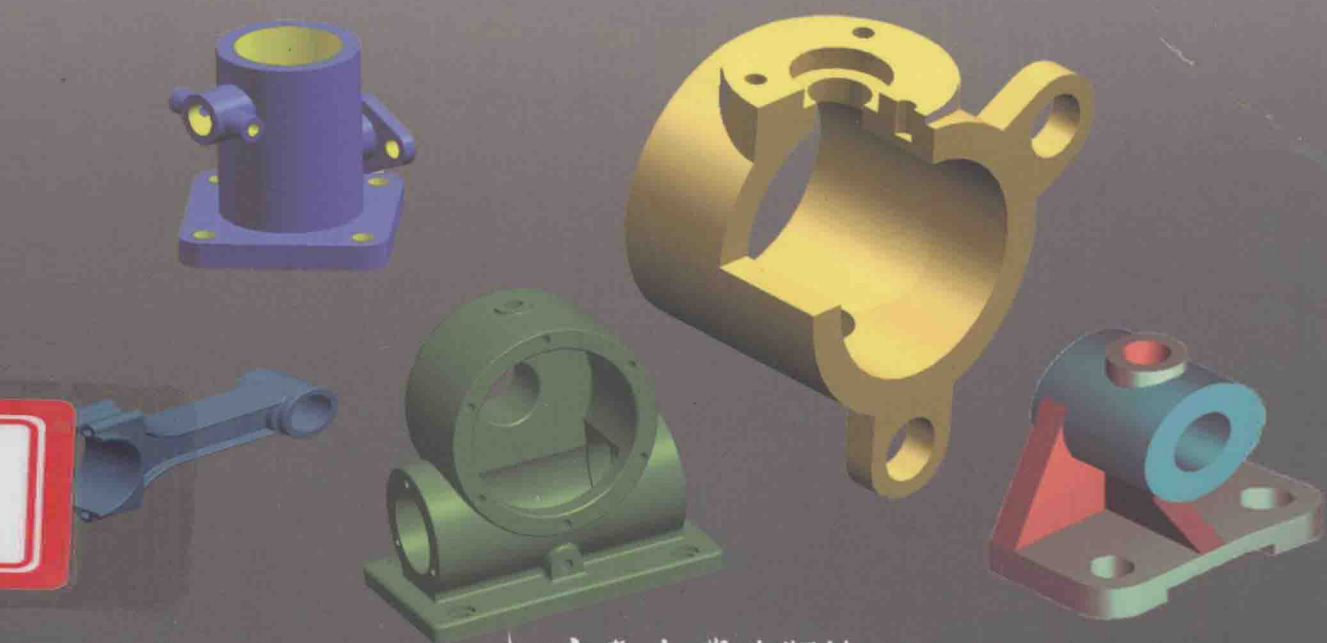


高职高专机械类 “十一五”规划 教材
精品课程建设

机械制造基础

主编 刘海渔
主审 陈 勇

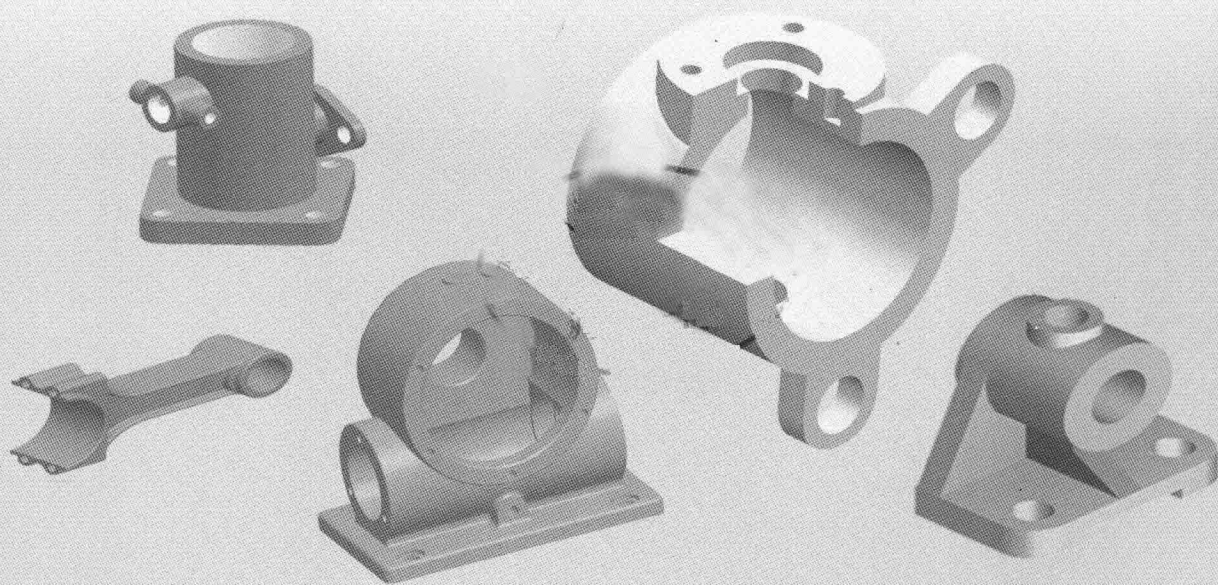


中南大学出版社
www.csupress.com.cn

高职高专机械类 “十一五” 规划 教材
精品课程建设

机械制造基础

主 编 刘海渔
副主编 肖春芳 李淑英
编 委 杨建群 陈 钢 王伟平
高丽洁 龙育才 刘海渔
肖春芳 李淑英
主 审 陈 勇



图书在版编目(CIP)数据

机械制造基础/刘海渔主编. —长沙:中南大学出版社,2008.8

ISBN 978-7-81105-666-2

I. 机... II. 刘... III. ①机械制造工艺 ②机械加工 - 工艺
IV. TH16 TG506

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 111532 号

机械制造基础

主编 刘海渔

☐责任编辑 李宗柏

☐责任印制 文桂武

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-88876770

传真:0731-88710482

☐印 装 长沙市宏发印刷厂

☐开 本 787×1092 1/16 ☐印张 22.5 ☐字数 553 千字

☐版 次 2008 年 8 月第 1 版 ☐2009 年 7 月第 2 次印刷

☐书 号 ISBN 978-7-81105-666-2

☐定 价 38.00 元

内容简介

《机械制造基础》体现以讲清概念、强化应用为教学目的的宗旨,采用模块化组织教学内容,进行了分析取舍、结构优化,以分为机械工程材料、金属毛坯成形、金属切削加工基础、零件表面加工和工艺规程、机床夹具设计、测量技术、特种加工技术、现代制造技术等八个模块。各模块既有相对独立性,又紧密联系、互相渗透,融为一体。各模块以案例分析导入,提出本模块学习的目标和解决的问题;各模块由若干课题组成,结合实际案例进行问题分析和讲解;为扩展知识,增加了知识拓展小常识,为学生自主学习提供参考;最后有思考练习题,便于学生巩固知识。本教材按 90 学时编写,内容丰富、涉及面广,各学校可根据专业情况选择相关模块学习。

前 言

本教材是根据国家教育部《关于加强高职高专教育教材建设的若干意见》而编写的。编写符合高职高专教育特色要求的教材,是促进高职高专教学改革、培养适应时代要求的高等技术应用性专门人才的一项重要工作。

我们在总结近几年来各高职院校机械类专业的教学经验,吸取近年来高职高专教学实践成功经验的基础上,本着高职高专基础课程教材要体现以讲清概念、强化应用为教学目的的宗旨,采用模块化组织教学内容,进行了分析取舍、结构优化,以机械工程材料、金属毛坯成形、金属切削加工基础、零件表面加工和工艺规程、机床夹具设计为主线,将机械制造过程中相关基础知识有机地联系起来,并增加了测量技术和体现先进制造技术的特种加工技术、现代制造技术相关内容,形成了新的教学内容体系。各模块既有相对独立性,又紧密联系、互相渗透,融为一体。

