铸铁具有优良的铸造性能和切削性能，常用来铸造机

械零件。但是，它的锻造性能差，不能进行锻造，焊接性能也较差。

1.1.2 非金属材料性能

非金属材料的基本性能包括物理性能、力学性能、与水有关和与热有关的性能以及耐久性等。

1.1.2.1 非金属材料的力学性能

非金属材料的力学性能包括强度、刚度、韧性、蠕变性、减摩性等。一般来说，高分子材料的塑性、刚度、韧性都较钢低；但大多具有减摩性等特点。而陶瓷材料由于是离子键或共价键结合，其滑移系数比金属材料小得多，所以大多数陶瓷材料在常温下受外力作用时不产生塑性变形，而是在一定弹性变形后直接发生脆性断裂。此外，陶瓷中又存在气相，故其冲击韧度、断裂韧度和抗拉强度比金属材料低得多。

非金属材料的力学性能主要是强度和变形。其强度和变形的概念与金属材料相同，这里着重介绍不同之处。

1. 强度

非金属材料特别是脆性材料如陶瓷、玻璃等，在相当低的应变值时就发生断裂。所以，陶瓷等材料的应力-应变行为不能用拉伸试验确定，最常用的试验方法是弯曲试验。而高聚合物的应力-应变行为常常是用拉伸试验测定的。高聚合物的品种繁多，其力学性能变化范围也很广泛。

2. 变形

非金属材料的变形除弹性变形、塑性变形和弹性模量的概念与金属材料相同外，主要还需考虑蠕变、松弛等指标。它们对材料的使用影响较大。

材料在恒定载荷的作用下，随着时间的延长，变形不断增大的现象称为蠕变。蠕变的发展与材料本身的性质、载荷的大小、温度、湿度等因素有关。材料的蠕变性能决定材料长期在载荷作用下的工作性能。

总变形不变，塑性变形增大，弹性变形减小，载荷与应力逐渐降低的现象称为松弛。

1.1.2.2 非金属材料的其他性能

非金属材料具有金属材料所无法比拟的一些优点，如重量轻、导热系数低、绝缘性好，又具有耐腐蚀性等优点因而受到广泛应用。

非金属材料的物理性能主要包括密度、孔隙、材料胀缩等，它是衡量材料质量和形态的主要指标。密度、松散密度、孔隙率是非金属材料的基本物理性能，能反映出材料的密实程度，对材料的其他性能影响很大。

1. 松散密度

材料在自然状态下包括孔隙或空隙在内的单位体积的质量叫松散密度。松散密度可用下式表示：

$$\gamma_0 = \frac{m}{V_0}$$

式中 γ_0 ——松散密度，单位为 kg/m^3 ；

m ——材料的质量，单位为 kg ；

V_0 ——材料在自然状态下的体积，单位为 m^3 。

材料的松散密度通常是指在干燥状态下的材料质量。材料在自然状态下，常含有水份，会影响其质量和体积变化，所以对所测定的材料容重，必须注明其含水状态。

2. 密度

材料在绝对密实状态下单位体积的质量叫密度。密度可用下式表示：

$$\rho = \frac{m}{V}$$

式中 ρ ——密度，单位为 kg/m^3 ；

m ——材料本身的质量，单位为 kg ；

V ——材料绝对密实状态下的体积，单位为 m^3 。

3. 孔隙率

用孔隙率作为衡量孔隙的指标。孔隙率是指材料内部空隙体积占材料总体积的百分比，孔隙率用下式计算：

$$P = \frac{V_0 - V}{V_0} \times 100\%$$

式中 P ——孔隙率；

V_0 ——材料在自然状态下的体积，单位为 m^3 ；

V ——材料绝对密实状态下的体积，单位为 m^3 。

4. 材料的胀缩

它是由于大气中温度、湿度的变化或其他介质的作用引起的。材料在使用过程中，其胀缩常受到制品结构的限制，会造成制品开裂和变形。材料的胀缩主要包括湿胀干缩、热胀冷缩和碳化收缩等。碳化收缩指硅酸盐类材料在大气中受二氧化碳的作用而碳化，产生体积收缩。这种收缩会使制品表面产生微裂纹，并随着碳化作用的深入而发展，从而影响制品的功能。

非金属材料在使用过程中都会与水接触，而水对材料性能的影响很大，特别是对强度、耐腐蚀性、耐久性等影响更大。非金属材料与水有关的性能主要有：亲水性、吸水性、耐久性和抗渗性等。

非金属材料与热有关的性能主要有导热性、热容、耐热性、耐燃性、耐火性等。

耐久性是指材料在使用过程中，长期受到载荷的作用及大气和其他介质、环境的影响，能正常工作、不破坏、不失去原有性能的性质。影响耐久性的因素有物理作用、化学作用和生物作用。

