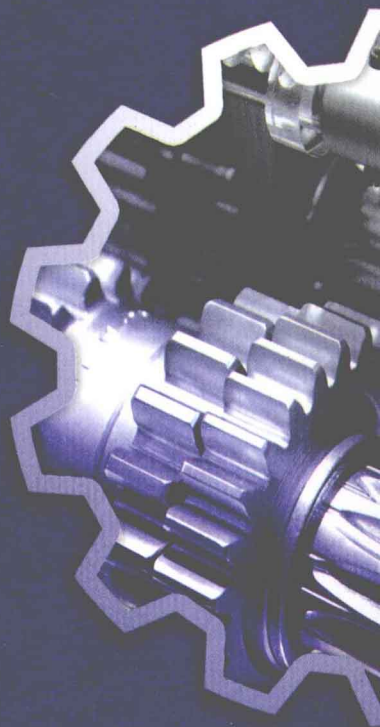


机械制造基础

(第2版)

JIXIE ZHIZAO JICHU

©主编 赵建中



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

机械制造基础

(第 2 版)

主编 赵建中

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本教材是按照高等院校机械类学科专业规范、培养方案和课程教学大纲的要求,组织具有多年教学和实践经验的教学一线骨干教师编写的。主要内容有:工程材料、锻造、铸造、焊接、机械零件毛坯的选择、几何公差、金属切削加工基础、机械零件常用的加工方法、机械加工工艺规程的制定、CAD/CAM 技术基础、特种加工简介等内容。课程总学时为 90 学时。

本次再版,删除了部分理论性太强的内容,对书中错误进行改正,对标准进行更新,并制作了丰富的配套资源。

本书十分注重学生获取知识、分析问题与解决工程技术问题能力的培养,特别注重学生工程素质与创新思维能力的提高。书中大量介绍了当今先进的机械制造技术知识,实例大多源于生产一线,实用性强。

本书可作为高等工科院校、高等农林院校等机械类、近机类各专业的教材和参考书,也可作为机械制造工程技术人员的学习参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

机械制造基础/赵建中主编. —2 版. —北京:北京理工大学出版社,
2013. 2

ISBN 978 - 7 - 5640 - 7430 - 2

I. ①机… II. ①赵… III. ①机械制造-高等学校-教材 IV. ①TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 026598 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / [http:// www. bitpress. com. cn](http://www.bitpress.com.cn)

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京市通州富达印刷厂

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 20.5

字 数 / 474 千字

版 次 / 2013 年 2 月第 2 版 2013 年 2 月第 1 次印刷

责任编辑 / 陆世立

印 数 / 1~1500 册

责任校对 / 杨 露

定 价 / 49.80 元

责任印制 / 吴皓云

图书出现印装质量问题,本社负责调换

本书是按照高等院校机械学科专业规范、培养方案和课程教学大纲的要求,由长期在教学第一线从事教学工作、富有教学和实践经验的教师编写。课程总学时为 90 学时。

《机械制造基础》课程是高等院校进行产品的机械制造工艺教育的一门重要的技术基础课程,着重阐述常用工程材料及其主要加工方法的基本原理和工艺特点,全面讲述了机械零件常用材料的选用、毛坯的选择、机械零件的加工方法和工艺路线的拟订及机械制造的新技术和新工艺。该课程具有基础性、实用性、知识性、实践性与创新性等特点,是培养现代复合型人才的重要基础课程之一。

本书注重学生获取知识、分析问题与解决工程技术问题能力的培养,并且着力注重学生工程素质与创新思维能力的培养。在内容的选择和编写上,本教材有如下特点:

(1) 本书的编写力求适应机械类及近机类专业的应用实际,力求处理好常规工艺与现代新技术的关系。

(2) 内容的选择和安排上既系统丰富又重点突出,每个章节既相互联系,又相对独立,以便适应不同专业、不同学习背景、不同学时、不同层次的学生选用。

(3) 介绍现代机械制造技术的概念,反映了机械制造新工艺和新成就,开阔学生视野,培养学生的创新素质和能力。

(4) 在内容的选择和安排上考虑到了机械类各专业的不同需要,具有一定的通用性,增加了现代制造技术的新知识,以适应生产发展的需要。

(5) 为了加深学生对课程内容的理解,掌握和巩固所学的基本知识,在分析问题和独立解决问题的能力方面得到应有的训练,每章后附有习题,供学生学完有关内容后及时进行消化和复习。

(6) 本书中大量采用来自生产一线的实例,使教学内容更加贴合生产实际,注重学生实际动手能力的培养。

(7) 本书对现代先进制造技术方面的知识作了详细的介绍,通过这部分内容的学习,学生可以了解到现代最先进的设计制造技术。

本书从 2008 年出版以来已经有四年了,在这四年的使用过程中,老师们对书中内容肯定的同时,也指出了存在的不足,这次再版,作者充分采纳老师们的建议,对部分理论性太强的内容进行了删减,对书中所存在的错误进行了更正,对标准进行了更新。本次修订不仅是对本书内容的修订,还制作了完整的电子教案和全过程的 PPT,同时收集了大量的机械加工方面的动画和录像构成了资源库,希望这些材料可以减轻老师们备课的工作量。