本书按 90 学时编写,内容丰富、涉及面广。不同学校、不同专业使用本教材时,可按照具体教学需要进行调整或取舍。本书主要供高职高专机械类各专业使用,也可作为有关工程技术人员的参考书。

本书由株洲职业技术学院刘海渔担任主编,长沙航空职业技术学院肖春芳、衡阳财经工业职业技术学院李淑英担任副主编。全书共分 8 个模块,其中模块一由李淑英编写,模块二由湖南电气职业技术学院杨建群编写,模块三和模块六由肖春芳和娄底职业技术学院龙育才编写,模块四由株洲职业技术学院陈刚编写,模块五由刘海渔编写,模块七由株洲职业技术学院王伟平编写,模块八由邵阳职业技术学院高丽洁编写。本教材由长沙航空职业技术学院陈勇担任主审。

由于编者水平有限,书中错误、不妥之处在所难免,恳请有关专家、同行、读者批评指正。

编 者

2008 年 5 月

目 录

模块一 机械工程材料	(1)
课题一 金属材料的力学性能	(2)
课题二 铁碳合金	(10)
课题三 钢的热处理	(18)
课题四 碳素钢、铸铁	(26)
课题五 合金钢	(36)
课题六 有色金属和其他材料	(42)
思考练习题	(51)
模块二 金属毛坯的成形	(53)
课题一 铸 造	(54)
课题二 锻 压	(61)
课题三 焊 接	(71)
课题四 机械零件毛坯的选择	(82)
思考练习题	(84)
模块三 测量技术基础	(87)
课题一 测量技术基础知识	(88)
课题二 测量误差	(95)
课题三 孔、轴尺寸公差的检测	(103)
课题四 形状和位置误差的检测	(111)
课题五 圆柱齿轮误差的检测	(119)
思考练习题	(126)
模块四 金属切削加工基础	(131)
课题一 金属切削机床的基础知识	(133)
课题二 加工质量	(140)
课题三 切削运动和刀具的几何角度	(143)
课题四 切削力和切削热	(150)
课题五 刀具磨损和刀具寿命	(156)
课题六 金属切削条件的合理选择	(160)
思考练习题	(180)

模块五 机械零件表面加工及工艺规程	(182)
课题一 机械零件的加工质量	(184)
课题二 平面加工	(189)
课题三 外圆表面加工	(198)
课题四 内圆表面加工	(208)
课题五 齿轮的齿形加工	(217)
课题六 工艺过程与工艺规程	(227)
课题七 典型零件机械加工工艺过程	(237)
思考练习题	(255)
模块六 机床夹具设计基础	(257)
课题一 机床夹具概述	(258)
课题二 工件的装夹	(260)
课题三 工件的夹紧	(281)
课题四 分度装置、夹具体	(293)
课题五 车床夹具	(298)
课题六 钻床夹具设计	(303)
课题七 镗床夹具设计	(309)
课题八 铣床夹具设计	(314)
课题九 专用夹具的设计方法	(317)
思考练习题	(329)
模块七 特种加工技术	(331)
课题一 电火花加工	(331)
课题二 激光加工	(333)
课题三 电解加工	(334)
课题四 超声波加工	(335)
课题五 电子束加工	(337)
课题六 离子束加工	(338)
模块八 现代制造技术简介	(341)
课题一 数控加工技术	(341)
课题二 快速成形技术	(344)
课题三 柔性制造技术	(346)
课题四 绿色制造技术	(347)
课题五 纳米加工与超精密技术	(348)
课题六 工业机器人	(349)
参考文献	(352)