1.1.3 常用工程材料实例——铁碳合金

工程材料由于成分不同、温度不同，组织和性能是不同的，状态图给出了合金成分与温度、组织的关系，总结合金的组织、性能随成分变化的一般规律。铁碳合金是现代工业生产中应用最为广泛的工程材料。下面就以铁碳合金为例，简单介绍铁碳合金及其状态图，以了解工程材料成分组织与性能的关系。

1.1.3.1 铁碳合金的基本组织和性能

1. 铁素体 (F)

碳原子溶解到 α 铁中所形成的固溶体称为铁素体，因为 α 铁所处的温度较低，溶碳量

极少 ($w_C < 0.02\%$)，故其性能接近于纯铁，强度、硬度低，塑性、韧性好。

2. 奥氏体 (A)

碳原子溶解到 γ 铁中所形成的固溶体称为奥氏体，因为 γ 铁所处的温度较高，溶解量稍多 ($w_C 0.77\% \sim 2.11\%$)，故其性能是强度、硬度略高于铁素体，却又保持了较好的塑性、韧性。

3. 渗碳体 (Fe_3C)

铁原子与碳原子以 3:1 互相化合所形成的金属化合物称为渗碳体。渗碳体的含碳量 (w_C) 为 6.69%，其硬度很高，而塑性、韧性几乎等于零，脆性极大。渗碳体的金相显微组织的形态有片状、球状和网状，它的形态与分布对钢的性能有很大的影响。

4. 珠光体 (P)

由层片状铁素体与渗碳体所组成的细密机械混合物称为珠光体。珠光体的性能介于铁素体与渗碳体两者之间。

5. 莱氏体 (L_d)

在 $727^\circ C$ 以上，由奥氏体与渗碳体所组成的机械混合物，称为高温莱氏体。在 $727^\circ C$ 以下，该组织转变为由珠光体与渗碳体所组成的机械混合物，称为低温莱氏体。莱氏体组织硬度较高，脆性较大，常出现在白口铸铁中。

1.1.3.2 铁碳合金相图

钢铁的基本组成元素是铁和碳，统称为铁碳合金。含碳量 (w_C) 低于 2.11% 的称为钢，含碳量 (w_C) 高于 2.11% 的称为铸铁。

1. 铁碳合金相图的图形

为了便于研究和分析，对状态图予以简化，图 1-11 为简化后的铁碳合金相图。图中各

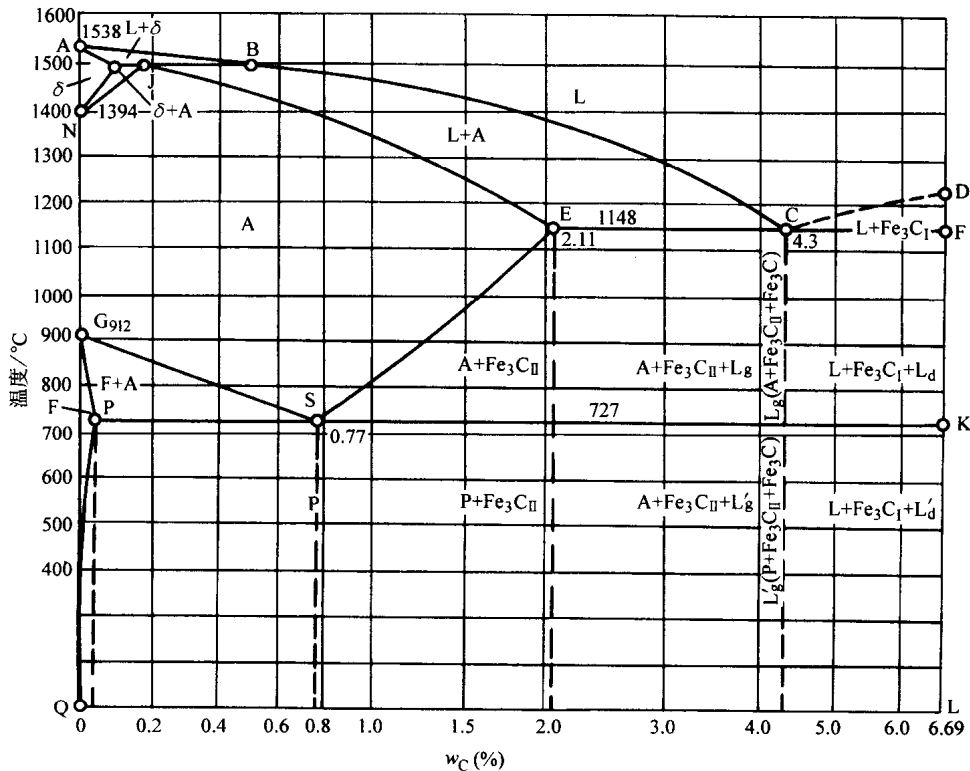


图 1-11 铁碳合金相图