本书可作为高等工科院校、高等农林院校等机械类、近机类各专业的教材和参考书,也可供机械制造工程技术人员学习参考。由于作者水平有限,书中难免有不足之处,敬请老师们批评指正。

编者

目 录

第 1 章 工程材料	1
1.1 金属材料的力学性能	1
1.2 铁碳合金	8
1.3 钢的热处理	11
1.4 常用金属材料	18
1.5 其他材料简介	23
思考与练习	29
第 2 章 铸造	30
2.1 概述	30
2.2 铸造方法	34
2.3 铸造工艺设计与铸件结构工艺性	45
思考与练习	50
第 3 章 锻造	52
3.1 金属塑性成形	52
3.2 自由锻	55
3.3 模锻	62
3.4 板料冲压	71
思考与练习	81
第 4 章 焊接加工	83
4.1 概述	83
4.2 手工电弧焊	84
4.3 其他焊接方法	91
4.4 常用金属材料的焊接	97
4.5 焊接结构工艺性	100
思考与练习	103
第 5 章 机械零件毛坯的选择	104
5.1 毛坯的分类及选择原则	104
5.2 几种典型零件毛坯的选择	107

思考与练习	113
第 6 章 几何公差	114
6.1 互换性与公差的概念	114
6.2 公差与配合基础	116
6.3 公差与配合的标准	123
6.4 形位公差	138
6.5 形位公差的选用	153
6.6 表面粗糙度	157
思考与练习	163
第 7 章 金属切削加工基础	165
7.1 切削运动	165
7.2 金属切削刀具的几何角度	168
7.3 刀具材料	172
7.4 金属切削过程中的变形	176
7.5 切削力	180
7.6 切削热和切削温度	184
7.7 刀具磨损和刀具寿命	186
7.8 加工质量	190
7.9 材料的切削加工性	192
7.10 刀具几何参数和切削用量的合理选择	194
思考与练习	199
第 8 章 机械零件常用的加工方法	201
8.1 金属切削机床基础	201
8.2 外圆表面加工	213
8.3 内圆表面加工方法	223
8.4 平面加工	232
8.5 齿轮加工	243
思考与练习	250
第 9 章 机械加工工艺规程的制定	252
9.1 机械加工工艺过程与工艺规程	252
9.2 机械加工工艺过程的拟定	256
9.3 机械加工工艺规程的拟定	259
9.4 典型零件的机械加工工艺过程	269
思考与练习	283

第 10 章 CAD/CAM 技术基础	288
10.1 CAD/CAM 基本概念及特点	288
10.2 CAD/CAM 技术现状及常用软件	292
10.3 Pro/Engineer 的应用简介	298
10.4 数控加工技术概述.....	306
思考与练习.....	312
第 11 章 特种加工简介	313
11.1 电火花加工.....	313
11.2 电解加工.....	315
11.3 超声波加工.....	316
11.4 激光加工.....	317
思考与练习.....	317
参考文献.....	319

第1章

工程材料

【内容提要】

掌握机械工程材料的力学性能、铁碳合金相图的基本理论及机械加工中常用的热处理方法,了解常用的碳钢、铸铁、合金钢、有色金属及非金属材料的性能和用途的基本知识。

【重点】

机械工程材料的力学性能、铁碳合金相图、常用的热处理方法。

【难点】

铁碳合金相图。

1.1

金属材料的力学性能

金属材料在现代生产及人们的日常生活中占有极其重要的地位。金属材料的品种繁多、性能各异,并能通过适当的工艺改变其性能。金属材料的性能由材料的成分、组织及加工工艺来确定。掌握各种材料的性能对材料的选择、加工、使用,以及新材料的开发都有着非常重要的作用。

金属材料的力学性能又称机械性能,是金属材料在力或能的作用下,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,它反映了金属材料在各种外力作用下抵抗变形或破坏的能力,是选用金属材料的重要依据,且对各种加工工艺也有重要影响。

1.1.1 强度

强度是金属材料在力的作用下,抵抗塑性变形和断裂的能力。强度有多种判据,工程上以屈服强度和抗拉强度最为常用。屈服强度和抗拉强度可用拉伸试验测定。图1-1(a)所示是标准的拉伸试样,把它装夹在拉伸试验机的两个夹头上,缓慢加载,试样逐渐伸长,直至拉断为止,如图1-1(b)所示。在拉伸过程中,试验机能自动绘出以拉力 F 为纵坐标,以试样伸长量 Δl 为横坐标的拉伸曲线。低碳钢的拉伸曲线如图1-2所示。材料受力作用时,其内部也产生了抵抗力;材料单位横截面积上的抵抗力称为应力。