模块一 机械工程材料

【实例导入】 美国世贸大楼倒塌原因分析

被誉为“现代技术精华的汇集”的纽约世界贸易中心，无论是建筑钢材还是结构设计都非常过硬，具有重量轻、强度高、抗震能力强的特点。但如此坚固的钢结构建筑却为何在 2001 年 9 月 11 日恐怖分子劫机撞击下，只坚持了 80 多分钟就轰然倒塌？

1. 世贸大厦结构与选材

世界贸易中心是纽约的一个建筑群，由 7 座建筑物组成。核心部位是两座 110 层、各高 417m，415m 的摩天大楼。由于是超高层建筑，设计师采用全部由外柱承重的框架筒钢结构，即全部水平力都由密集的外柱和梁组成的框架筒来承担。这种结构强度高，也节省材料。外圈为密柱，由 244 根钢柱组成，框柱距 1.02m，内部核心区由 47 根钢柱形成框架，用以承受重力载荷。框筒柱采用 450mm × 450mm 方管，从上到下，外形尺寸



不变，靠改变壁厚来适应结构不同的受力条件。为增强框筒的竖向抗剪强度，减少框筒的剪力滞后效应，利用每隔 32 层所布置的设备楼层，沿框筒各设置一道 7m 高的钢板圈梁。大厦总用钢量约 50 万 t。墙面由铝板和玻璃组成，有“世界之窗”之称。

设计时还充分考虑了风力负荷。大楼顶部的风速按 255km/h 计算，所产生的风压可达到 $400\text{kg}/\text{m}^2$ ，为防止大风引起的振动和位移，世贸中心在第 7 层到第 107 层的中桁架下面装了减振器。当风速最大时，测得顶部的位移量仅为 28cm，人们一般难以察觉。在防火问题上，采用石棉水泥材料防火，在裸露的钢结构部分全部喷涂了 3mm 厚的石棉水泥防火层。

世贸大厦的这种结构使得它是最具超静定结构和最有弹性的一座摩天大楼。

2. 世贸大厦倒塌破坏的主要原因

世贸大厦在飞机撞击仅仅一个多小时，两座塔楼便先后倒塌。究其原因，主要有以下几方面。

(1) 飞机高速撞击致使楼层破坏，引起油箱爆炸，导致燃油扩散燃烧

撞击大楼的波音 757 飞机起飞重量 104t，波音 767 飞机起飞重量 156t，它们的飞行速度大约是每小时 1000km，可以想象这种大型客机撞击大楼的冲击力有多么的巨大。飞机高速撞击导致了楼层破坏，引起油箱爆炸；在撞击与爆炸作用下，撞击层 1/6 ~ 1/4 的支撑结构丧失承载能力，未损结构承担的载荷将增加 20%，考虑到结构设计安全系数，爆炸后的结构所受应力仍在极限承载能力范围，所以大厦在承受相当于五六级地震的飞机撞击下，虽晃动近

1m,但没有立即倒塌,这为大楼工作人员逃生提供了宝贵的时间。但油箱爆炸扩大了破坏范围,导致燃油扩散燃烧,而燃烧才是世贸大厦破坏的主要原因。

(2)燃油高温燃烧软化了主体结构,导致顶部塌落,由此引起了连锁坍塌,导致整体破坏

由于超高层建筑必须使用钢材建造,而钢材有一个致命的缺点——抗回火性差,就是遇高温变软,丧失原有强度。虽然在建筑钢材上都涂有防火涂料等防护物,可对付一般的小火小灾,但是遇到如此猛烈的火灾,钢材防火涂层根本不可能应付。这次撞击大楼的波音 757 飞机(大约可载 35t 燃油)、波音 767 飞机(可载 51t 燃油)几乎将它们满满的油箱的优质航空煤油都撒到了大楼里,燃起了熊熊大火。在大火不停的焚烧下,钢柱的温度很快达到 1000℃,钢结构便不再具有原有的强度而变形(结构钢在 425℃ 开始软化,在 650℃ 下降一半),导致钢弯曲和损坏,使撞击层以上的楼体坍塌,数千上万吨的楼体像重锤砸向下部楼体,面对如此巨大的侧向挤压力,钢材连接点断开,楼体结构解体,于是整体坍塌。

从以上分析可以看出,世贸大厦的设计者们虽充分考虑到大厦的复杂的受力条件,选择了坚固的钢结构。而此次折戟沉沙,原因还在于它的钢结构,这是设计者始料未及的。其实,无论是工程结构件还是机械零件,材料的选择和使用,一直是一个老大难问题,因为影响因素多,彼此关系复杂。在生产中需要权衡各影响因素的利弊得失,择优而选定。

【问题探讨】

- (1)你知道的金属材料有哪些?
- (2)金属材料有哪些性能?为什么不同的金属材料有不同的力学性能?
- (3)生产中选用材料时,应考虑什么因素?