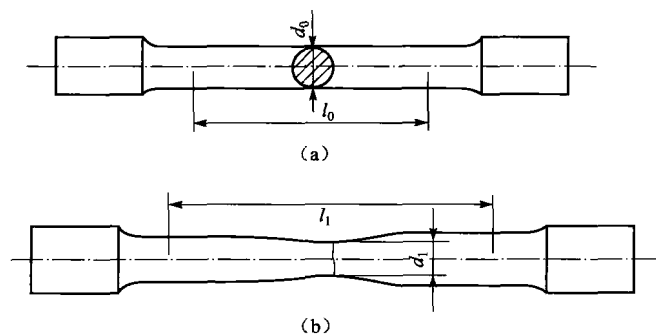


图 1-1 拉伸试样
(a) 拉伸前; (b) 拉伸后

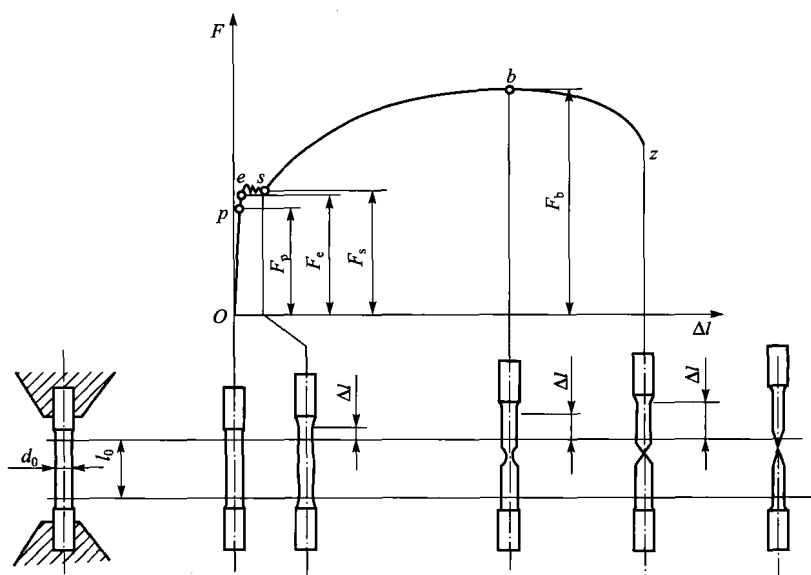


图 1-2 低碳钢的拉伸曲线

1. 屈服强度

屈服强度是指拉伸试样产生屈服现象时的应力,以 σ_s 表示。它可按式计算

$$\sigma_s = F_s / S_0 \quad (1-1)$$

式中 F_s ——试样发生屈服时所承受的最大载荷(N);

S_0 ——试样原始截面积(mm^2)。

对于许多没有明显屈服现象的金属材料,工程上规定以试样产生 0.2% 塑性变形时的应力作为该材料的屈服点,此时的屈服强度用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

2. 抗拉强度

抗拉强度是指金属材料在拉断前所能承受的最大应力,以 σ_b 表示。它可按式计算

$$\sigma_b = F_b / S_0 \quad (1-2)$$

式中 F_b ——试样在拉断前所承受的最大载荷(N);

S_0 ——试样原始截面积(mm^2)。

屈服强度 σ_s 和抗拉强度 σ_b 在选择、评定金属材料及设计机械零件时具有重要意义。由于机器零件或构件工作时,通常不允许发生塑性变形,因此多以 σ_s 作为强度设计的依据。对于脆性材料,因断裂前基本不发生塑性变形,故无屈服点可言,在计算强度时,则以 σ_b 为依据。

1.1.2 塑性

塑性是指在外力作用下金属材料产生永久变形而不被破坏的能力。塑性指标也是由拉伸试验测得的,在测定金属材料的强度时,可以同时测定它们的塑性。常用的塑性指标是延伸率 δ 和断面收缩率 ϕ 。即

$$\delta = (l_1 - l_0) / l_0 \times 100\% \quad \phi = (S_0 - S_1) / S_0 \times 100\% \quad (1-3)$$

式中 l_0 ——试样原标距长度(mm);

l_1 ——试样拉断后标距长度(mm);

S_0 ——试样原始横截面积(mm²);

S_1 ——试样断裂处的横截面积(mm²)。

需要说明的是,同一金属材料的试样长短不同时,测得的伸长率是不同的。长试样($l_0 = 10d_0$)测得的延伸率用 δ_{10} 表示,短试样($l_0 = 5d_0$)测得的延伸率用 δ_5 表示,对于同一材料 $\delta_5 > \delta_{10}$ 。 ϕ 与试样的尺寸无关,而且对金属材料的塑性改变更为敏感,所以能更可靠地反映金属材料的塑性。 δ 、 ϕ 值越大,表示金属材料的塑性越好。

塑性指标在工程技术中具有重要的实用意义。它虽然不直接用于工程设计,但很多零件要求具有一定的塑性。良好的塑性可以顺利地某些成型工艺,如翼肋、火焰筒的冷冲压及涡轮盘、涡轮轴的锻造等。良好的塑性还可以在在一定程度上保证零件的工作安全,在零件使用时万一超载,塑性变形引起的强化作用使零件不致突然断裂。一般 δ 达到 5%, ϕ 达到 10%, 即能满足绝大多数零件的使用要求。过高地追求塑性,会降低金属材料的强度。