【学习目标】

熟悉常用机械工程材料的成分、组织结构与性能之间的关系;掌握常用工程材料的性能与应用,在零件设计时具有合理选材能力;初步掌握正确运用热处理工艺、合理安排零件工艺路线的方法。

课题一 金属材料的力学性能

在机械制造中,大多数的零件是由金属材料加工而成的。由于零件的工作条件、加工方法不同,对金属材料提出的性能要求也会不同。譬如:刀具要求材料硬而且耐磨;弹簧要求材料具有良好的弹性;飞机零件要求材料强度高,质量轻。为了合理使用及正确加工金属材料以及充分发挥其性能潜力,必须充分掌握金属材料的基本性能。

金属材料的性能分为使用性能和工艺性能。使用性能是指材料在使用过程中反映出来的性能,包括力学性能、物理性能和化学性能。它决定材料的应用范围、安全可靠性和使用寿命。工艺性能是指材料在加工过程中反映出来的各种性能,如铸造、压力加工、焊接、切削加工、热处理等。工艺性能决定材料能否容易加工或采用何种加工方法的重要因素。

工程技术人员选用材料时首先要掌握材料的使用性能,同时要考虑材料的工艺性能和经济性。

金属的力学性能是指金属材料抵抗各种外力的能力,包括强度、塑性、硬度、冲击韧度、疲劳极限和断裂韧度等。

1.1.1 强度和塑性

金属材料在外力的作用下抵抗变形和断裂的能力称为强度。按外力作用的方式不同,可分为抗拉强度、抗压强度、抗剪强度、抗弯强度和抗扭强度等。通常所说的强度是指抗拉强度,它用拉伸试验方法测定。

拉伸试验是将材料制成一定形状和尺寸的标准拉伸试样(见 GB6397—86),如图 1-1 所示,用缓慢增加的拉力对标准拉伸试样进行轴向拉伸,直至试样断裂的一种试验方法。根据试样在拉伸过程中承受的载荷和产生的变形量的关系可测出该金属的拉伸曲线。它反映金属材料从弹性变形、塑性变形直至断裂的全部力学特性。图 1-2 所示为退火低碳钢的力-伸长曲线。其中 Oe 段为

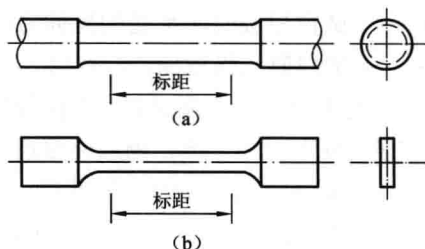


图 1-1 标准拉伸试样

弹性变形阶段,应力与应变成正比,在此阶段卸除试验力,试样能完全恢复到原来的形状和尺寸。当外力继续增加时,试样将产生塑性变形,当应力达到 σ_s ,曲线上出现平台或锯齿状线段,这时应力不增加或只有微小增加,试样却继续变形,好像材料失去抵抗外力的能力而屈服了,我们称 es' 这个阶段为屈服阶段。屈服之后在 $s'b$ 阶段,欲使试样继续变形必须不断加大外力,材料抵抗变形的能力提高了,这种现象称为形变强化(或加工硬化),此阶段的变形是均匀的。当外力达到最大值 F_b 时,试样某处截面开始减小,形成缩颈,直至断裂(k 点)。

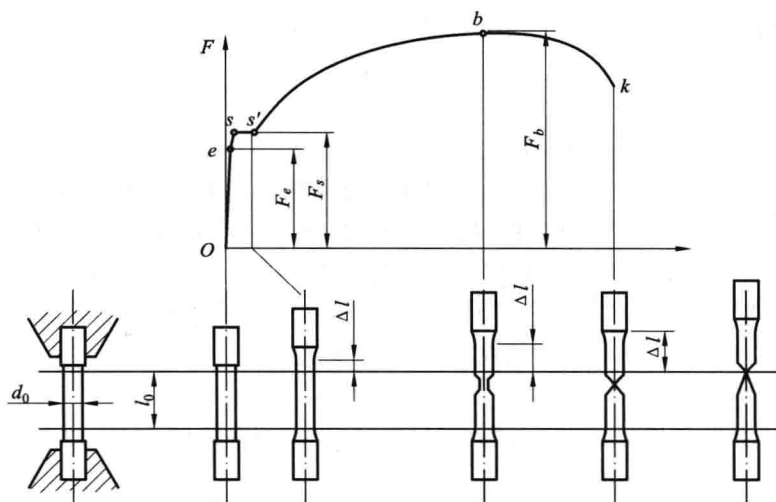


图 1-2 低碳钢的力-伸长曲线

1. 强度指标

强度的大小通常用应力表示。应力是指试样单位横截面积上所受到的力,用符号 σ 表示,单位为MPa(兆帕)。工程上常用的拉伸强度指标主要有屈服点或规定残余伸长应力、抗拉强度等。

(1) 屈服点与规定残余伸长应力

屈服点是指试样开始产生屈服现象时的最低应力,即试验过程中力不增加(保持恒定)试样仍能继续伸长时的应力,用符号 σ_s 表示。计算公式如下:

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

式中: F_s ——试样屈服时所承受的拉伸力(N);

S_0 ——试样原始横截面积(mm^2)。

工程上使用的某些金属材料,在拉伸试验中没有明显的屈服现象,难以测出屈服点。为了获得这一重要性能指标,国家标准规定:试样产生0.2%的残余伸长变形时所对应的应力称为规定残余伸长应力(或条件屈服强度),以 $\sigma_{r0.2}$ 表示(如图1-3所示)。

$$\sigma_{r0.2} = F_{0.2} / S_0 \quad (1-2)$$

屈服点 σ_s 与规定残余伸长应力 $\sigma_{r0.2}$ 都是衡量金属材料抵抗塑性变形能力的指标,当材料的实际工作应力大于其屈服强度时,就有可能产生过量塑性变形而失效。因此 σ_s 或 $\sigma_{r0.2}$ 是大多数机械零件设计时的重要参数,也是评定金属材料强度的重要指标之一。

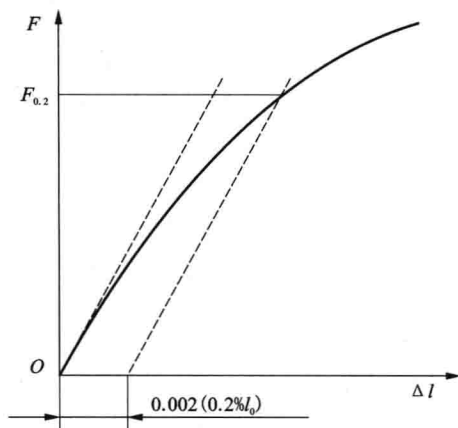


图1-3 条件屈服强度示意图

(2) 抗拉强度

材料在拉断前所能承受的最大应力称为抗拉强度(或称强度极限),用符号 σ_b 表示。计算公式如下:

$$\sigma_b = F_b / S_0 \quad (1-3)$$

抗拉强度是衡量材料抵抗断裂能力的指标,机器零件工作时,所承受的拉应力不允许超过 σ_b ,否则就会产生断裂。所以,它也是机械设计和选材的主要依据。特别是对于脆性材料来说,拉伸过程中几乎不发生塑性变形即突然断裂, $\sigma_{r0.2}$ 也常常难以测出,所以,脆性材料没有屈服强度指标,只有抗拉强度指标用于零件的设计计算。

在工程上,把 σ_s/σ_b 的值称为屈强比。其值越高,材料强度的有效利用率越高,但会使零件的安全可靠性降低。适合的比值在0.65~0.75之间。

2. 塑性指标

断裂前材料发生永久变形的能力叫做塑性。常用的塑性指标是断后伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 。一般通过拉伸试验测定。

(1) 断后伸长率

试样拉断后,标距的伸长量与原始标距的百分比称为断后伸长率,以 δ 表示:

$$\delta = [(L_1 - L_0) / L_0] \times 100\% \quad (1-4)$$

式中: L_0 ——试样原始标距长度(mm);

L_1 ——试样拉断后对接的标距长度(mm)。

拉伸试样有长试样($L_0 = 10d_0$)和短试样($L_0 = 5d_0$)两种,长试样的伸长率以 δ_{10} 或 δ 表示,短试样的伸长率以 δ_5 表示,对同一材料 $\delta_5 > \delta_{10}$,通常试验时优先选取短试样。一般把 $\delta \geq 5\%$ 的材料称为塑性材料, $\delta < 5\%$ 的材料称为脆性材料。

(2) 断面收缩率

断面收缩率是指试样拉断后缩颈处横截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比,用符号 ψ 表示。其数值按下式计算:

$$\psi = [(S_0 - S_1)/S_0] \times 100\% \quad (1-5)$$

式中: S_0 ——试样原始横截面积(mm^2);

S_1 ——试样拉断后缩颈处最小横截面积(mm^2)。

δ 和 ψ 数值越大,则材料的塑性越好。塑性好的材料,便于通过轧制、锻压等方法加工成复杂形状的零件;而且在使用中万一超载,首先产生塑性变形而不会发生突然断裂,因此较安全。所以大多数机械零件在使用时除要求有较高的强度外,还必须有一定的塑性。一般情况下,伸长率达5%或断面收缩率达10%的材料,即可满足大多数零件的使用要求。

1.1.2 硬 度

硬度是指材料抵抗局部变形,特别是塑性变形、压痕或划痕的能力,它是衡量材料软硬的指标。硬度能够反映金属的抗拉强度及金属在化学成分、金相组织和热处理状态上的差异,同时试验方法简便、迅速,不需要破坏试件,设备简单,因此是检验产品质量、研制新材料和确定合理的加工工艺所不可缺少的检测性能之一。

硬度试验方法很多,目前生产中测定硬度的方法最常用的是压入硬度法,主要有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度。

1. 布氏硬度

布氏硬度的测定原理如图1-4所示。是用直径为 D 的淬火钢球或硬质合金球,以规定的试验力 F 压入被测金属的表面,保持规定时间后卸除试验力,用读数显微镜测出金属表面球形压痕平均直径 d ,再根据 d 从相关的布氏硬度表中查出HB值。由于金属材料有硬有软,被测工件有厚有薄,有大有小,如果只采用一种标准的试验力 F 和压头直径 D ,就会出现对某些材料和工件不适应的现象。因此,在生产中进行布氏硬度试验时,要求根据被测材料种类、试样硬度范围和厚度,按照表1-1所示的布氏硬度试验规范正确地选择压头直径 D 、试验力 F 和保持时间 t 。

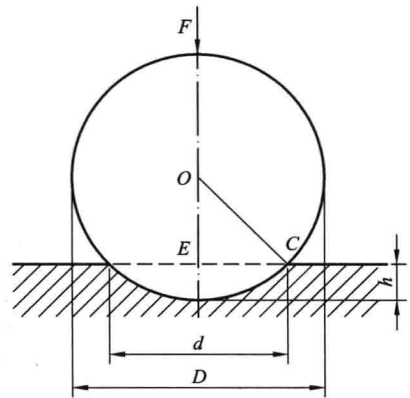


图1-4 布氏硬度试验原理

国标 GB/T231—1984 规定布氏硬度值在450以下使用淬火钢球压头,硬度值用符号HBS表示;当布氏硬度值为450以上(含450),选用硬质合金球压头,用符号HBW表示。布氏硬度习惯上只写出硬度值而不必注明单位,其标注方法是,符号HBS或HBW之前为硬度值,