1.1.3 硬度

硬度是衡量金属材料软硬程度的一种性能。金属材料的硬度是通过硬度试验来测定的,目前测定金属材料硬度的方法有很多种,基本上可分为压入法和刻划法两大类。在压入法中,根据加载速率不同又可分为静载压入法和动载压入法。通常所采用的布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度和显微硬度均属于静载试验法;里氏硬度则属于动载试验法。测定方法不同,所测量的硬度值也具有不同的物理意义。例如,刻划法硬度值主要表征金属材料对切断方式破坏的抗力;里氏硬度值表征金属材料弹性变形功的大小;压入法硬度值则表示金属材料抵抗变形的能力。因此,硬度值实际上不是一个单纯的物理量,它是表征着金属材料的弹性、塑性、形变强化、强度和韧性等一系列不同物理量组合的一种综合性能指标。在生产上压入法应用最广。

1. 布氏硬度

1) 布氏硬度的测定原理

使用一定直径为 D (mm) 的淬火钢球或硬质合金球为压头,施以一定的载荷 F (kg),将其压入试样表面(图 1-3),经规定保持时间 t (s) 后卸除载荷,然后测量试样表面压痕直径 d (mm),用压痕表面积 S 除载荷 F 所得的商值即为布氏硬度值。其符号用 HBS 或 HBW 表

示,即

$$\text{HBS}(\text{HBW}) = \frac{F}{S} = 0.102 \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1-4)$$

式中 HBS(HBW)——用钢球(或硬质合金球)试验时的布氏硬度值;

F ——试验力(N);

S ——球面压痕表面积(mm^2);

D ——球体直径(mm);

d ——压痕平均直径(mm)。

布氏硬度值一般不标出单位。在实际应用中,布氏硬度一般不用计算,而是用专用的刻度放大镜量出压痕直径 d ,根据压痕直径的大小,再从专门的硬度表中查出相应的布氏硬度值。布氏硬度值越高,表示金属材料越硬。

当压头为淬火钢球时,布氏硬度值符号为 HBS,一般适用于测量软灰铁、有色金属等布氏硬度值在 450 以下的材料;当压头为硬质合金球时,布氏硬度值符号为 HBW,适用于布氏硬度值为 450~650 的材料。

2) 应用及优缺点

布氏硬度试验时一般采用直径较大的压头,因而所得压痕面积较大。压痕面积大的一个优点是其硬度值能反映金属材料在较大范围内各组成相的平均性能,而不受个别组成相及微小不均匀性的影响。因此,布氏硬度试验特别适用于测定灰铸铁、轴承合金等具有粗大晶粒或组成相的金属材料的硬度。压痕较大的另一个优点是试验数据稳定,重复性好。布氏硬度试验的缺点是对不同金属材料需要更换不同直径的压头和改变载荷,压痕直径的测量也较麻烦,因而用于自动检测时受到限制;当压痕较大时不宜在成品上进行试验。

2. 洛氏硬度

洛氏硬度试验是目前应用最广的试验方法,和布氏硬度一样,也是一种压入硬度试验。但它不是测定压痕的面积,而是测量压痕的深度,以深度的大小表示金属材料的硬度值。

1) 洛氏硬度试验原理

洛氏硬度试验是以顶角为 120° 的金刚石圆锥体为压头,在规定的载荷下,垂直地压入被测金属材料表面,卸载后依据压入深度 h ,由刻度盘上的指针直接指示出硬度值(见图 1-4)。

金属材料越硬,压痕深度越小;金属材料越软,压痕深度越大。若直接以深度 h 作为硬度值,则出现硬的材料 h 值小,软的材料 h 值反而大的现象。为了适应人们习惯上数值越大硬度越高的概念,人为规定用一常数 k 减去压痕深度 h 作为硬度值,并规定每 0.002 mm 为一个洛氏硬度单位,由此获得洛氏硬度值,用符号 HR 表示,即

$$\text{HR} = (k - h) / 0.002 \quad (1-5)$$

当使用金刚石圆锥压头时, $k = 0.2$ mm;使用钢球压头时, $k = 0.26$ mm。实际测定洛氏硬度时,由于硬度计上方测量压痕深度的百分表表盘上的刻度已按式(1-5)换算为相应的硬度值,因此可直接从表盘上指针的指示值读出硬度值。

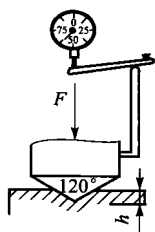


图 1-4 洛氏硬度测量示意图

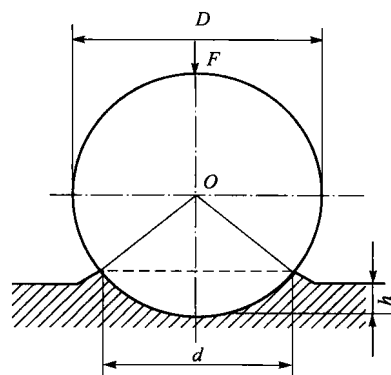


图 1-3 布氏硬度试验原理图

2) 常用洛氏硬度标尺

采用不同的压头和载荷,可组合成几种不同的洛氏硬度标尺。每一种标尺用一个字母在 HR 后注明。我国最常用的标尺的有 A,B,C 3 种,其硬度值的符号分别用 HRA,HRB 及 HRC 表示。用不同标尺测得的硬度值彼此没有联系,不能直接进行比较。

3) 优缺点

洛氏硬度试验的优点是操作简便迅速,硬度值可直接读出,压痕较小,可在工件上直接进行试验,采用不同标尺可测定各种软硬不同的金属材料和厚薄不一的试样的硬度,因而广泛用于热处理质量的检验。其缺点是压痕较小,代表性差,由于金属材料中有偏析及组织不均匀等缺陷,致使所测硬度值重复性差,分散度大。

3. 维氏硬度及显微硬度

1) 维氏硬度试验原理

维氏硬度的试验原理与布氏硬度的相同,也是根据压痕单位面积所承受的载荷来计算硬度值。所不同的是,维氏硬度试验的压头不是球体,而是两相对面夹角为 136° 的正四棱锥体金刚石,其试验原理如图 1-5 所示。压头在载荷 $F(\text{kg})$ 的作用下,保持一定时间后卸除载荷,将在试样表面压出一个正四棱锥形的压痕,测量出试样表面压痕对角线长度 $d(\text{mm})$ 用以计算硬度值。维氏硬度和压痕表面积除载荷的商成比例,维氏硬度用符号 HV 表示。即

$$\text{HV} = 0.1891 \frac{F}{d^2} \quad (1-6)$$

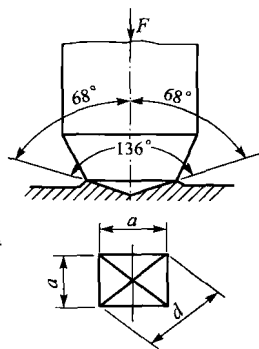


图 1-5 维氏硬度试验原理示意图

与布氏硬度值一样,维氏硬度值也不标注单位。而且在实际工作中,维氏硬度也同样不用计算,可根据压痕对角线长度,从表中直接查出。

2) 维氏硬度试验的优缺点

维氏硬度试验的优点是不存在布氏硬度试验时要求载荷与压头直径之间所规定条件的约束,也不存在洛氏硬度试验时不同标尺的硬度值无法统一的弊端。维氏硬度试验时不仅载荷可任意选取,而且压痕测量的精度较高,硬度值较为精确。唯一的缺点是硬度值需要通过测量压痕对角线长度后才能进行计算或查表,因此工作效率比洛氏硬度试验低得多。

3) 显微硬度

显微硬度试验实质上就是小载荷的维氏硬度试验,其原理和维氏硬度试验一样,所不同的是载荷以克计量,压痕对角线以 μm 计量,显微硬度符号用 HM 表示。主要用来测定各种组成相的硬度和表面硬化层的硬度分布。

显微硬度值的表示方法与维氏硬度的相同,由于压痕微小,试样必须制成金相试样,在磨制与抛光试样时应注意,不能产生较厚的金属扰乱层和表面形变强化层,以免影响试验结果。在可能范围内,选用较大的载荷,以减少因磨制试样时所产生的表面硬化层的影响,并可提高测量精确度。

4. 里氏硬度

里氏硬度是一种动载荷试验方法。其基本原理是用规定质量的冲击体(碳化钨球冲击头)在弹力作用下以一定速度冲击试样表面,用冲击头在距试样表面 1 mm 处的回弹速度 v_R 与冲击速度 v_A 的比值计算硬度值。

里氏硬度试验法有其独特的优点,它是一种轻便的便携式硬度计,主要用于大型金属产品及部件的硬度检验,特别适用于其他硬度计难以胜任的、不易移动的大型工件和不易拆卸的大型部件及构件的硬度检验。其缺点是试验结果的准确性受人为因素影响较大,硬度测量精度较低。

1.1.4 冲击韧性与疲劳强度

1. 冲击韧性

许多机械零件在工作中,往往要受到冲击载荷的作用,如活塞销、锤杆、冲模和锻模等。制造这类零件所用的金属材料,其性能指标不能单纯用静载荷作用下的指标(如强度、塑性等)来衡量,而必须考虑金属材料抵抗冲击载荷的能力。金属材料抵抗冲击载荷作用而不破坏的能力称为冲击韧性。

1) 冲击试验的原理

冲击韧性通常采用摆锤式冲击试验机测定。测定时,一般是将带缺口的标准冲击试样放在试验机上,然后用摆锤将其一次冲断,并以试样缺口处单位截面积上所吸收的冲击功表示其冲击韧性(图 1-6),即

$$\alpha_K = \frac{A_K}{S_0} \quad (1-7)$$

式中 α_K ——冲击韧度(J/cm²);

A_K ——冲击吸收功(J);