符号后面按以下顺序用数值表示试验条件：球体直径(mm)、试验力(kgf)，试验力保持时间(10~15s不标注)。例如：

500HBW5/750，表示用直径5mm的硬质合金球压头在7355N(750kgf)试验力作用下，保持10s测得的布氏硬度值为500。

120HBS10/1000/30，表示用直径10mm的淬火钢球压头在9807N(1000kgf)试验力作用下，保持30s测得的布氏硬度值为120。

布氏硬度试验结果较精确，常用于测量退火、正火、调质处理后的零件以及灰铸铁、结构钢、非铁金属及非金属材料等毛坯或半成品零件的硬度。但测量费时，压痕较大，不适宜测量成品零件或薄件。

表 1-1 布氏硬度试验规范 (GB/T231—1984)

材料种类	布氏硬度使用范围(HBS)	球直径 D/mm	$0.102F/D^2$	试验力 F/N	试验力保持时间/s	注
钢 铸 铁	≥ 140	10	30	29420	10	(1)压痕中心距试样边缘距离不应小于压痕平均直径的2.5倍。 (2)两相邻压痕中心距离不应小于压痕平均直径的4倍。 (3)试样厚度至少应为压痕深度的10倍。试验后,试样支撑面应无可见变形痕迹。
		5		7355		
		2.5		1839		
	< 140	10	10	9807	10-15	
		5		2452		
		2.5		613		
非铁 金属 材料	≥ 130	10	30	29420	30	
		5		7355		
		2.5		1839		
	35-130	10	10	9807	30	
		5		2452		
		2.5		613		
	< 35	10	2.5	2452	60	
		5		613		
		2.5		153		

2. 洛氏硬度

金属洛氏硬度试验是目前工厂中应用最广泛的试验方法，原理如图 1-5 所示。它是用顶角为120°的金刚石圆锥体或直径为1.588mm(1/16英寸)的淬火钢球作压头，先施加初始试验力 F_1 (98N)，再加上主试验力 F_2 ，其总实验力为 $F = F_1 + F_2$ 。图中0为压头没有与试样接触时的位置；1为压头受到初始试验力 F_1 后压入试样的位置；2为压头受到总试验力 F 后压入试样的位置。经规定的保持时间后，卸除主试验力 F_2 ，仍保留初始力 F_1 ，试样弹性变形的恢复使压头上升到3的位置。此时压头受主试验力作用压入的深度为 h ，

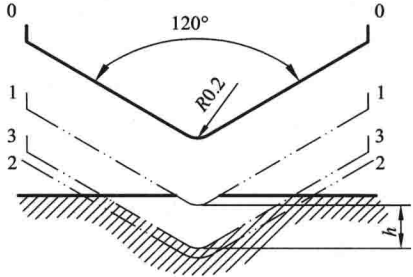


图 1-5 洛氏硬度试验原理示意图

即 1 至 3 的位置。金属越硬,则 h 值越小。为适应人们习惯上数值越大硬度越高的观念,故人为地规定用一常数 K 减去压痕深度的值作为洛氏硬度指标,并规定 0.002mm 为一个洛氏单位,用符号 HR 表示,则洛氏硬度值为:

$$\text{HR} = (K - h) / 0.002$$

(1-6)

K 为常数。金刚石压头取 $K=0.2$, 淬火钢球压头取 $K=0.26$ 。

实际测定时,试件的洛氏硬度值由硬度计的表盘上直接读出,材料越硬,则表盘上示值越大。为了便于测定从软到硬较大范围的材料硬度,根据被测试对象的不同,国家标准 GB/T230.1—2004 规定可采用不同类型压头、试验力,组合成不同的洛氏硬度标尺。现将常用的三种洛氏硬度标尺的硬度符号、有效范围、试验规范列于表 1-2,以供参考。

表 1-2 常用的三种洛氏硬度的试验条件及应用范围

硬度符号	硬度值有效范围 HR	总试验力 F/N	压头类型	应用范围
HRA	20 ~ 88	588.4	金刚石圆锥体	碳化物、硬质合金、淬火工具钢、浅层表面硬化钢
HRB	20 ~ 100	980.7	$\phi 1.588\text{mm}$ 淬火钢球	软钢、铜合金、铝合金、可锻铸铁
HRC	20 ~ 70	1471	金刚石圆锥体	淬火钢、调质钢、深层表面硬化钢

以上三种常用洛氏硬度中,以 HRC 应用最多,一般经过淬火处理的零件和工具都用其测试硬度。必须注意的是,硬度值应在有效测量范围内(例如 HRC 为 20 ~ 70)方为有效值。

洛氏硬度可以用于测量较软到很硬的材料,操作简单迅速,而且压痕小,几乎不损伤工件表面,能测成品和较薄零件的硬度,在钢件热处理质量检查中应用最多。但由于压痕小,测定结果波动较大,稳定性较差,故需测试试样不同部位的三点,取其算术平均值。一般不适宜测试组织不均匀的材料。

3. 维氏硬度

维氏硬度试验原理基本上与布氏硬度试验相同,是将相对面夹角为 136° 的正四棱锥体金刚石压头以选定的试验力 ($49.03\text{N} \sim 980.7\text{N}$) 压入被测材料或零件表面,经规定保持时间后卸除试验力,测出压痕对角线平均长度来计算或查表得出维氏硬度值。试验原理如图 1-6 所示。

维氏硬度用符号 HV 表示,测量范围 5 ~ 1000HV,标注方法与布氏硬度相同。

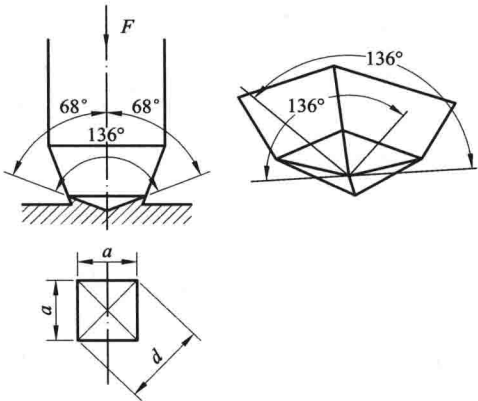


图 1-6 维氏硬度试验原理示意图

维氏硬度试验时所加载荷小,压入深度浅,能够测量极薄零件的硬度,尤其适用于经化学热处理的渗层硬度测定;适应范围广,可测量极软到极硬的各种材料;压痕轮廓清晰,采用对角线长度计算,精确可靠,误差小。但维氏硬度需测量对角线长度,然后计算或查表才可得到硬度值,所以测量效率低,不适宜大批零件的测量和组织不均匀材料的测量。

1.1.3 冲击韧度

以很大的速度作用于工件上的载荷称为冲击载荷。许多机械零部件在工作过程中会受到冲击载荷的作用,如锻锤的锤杆、冲床的冲头等。金属在受冲击时,应力分布与变形很不均匀,故在设计 and 制造受冲击载荷作用的零件和工具时,仅考虑静载荷强度指标是不够的,还必须考虑所用材料在冲击载荷作用下抵抗破坏的能力即冲击韧度。

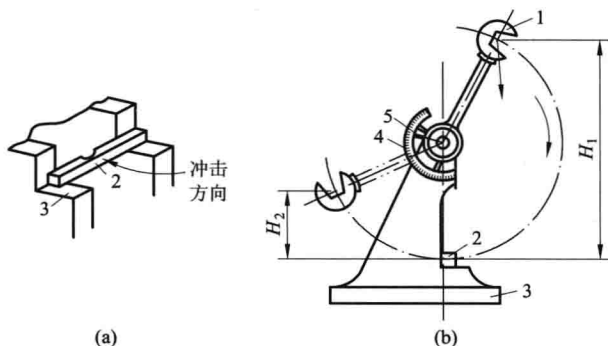


图 1-7 冲击试验原理图

1—摆锤;2—试样;3—机架;4—指针;5—刻度盘

目前最常用的冲击试验方法是摆锤式一次冲击弯曲试验,其试验原理如图 1-7 所示。将待测的材料加工成标准试样,然后放在试验机的支座上,把试样缺口背向摆锤冲击方向。将具有一定重力 G 的摆锤举至一定高度 H_1 ,使其具有势能(GH_1),然后将摆锤放下,将试样冲断后摆锤上摆到 H_2 高度。在忽略摩擦和阻尼等条件下,摆锤冲断试样所做的功,称为冲击吸收功,以 A_K 表示,且 $A_K = GH_1 - GH_2$ 。 A_K 除以试样的缺口处截面积 S_0 ,即得到冲击韧度,用 α_K 表示,单位为 J/cm^2 。

$$\alpha_K = A_K / S_0 \quad (1-7)$$

对一般常用钢材来说,所测冲击吸收功越大,材料的韧性越好。但由于测出的冲击吸收功的组成比较复杂,所以有时候测得的 A_K 值及计算出来的 α_K 值不能真正反映材料的韧脆性质。

长期的生产实践证明, A_K 或 α_K 值对材料的组织缺陷十分敏感,能够灵敏地反映出材料品质、宏观缺陷和显微组织方面的微小变化,因而冲击实验是生产上用来检验冶炼和热加工质量的有效方法之一。实践还表明,温度对一些材料的韧脆程度影响较大, A_K 值随温度的降低而减小;在某一温度范围时,材料的 A_K 值急剧下降,表明此时材料由韧性状态向脆性状态转变,此时的温度称为韧脆转变温度。在寒冷地区和低温下工作的机械及工程结构要充分考虑该因素。

1.1.4 断裂韧性

在常规机械零件(或构件)强度设计中,我们假定材料是均匀、连续、各向同性的。只要零件或构件的工作应力在许用应力之下都是安全的,既不会发生塑性变形,更不会发生断裂。但实际情况并非如此,有些高强度钢制造的零件或构件和中、低强度钢制造的大型件,在工作应力远低于屈服强度时就发生脆性断裂,如高压容器的爆炸和桥梁、船舶的突然折断等。这种在屈服强度以下的脆性断裂称为低应力脆断。

大量断裂事例分析表明,低应力脆断是由于材料中宏观裂纹扩展引起的。实际上,材料内部组织远非是均匀的、各向同性的,组织中有微裂纹、夹杂物、气孔等缺陷,这些都可看成是材料中的裂纹。当材料受到外力时,这些裂纹的尖端附近便出现应力集中,形成应力场。裂纹能否扩展取决于裂纹尖端处的应力场的大小。衡量裂纹尖端附近应力场强弱程度的力学参数称为应力强度因子 K_I ,其大小与裂纹尺寸 α 和外加应力 σ 有以下关系:

$$K_I = Y\sigma\sqrt{\alpha} \quad (1-8)$$

式中: Y ——与裂纹形状、试样类型、加载方式有关的系数(一般 $Y=1\sim 2$);

α ——裂纹尺寸的一半(m);

σ ——外加拉应力(MPa)。

对于有裂纹的试样或机件,随着外加拉应力的增大,或裂纹的扩展, K_I 也随之增大。当 K_I 增大到某一临界值时,试样或机件中的裂纹会突然失稳扩展、导致断裂。这个应力强度因子的临界值称为材料的断裂韧性,用 $K_{Ic} = Y\sigma_c\sqrt{\alpha}$ 表示,它反映材料抵抗裂纹失稳扩展、抵抗脆性断裂的能力。当 $K_I < K_{Ic}$ 时,裂纹不扩展或扩展缓慢;当 $K_I \geq K_{Ic}$ 时,则材料发生失稳脆断。