S_0 ——试样缺口处截面积(cm²)。

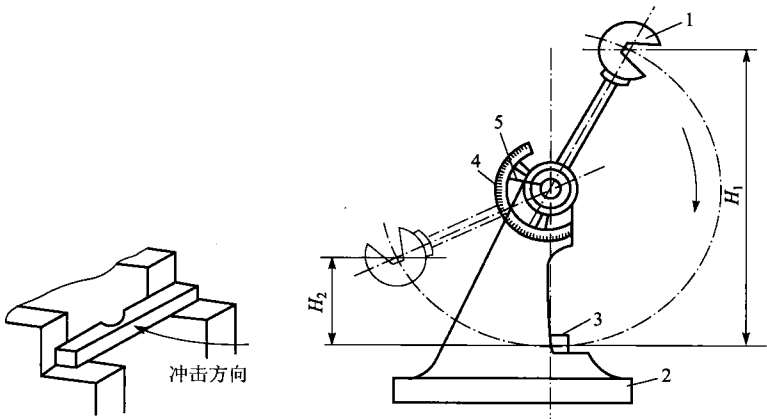


图 1-6 冲击试验示意图

1—摆锤;2—支座;3—试样;4—刻度盘;5—指针

冲击韧度是冲击试样缺口处单位横截面积上的冲击吸收功。冲击韧度越大,表示金属材料的冲击韧性越好。而对于脆性金属材料(如铸铁、淬火钢等)的冲击试验,试样一般不开缺口,因为开缺口的试样冲击值过低,难以比较不同金属材料冲击性能的差异。

冲击值的大小与很多因素有关。它不仅受试样形状、表面粗糙度、内部组织影响,还与试

验时的环境温度有关。因此,冲击值一般作为选择金属材料的参考,不直接用于强度计算。但是,冲击值对组织缺陷很敏感,它能反映出金属材料的品质、宏观缺陷和显微组织等方面的变化,因此,冲击试验又是生产上用来检验冶炼、热加工、热处理等工艺质量的有效方法。

2) 小能量多次冲击试验

机器零件在实际工作中承受冲击载荷时,很少是在大能量下一次冲击而破坏的,大多是受到小能量多次重复冲击而破坏的,如冲模的冲头、连杆、齿轮等。因此,在大能量、一次冲断条件下来测定冲击韧度,虽然方法简便,但对大多数在工作中承受小能量、重复冲击的机器零件来说就不一定适合。

实践表明,一次冲击韧度高的金属材料,在小能量多次冲击试验条件下其抗力却不一定高,反过来也一样。如大功率柴油机曲轴是用孕育铸铁制成的,它的冲击韧度接近于零,而在长期使用中未发生断裂现象。因此,需要采用小能量多次冲击试验来检验这类金属材料的抗冲击性能。在小能量多次冲击试验中,试样在冲头多次冲击下损坏时,经受的冲击次数代表金属的抗冲击能力。

试验研究表明,金属材料受大能量的冲击载荷作用时,其冲击抗力主要取决于冲击韧度 a_k 的大小,而在冲击载荷不太大的情况下,金属材料承受多次重复冲击的能力,主要取决于金属材料的强度,而不要求过高的冲击韧度。例如,用球墨铸铁制造的曲轴,只要强度足够,其冲击韧度达到 $8\sim 15\text{ J/cm}^2$ 时,就能获得令人满意的使用性能。

2. 疲劳强度

1) 疲劳的概念

机械上的许多零件,如曲轴、齿轮、连杆、弹簧等是在周期性或非周期性动载荷(称为疲劳载荷)的作用下工作的。在疲劳载荷的作用下,虽然零件所承受的应力低于金属材料的屈服点,但经过较长时间的工作后产生裂纹或突然发生完全断裂的现象称为金属材料的疲劳。

2) 疲劳破坏的特征

尽管交变载荷有各种不同的类型,但疲劳破坏仍有以下共同的特征:

(1) 疲劳断裂时并没有明显的宏观塑性变形,断裂前没有征兆,而是突然破坏;

(2) 引起疲劳断裂的应力很低,正常低于金属材料的屈服点;

(3) 疲劳破坏的宏观断口由两部分组成,即疲劳裂纹的产生及扩展区(光滑部分)和最后断裂区(粗糙部分)。

机械零件产生疲劳断裂的原因,是由于金属材料表面或内部有缺陷(夹杂、划痕、显微裂纹等),这些部位在交变应力反复作用下产生了微裂纹,致使其局部应力大于屈服点,从而产生局部塑性变形而导致开裂。并随着应力循环次数的增加,裂纹不断扩展使零件实际承受载荷的面积不断减少,直至减少到不能承受外加载荷的作用时而产生突然断裂。

3) 疲劳曲线和疲劳极限

金属材料的疲劳极限通常都是在旋转弯曲疲劳试验机上测定的,疲劳试验证明在交变载荷作用下,材料承受的交变应力值 σ 与断裂前的应力循环次数 N 之间的关系称为疲劳曲线,如图1-7所示。在应力下降到某值之后,疲劳曲线成为水平线,这表示该材料可经受

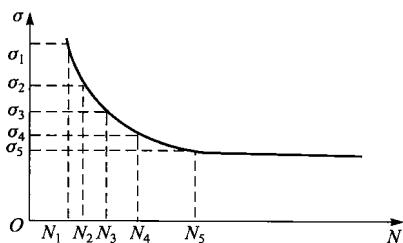


图 1-7 疲劳曲线示意图

无数次应力循环而仍不发生疲劳断裂,这个应力值称为疲劳极限或疲劳强度,亦即金属材料在无数次循环载荷作用下不致引起断裂的最大应力。显然疲劳极限的数值愈大,材料抵抗疲劳破坏的能力愈强。当应力按正弦曲线对称循环时,如图 1-8 所示,疲劳极限用 σ_{-1} 表示。

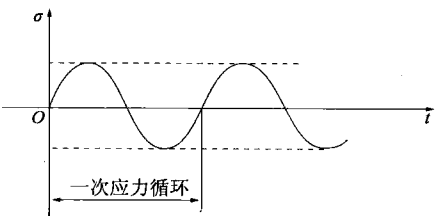


图 1-8 对称循环应力图

实际上,测定金属材料时不可能做无数次交变载荷试验。所以在一般试验时规定,对于黑色金属应力循环取 10^7 周次,而有色金属、不锈钢等取 10^8 周次交变载荷时,不断裂的最大应力称为该金属材料的疲劳极限。

金属材料的疲劳极限受到很多因素的影响,如内部质量、工作条件、表面状态、材料成分、组织及残余应力等。为了提高零件的疲劳强度,除应改善其结构形状、减少应力集中外,还可采取表面强化的方法,如提高零件的表面质量、喷丸处理、表面热处理等。同时,应控制材料的内部质量,避免气孔、夹杂等缺陷。

1.2

铁碳合金



钢和铸铁是现代工业上使用最广泛的金属材料,它们都是主要由铁与碳两种元素所组成的合金。钢铁的成分不同,其组织和性能也不同。下面将依据铁碳合金相图及对典型铁碳合金结晶过程的分析,研究铁碳合金的成分、组织、性能之间的关系。

铁碳合金相图是研究钢和铸铁的基础,对于钢铁材料的应用以及制定热加工和热处理工艺 also 具有重要的指导意义。

铁和碳的结合方式有两种。其一是碳溶于铁中形成间隙固溶体,如碳可以分别溶于 δ -Fe、 γ -Fe、 α -Fe 中,形成相应的固溶体;其二是铁和碳发生化学作用形成一系列化合物,如 Fe_3C 、 Fe_2C 、 FeC 等。因此,整个铁碳合金相图包括 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 、 $\text{Fe}_3\text{C}-\text{Fe}_2\text{C}$ 、 $\text{Fe}_2\text{C}-\text{FeC}$ 、 $\text{FeC}-\text{C}$ 等几个部分,如图 1-9 所示。

Fe_3C 的碳质量分数为 6.69%。工业上使用的铁碳合金,碳质量分数不超过 5%,所以铁碳相图中只有 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 部分有实用意义(图 1-9 中的影线部分),通常称为 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 相图,如图 1-10 所示。

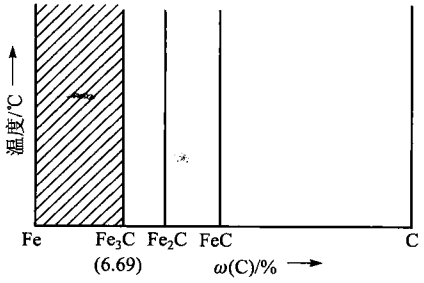


图 1-9 铁碳合金的各种化合物

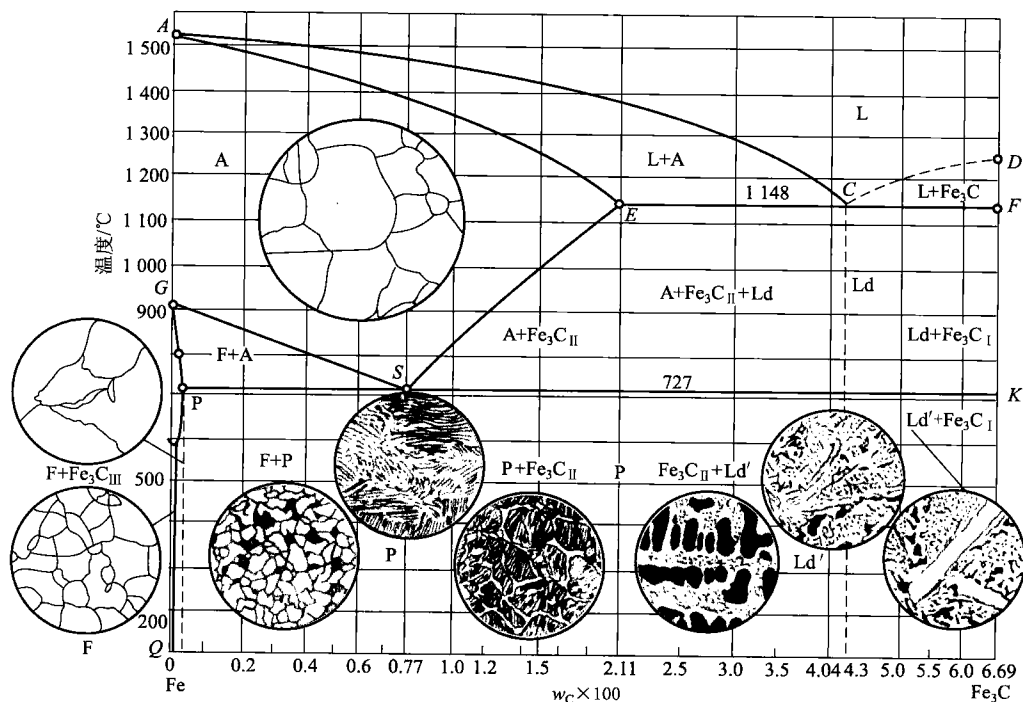


图 1-10 Fe—Fe₃C 相图

1. Fe—Fe₃C 相图中的相

Fe—Fe₃C 相图中存在 5 种相。

(1) 液相 铁和碳的液溶体,用符号 L 表示。

(2) 高温铁素体(δ 铁素体)是碳在 δ—Fe 中的间隙固溶体,呈体心立方晶格结构,在 1 394 °C 以上存在。

(3) 铁素体是碳在 α—Fe 中的间隙固溶体,呈体心立方晶格结构。铁素体中碳的溶解度很小,室温时碳的质量分数约为 0.000 8%,在 727 °C 时溶碳量最大,碳的质量分数为 0.021 8%。其性能特点是强度低、硬度低、塑性好。铁素体用符号 F 表示。

(4) 奥氏体是碳在 γ—Fe 中的间隙固溶体,呈面心立方晶格。奥氏体中碳的溶解度较大,在 1 148 °C 时溶碳量最大,碳的质量分数达 2.11%。其性能特点是强度较低、硬度不高、塑性良好。奥氏体用符号 A 表示。

(5) 渗碳体是铁与碳的一种具有复杂晶格的间隙化合物,化学式为 Fe₃C。其性能特点是硬度很高、塑性极差、脆性大。渗碳体用 Fe₃C 表示。

2. Fe—Fe₃C 相图中的特性点和特性线

Fe—Fe₃C 相图中部分特性点的温度、碳质量分数及含义如表 1-1 所示。

表 1-1 Fe—Fe₃C 相图中的主要特性点

符号	温度/°C	碳质量分数/%	含 义
A	1 538	0	纯铁的熔点

续表

符号	温度/℃	碳质量分数/%	含 义
C	1 148	4.30	共晶点
D	1 227	6.69	Fe ₃ C 的熔点
E	1 148	2.11	碳在 γ -Fe 中最大溶解度
F	1 148	6.69	共晶渗碳体的成分点
G	912	0	纯铁的同素异构转变点(A ₃)
P	727	0.021 8	碳在 α -Fe 中的最大溶解度
S	727	0.77	共析点
Q	室温	0.000 8	碳在铁素体中的溶解度

在 Fe—Fe₃C 相图上,有若干合金状态的分界线,它们是不同的成分合金具有相同含义的临界点的连线。几条主要特性线的物理含义如表 1-2 所示。

表 1-2 Fe—Fe₃C 相图中的特性线

特性线	名 称	含 义
ACD 线	液相线	此线以上区域全部为液相,用 L 来表示。金属液冷却到此线开始结晶,在 AC 线以下从液相中结晶出奥氏体,在 CD 线以下结晶出渗碳体
AECF 线	固相线	金属液冷却到此线全部结晶为固态,此线以下为固态区。液相线与固相线之间为金属液的结晶区域。这个区域内金属液与固相并存,AEC 区域内为金属液与奥氏体,CDF 区域内为金属液与渗碳体
GS 线	A ₃ 线	冷却时从奥氏体中析出铁素体的开始线(或加热时铁素体转变成奥氏体的终止线)
ES 线	A _{cm} 线	是碳在奥氏体中的溶解度线,在 1 148 ℃时,碳在奥氏体中的溶解度为 2.11%(即 E 点含碳量),在 727 ℃时降到 0.77%(相当于 S 点)。从 1 148 ℃缓慢冷却到 727 ℃的过程中,由于碳在奥氏体中的溶解度减小,多余的碳将以渗碳体的形式从奥氏体中析出。为了与自金属液中直接结晶出的渗碳体(称为一次渗碳体)相区别,将奥氏体中析出的渗碳体称为二次渗碳体(FeC _{II})
ECF 线	共晶线	当金属液冷却到此线时(1 148 ℃),将发生共晶转变,从金属液中同时结晶出奥氏体和渗碳体的混合物,即莱氏体
PSK 线	共析线 (A ₁ 线)	当合金冷却到此线时(727 ℃),将发生共析转变,从奥氏体中同时析出铁素体和渗碳体的混合物,即珠光体(一定成分的固溶体,在某一恒温下,同时析出两种固相的转变称为共析转变)