断裂韧性是材料本身的一种力学性能,主要取决于材料的成分、组织结构及各种缺陷,并与生产工艺过程有关。因此,适当调整材料的成分,通过合理冶炼、加工和热处理以获得最佳组织,从而提高材料的断裂韧性,提高含裂纹构件的承载能力。

1.1.5 疲劳极限

工程中许多机械零件(如轴、齿轮、弹簧等)都是在交变载荷作用下工作的,它们工作时所承受的应力通常都低于材料的屈服强度。但经过长时间的工作会产生裂纹或突然断裂,这种现象称为金属的疲劳。金属抵抗这种疲劳破坏的能力称为疲劳强度。疲劳破坏是机械零件失效的一种主要形式,据统计,80%机械零件的失效是由金属疲劳造成的。不管是塑性材料还是脆性材料,在断裂前没有明显的塑性变形,发生突然断裂,具有很大的危险性,常常造成严重事故。

产生疲劳断裂的原因,一般认为是由于应力高度集中在材料表面或内部有缺陷的地方,引起局部裂纹,这些裂纹随着应力循环次数的增加而逐渐扩展,使承载面积大大减小,一直不能承受加载而突然破坏。

通常材料疲劳性能的测定是在旋转弯曲疲劳试验机上进行的。试验证明,金属材料承受的最大交变应力 σ 越大,则断裂前所经受的循环应力次数 N (疲劳寿命)越小;反之最大交变应力 σ 越小,则 N 越大。在交变载荷下,金属材料承受的交变应力(σ)和断裂时应力循环次数(N)之间的关系,通常用疲劳曲线来描述,如图 1-8 所示。当应力低于某值时,应力循环

到无数次也不会发生疲劳断裂,此应力值称为材料的疲劳极限,以 σ_r 表示,通常纯弯曲疲劳极限用 σ_{-1} 表示。事实上,材料不可能作无限次交变应力试验,对于钢铁材料,把循环数达到 10^7 次时的最大应力作为材料的疲劳极限。有色金属和合金通常规定循环数达到 10^8 次时的最大应力作为材料的疲劳极限。

金属的疲劳极限与抗拉强度紧密相关,对钢来说,其关系为 $\sigma_{-1} = 0.45 \sim$

$0.55\sigma_b$ 。为了防止疲劳断裂事故的发生,除合理选材之外,还可通过以下途径来提高疲劳极限:在零件结构设计时应尽量避免尖角、缺口和截面突变;降低零件表面粗糙度,提高表面加工质量,尽量减少表面缺陷(氧化、脱碳、裂纹、夹杂)和表面损伤(刀痕、擦伤、生锈);采用表面淬火、化学热处理、喷丸处理等表面强化处理提高疲劳极限。

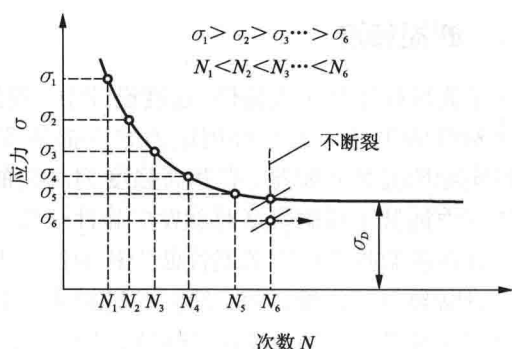


图 1-8 疲劳曲线示意图

课题二 铁碳合金

钢铁是由铁和碳元素组成的合金,又称铁碳合金,是工业上应用最广泛的金属材料。不同成分的铁碳合金在不同温度下具有不同的组织,表现出不同的性能。为了熟悉钢铁材料、合理选用钢铁材料,须研究钢铁材料的内部结构,认识铁碳合金本质,了解铁碳合金成分、组织与性能的关系。

1.2.1 铁碳合金的基本组织

1. 纯铁的同素异构转变

金属在固态下,随着温度的改变由一种晶格转变为另一种晶格的现象称为同素异构转变。纯铁就是典型的具有同素异构转变特性的金属,可以形成体心立方和面心立方两种晶格的同素异构体。图 1-9 是纯铁在常压下的冷却曲线。由图可见,纯铁的熔点为 1538°C ,在 1394°C 和 912°C 出现水平平台。经分析,纯铁在 1538°C 结晶得到体心立方晶格的 $\delta\text{-Fe}$;当温度下降到 1394°C 时, $\delta\text{-Fe}$ 转变为面心立方晶格的 $\gamma\text{-Fe}$;在 912°C 时, $\gamma\text{-Fe}$ 又转变为体心立方晶格,称为 $\alpha\text{-Fe}$ 。再继续冷却时,晶格类型不再发生变化。由于纯铁具有这种同素异构转变,因而才有可能对钢和铸铁进行各种热处理,以改变其组织和性能。

纯铁的同素异构转变的特点:有一定的平衡转变温度(相变点);相转变时需要较大的过冷度;转变过程由晶核的形成和晶核的长大来完成的;转变时由于晶格致密度的改变,将引起晶体体积的变化,因此转变时会产生较大的内应力。

纯铁的磁性转变温度为 770°C 。磁性转变不是相变,晶格不发生转变。

2. 铁碳合金的基本相及其性能

在液态下,铁和碳可以互溶成均匀的液体。在固态下,碳可有限地溶于铁的晶格中形成间隙固溶体。当含碳量超过在相应温度固相的溶解度时,多余的碳与铁形成金属化合物——渗碳体。在一定条件下,还可形成固溶体与渗碳体的机械混合物。其基本相有以下几种: