

金属工艺学基础

● 主编 宋金虎

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

高等职业院校“十三五”课程改革优秀成果规划教材

金属工艺学基础

主 编 宋金虎
副主编 侯文志 韩 磊
参 编 侯文志 陈伟栋 孙丽萍



内 容 提 要

金属工艺学基础是高职高专机械类、近机械类专业必修的一门综合性技术基础课。本书根据高等职业教育人才培养目标要求编写，主要内容包括金属材料性能的认知、金属材料组织结构的认知、钢的热处理、常用金属材料的选择、铸造成形、金属压力加工、焊接成形、金属切削加工、机械零件成形方法的选择等九个项目。

本书突出职业教育的特点，在内容上“与实际岗位工作内容紧密结合、融入国家职业资格标准”，在形式上“充分体现基于典型工作过程”的职业教育理念。本书以“必需、够用”为原则编写，以掌握概念、强化应用为教学重点，侧重应用能力的培养，简化了理论介绍，注重基本原理、工艺特点，知识面宽而浅。

本书可作为高等职业院校、高等专科学校、高级技工学校、技师学院、成人教育学院等大专层次的机械类、近机械类各专业教材，也可供中等专业学校机械类专业的学生选用，同时可作为技术工人培训用书、广大自学者的自学用书及工程技术人员的参考书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目（CIP）数据

金属工艺学基础 / 宋金虎主编. —北京：北京理工大学出版社，2017.1（2017.2重印）

ISBN 978 - 7 - 5682 - 3569 - 3

I. ①金… II. ①宋… III. ①金属加工 - 工艺学 - 高等职业教育 - 教材 IV. ①TG

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2017）第 007476 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775（总编室）

(010) 82562903（教材售后服务热线）

(010) 68948351（其他图书服务热线）

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 /

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 18.5

字 数 / 432 千字

版 次 / 2017 年 1 月第 1 版 2017 年 2 月第 2 次印刷

定 价 / 44.00 元

责任编辑 / 封 雪

文案编辑 / 张鑫星

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 马振武

图书出现印装质量问题，请拨打售后服务热线，本社负责调换

前 言

金属工艺学基础是高职高专机械类、近机械类专业必修的一门综合性技术基础课。本书根据高等职业教育人才培养目标要求编写，主要内容包括金属材料性能的认知、金属材料组织结构的认知、钢的热处理、常用金属材料的选择、铸造成形、金属压力加工、焊接成形、金属切削加工、机械零件成形方法的选择等九个项目。

本书突出职业教育的特点，在内容上“与实际岗位工作内容紧密结合、融入国家职业资格标准”，在形式上“充分体现基于典型工作过程”的职业教育理念。本书以“必需、够用”为原则编写，以掌握概念、强化应用为教学重点，侧重应用能力的培养，简化了理论介绍，注重基本原理、工艺特点，知识面宽而浅。书中大量实例均来自生产实际，注重内容的实用性与针对性。采用项目式教学方式，每个项目按照项目引入，项目分析，任务（任务引入、任务目标、相关知识、任务实施），知识扩展，复习思考题的学习流程进行设计，便于实现教学做一体化教学。

本教材按总课时 64 学时编写，在实际教学中，教师可结合各专业的具体情况适当增减，有些内容可供学生自学。金属工艺学基础实践性比较强，建议授课教师根据不同教学内容和特点进行现场教学，教学环境可考虑移到专业实训室、金工车间、企业生产车间中，尽量采用“教、学、做”一体的教学模式。

本书由山东交通职业学院宋金虎担任主编，山东交通职业学院侯文志和山东服装职业学院韩磊担任副主编。具体分工如下：项目一、项目二、项目七由宋金虎编写，项目三由韩磊编写，项目四、项目六由侯文志编写，项目五由卢洪德编写，项目八由陈伟栋编写、项目九由孙丽萍编写，宋金虎负责全书的统稿、定稿。宏天重工的徐玉平、福田汽车的王道辉、长城建材的王其科对本书的编写提供了技术支持和建设性意见并参加了部分内容的编写，在此深表感谢！另外，本书编写过程中参考了许多文献资料，编者谨向这些文献资料的编著者及支持编写工作的单位和个人表示衷心的感谢。

由于许多新技术、新工艺纷纷出现，加之编者水平有限，书中难免有疏漏和欠妥之处，恳切希望广大读者批评指正，以求改进。

编 者

目 录

绪论	1
项目一 金属材料性能的认知	3
任务 1-1 金属材料力学性能的认知	4
项目二 金属材料组织结构的认知	11
任务 2-1 金属材料晶体结构的认知	12
任务 2-2 铁碳合金状态图的应用	21
项目三 钢的热处理	31
任务 3-1 钢的热处理的认知	32
任务 3-2 钢的普通热处理	37
任务 3-3 钢的表面热处理	44
任务 3-4 零件常见热处理缺陷分析及预防措施	47
项目四 常用金属材料的选择	52
任务 4-1 工业用钢的选择	53
任务 4-2 铸铁的选择	60
任务 4-3 非铁合金及粉末冶金的选择	66
项目五 铸造成形	72
任务 5-1 铸造成形的认知	73
任务 5-2 铸造成形方法的选择	87
任务 5-3 铸造成形工艺设计	93
任务 5-4 铸件结构工艺性分析	103
任务 5-5 常见铸造缺陷控制及修补	109
项目六 金属压力加工	118
任务 6-1 金属压力加工的认知	119
任务 6-2 锻造结构工艺设计	123
任务 6-3 板料冲压结构工艺设计	150
项目七 焊接成形	182
任务 7-1 焊接成形的认知	183
任务 7-2 焊接方法的选择	191
任务 7-3 焊接结构材料的选择	197
任务 7-4 焊接结构工艺设计	202
任务 7-5 常见焊接缺陷产生原因分析及预防措施	207
任务 7-6 焊接质量检验	209

项目八 金属切削加工	219
任务 8-1 金属切削加工的认知	220
任务 8-2 切削加工方法的选择	233
任务 8-3 零件切削加工工艺的制定	246
项目九 机械零件成形方法的选择	261
任务 9-1 机械零件失效的认知	261
任务 9-2 机械零件材料的选择	267
任务 9-3 零件毛坯成形方法的选择	277
参考文献	288

绪 论

金属工艺学基础是一门关于机械零件的制造方法及其用材的综合性技术基础课。它系统地介绍工程材料的性能、应用及改进材料性能的工艺方法；各种成形工艺方法及其在机械制造中的应用和相互联系；机械零件的加工工艺过程等方面的基础知识。

材料被广泛应用于机械工程、建筑工程、航空航天、医疗卫生等领域，是人类赖以生存和发展的物质基础。材料技术的发展在改造和提升传统产业，增强综合国力和国防实力方面起着重要的作用，世界各发达国家都非常重视材料的发展。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。

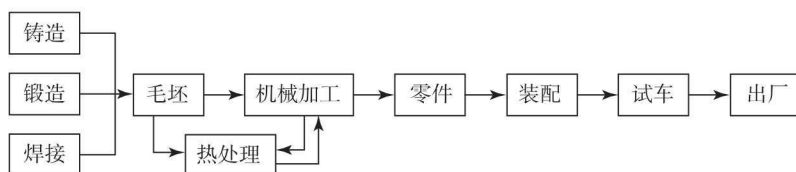
现代材料种类繁多，据粗略统计，目前世界上的材料总和已经达到 40 余万种，并且每年还以 5% 的速度增加。材料按经济部门可分为土木建筑材料、机械工程材料、电子材料、航空航天材料、医学材料等；按材料的功能分为结构材料、功能材料。

工程材料是指工程上使用的材料，按化学成分分为金属材料，非金属材料（高分子材料、无机非金属材料）和复合材料。金属材料具有优良的力学性能、物理性能、化学性能以及工艺性能，一般能满足机器零件、工程结构等的使用要求，而且金属材料还可以通过热处理改变其组织和性能，从而进一步扩大使用范围。因此，金属材料是目前应用最广泛的工程材料。

材料只有经过各种不同的成形方法加工，使其成为毛坯或制品后，才具有使用价值。合理的成形工艺、先进的成形技术才能使材料成为所需的毛坯或制品。随着人类社会的进步、生产力的发展，材料的成形技术也经历了从简单的手工操作到如今复杂的、大型化的、智能化和机械化生产的发展过程。

一件机械产品，从设计、加工制造到使用，是一个复杂的过程。根据设计信息将原材料和半成品转变为产品的全部过程称为机械制造过程。机械制造过程包括材料的选择，毛坯的成形，零件的切削加工、热处理，部件和产品的装配等。合格的机械产品是优良的设计、合理的选材和正确的加工这三者的整体结合。

任何一台机械产品都是由若干个具有不同几何形状和尺寸的零件按照一定的方式装配而成的。由于使用要求不同，各种机械零件需选用不同的材料制造，并具有不同的精度和表面质量。因此要加工出各种零件，应采用不同的加工方法。金属机械零件的成形工艺方法一般有：铸造、锻造（压力加工）、焊接、切削加工和特种加工等。在机械制造过程中，通常是先用铸造、锻造（压力加工）和焊接等方法制成毛坯，再进行切削加工，才能得到所需的零件。当然，铸造、锻造（压力加工）、焊接等工艺方法，也可以直接生产零部件。此外，为了改善零件的某些性能，常需要进行热处理，最后将检验合格的零件加以装配，成为机器。简单的机械制造过程如下：



本课程是高职高专机械类、近机械类专业必修的一门综合性技术基础课。

本课程的主要任务是：

- ①熟悉常用金属材料的组织、性能、应用及改进材料性能的工艺方法；
- ②熟悉各种成形工艺方法及其在机械制造中的应用；
- ③熟悉机械零件成形方法的选择；
- ④培养学生严谨的科学态度、实践动手能力以及分析问题的能力。

通过本课程的学习，学生应达到下列基本要求：

- ①基本掌握常用金属材料的牌号、性能、用途及选用原则；
- ②基本掌握钢铁材料热处理的基本原理，初步掌握普通热处理方法的工艺特点和应用范围；
- ③初步具有合理选择材料、机械零件成形方法，确定零件生产工艺过程、热处理工序位置的能力；
- ④掌握铸造、压力加工、焊接和切削加工等常用成形工艺方法的基本原理、特点和应用范围；
- ⑤初步掌握简单机械零件铸造、压力加工、焊接和切削加工工艺设计知识；
- ⑥初步学会分析一般零件毛坯结构的工艺性。

本课程的学习强调理论联系实际，注重各种能力的培养。因此，在课程教学中应注意教学方法和形式的改革，注意与专业课程建设的配合联系。每项目的复习思考题是本项目教学的必要环节，既是巩固、复习所学知识的手段，又是理论联系实际，调动学生灵活运用知识和学习主动性的途径，应予以充分重视。

本课程运用多种媒体并实现合理配置进行教学。建议授课教师根据不同教学内容和特点进行现场教学，教学环境可考虑移到专业实训室、金工车间、企业生产车间中，尽量采用“教、学、做”一体的教学模式。

项目一 金属材料性能的认知

项目引入

1912年4月10日，泰坦尼克号（图1.1）从英国南安普敦出发驶向美国纽约，开始了这艘“梦幻客轮”的处女航。1912年4月14日晚11时40分，泰坦尼克号在北大西洋撞上冰山，拦腰整体断裂。两小时四十分后沉没，由于只有20艘救生艇，1523人葬身海底，造成了当时最严重的一次航海事故。

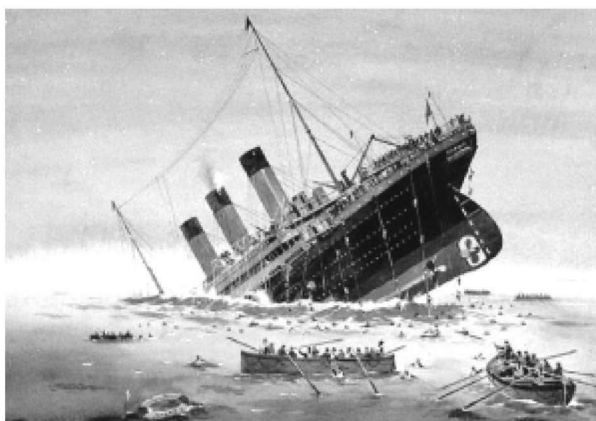


图 1.1 泰坦尼克号

项目分析

导致泰坦尼克号沉没的原因是什么？除了环境恶劣、航速过快、指挥操作有误和设计原因外，还有一个关键的技术原因——材料。

造船工程师只考虑到提高钢板的硬度，而没有想到提高其韧性。为了提高钢板的硬度，向炼钢炉料中加入大量的硫化物，导致钢材在低温下的脆性大大提高。经实验，从海底打捞出来的钢材，在当时的水温下，在受到可能强度的撞击下，很快断裂。

本项目主要学习：

金属材料的力学性能，包括强度、塑性、硬度、冲击韧性和疲劳强度；金属材料的工艺性能，包括铸造性能、锻造性能、焊接性能和切削加工性能。

1. 知识目标

- ◆ 熟悉并掌握金属材料的常用力学性能。
- ◆ 掌握常用的硬度测试方法和适用范围。
- ◆ 掌握冲击韧性、疲劳强度的概念及衡量指标。

- ◆ 了解金属材料的工艺性能。

2. 能力目标

- ◆ 能根据强度和塑性值分析材料的承载能力。
- ◆ 能根据材料和热处理状态，选择硬度测试方法。

3. 工作任务

任务 1-1 金属材料力学性能的认知

金属材料具有多种良好的性能，被现代机械制造业广泛地应用于各种生产活动中，它是制造机械设备、工具量具、武器装备和生活用具的基本材料。为了设计制造出具有竞争力的机械产品，必须首先了解和掌握金属材料的各种性能，如物理性能、化学性能、力学性能和工艺性能等。

金属材料的性能包含使用性能和工艺性能两个方面。使用性能是指金属材料在使用条件下所表现出来的各种特性，包括物理性能、化学性能和力学性能。使用性能是保证机械零件或工具能正常工作应具备的性能。工艺性能是指金属材料对不同加工工艺方法的适应能力，也是采用某种工艺方法将金属材料制造成产品的难易程度。工艺性能包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、热处理性能以及切削加工性能等。

任务 1-1 金属材料力学性能的认知

任务引入

某厂购进一批 15 钢，为进行入厂验收，制成 $d_0 = 10 \text{ cm}$ 的圆形截面短试样 ($L_0 = 5d_0$)，经拉伸试验后，测得 $F_m = 33.81 \text{ kN}$ 、 $L_u = 65 \text{ mm}$ 、 $d_u = 6 \text{ mm}$ 。15 钢的力学性能判据应当符合下列条件： $\sigma_m \geq 375 \text{ MPa}$ 、 $A \geq 27\%$ 、 $Z \geq 55\%$ 。试问这批 15 钢的力学性能是否合格？

任务目标

熟悉并掌握金属材料的常用力学性能，能根据强度和塑性值分析材料的承载能力；掌握常用硬度的测试方法和适用范围，能根据材料和热处理状态，选择硬度测试方法；掌握冲击韧性、疲劳强度的概念及衡量指标。

相关知识

在设计、制造机械设备及工具时，所选用的金属材料首先应当满足使用性能，使用性能一般以力学性能为主要依据。金属材料的力学性能是指金属材料在各种载荷作用下所表现的性能。金属材料的力学性能包括强度、塑性、硬度、冲击韧性和疲劳强度等。

一、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，拉伸试样的形状一般分为圆形（图 1.2）、矩形、多边形、环形。在低碳钢标准试样的两端

缓慢地施加拉伸载荷,使试样在工作部分受轴向拉力 F ,引起试样沿轴向产生伸长 ΔL ,随着 F 值的增大, 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,如图1.3所示。将拉力除以试样的原始截面积 S_0 ,得到拉应力 R (单位截面积上的拉力);将伸长量 ΔL 除以试样的标距长度 L_0 ,得到延伸率 e (试样拉伸断裂后标距段的总变形 ΔL 与原标距长度 L_0 之比的百分数)。根据 R 和 e ,则可以画出应力-延伸率曲线,如图1.4所示。应力-延伸率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。

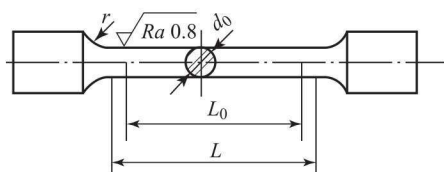


图 1.2 标准拉伸试样

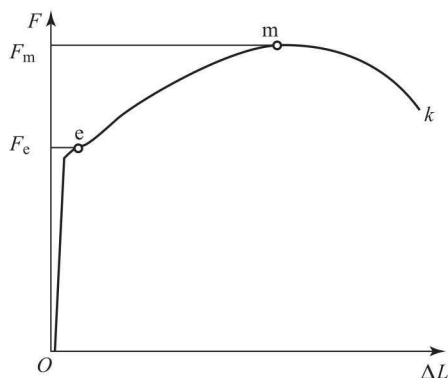


图 1.3 退火低碳钢的拉伸曲线

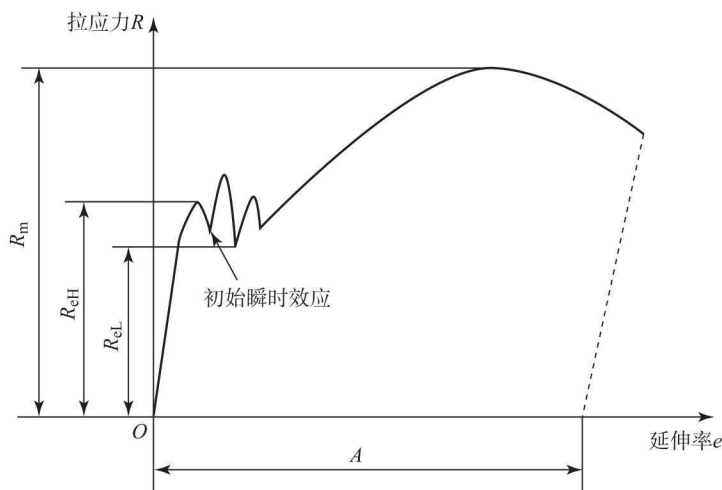


图 1.4 应力-延伸率曲线

静载拉伸下材料的力学性能指标主要有以下几个。

1. 抗拉强度 R_m

在拉伸曲线上, m 点所对应的应力值称为抗拉强度,它是试样拉断前所能承受的最大应力值,也称为强度极限,即试样所能承受的最大载荷除以原始截面积,以 R_m 表示(单位为MPa),即

$$R_m = \frac{F_m}{S_0}$$

式中 F_m ——试样所能承受的最大载荷。

抗拉强度体现材料抵抗最大均匀变形的能力，表示材料在拉伸条件下所能承受最大载荷的应力值，它是设计和选材的主要依据之一。

2. 屈服强度

在拉伸曲线中，e 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，称为材料的屈服现象，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称为塑性变形。屈服强度是指当金属材料呈现屈服现象时，在试验期间达到塑性变形发生而力不增加的应力点，分上屈服强度 (R_{eH}) 和下屈服强度 (R_{eL})。上屈服强度 R_{eH} 是指试样发生屈服而力首次下降前的最大应力；下屈服强度 R_{eL} 是指在屈服期间，不计初始瞬时效应时的最小应力。

当金属材料在拉伸试验过程中没有明显屈服现象发生时，应测定规定塑性延伸强度 (R_p) 或规定残余延伸强度 (R_r)。 $R_{p0.2}$ 表示规定塑性延伸率为 0.2% 时的应力； $R_{r0.2}$ 表示规定残余延伸率为 0.2% 时的应力。

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。

3. 弹性极限 σ_e 和弹性模量 E

在拉伸曲线上，e 点以前产生的变形是可以恢复的，称为弹性变形，e 点对应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，其值大小反映材料弹性变形的难易程度，称为弹性模量 E （单位为 GPa），即

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

弹性模量 E 体现了材料抵抗弹性变形的能力。在工程上，零件或构件抵抗弹性变形的能力称为刚度。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，凡影响原子间作用力的因素均能影响材料的弹性模量，如晶体材料的晶格类型、原子间距等，其他强化手段对弹性模量的影响极小。

二、塑性

塑性表示材料抵抗塑性变形的能力。衡量塑性的常用指标是断后伸长率和断面收缩率，两者均无单位量纲。

1. 断后伸长率

断后伸长率是指试样拉断后标距增长量与原始标距长度之比，用符号 A 表示，即

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\%$$

式中 L_0 ——拉伸试样的原始标距长度，mm；

L_u ——拉伸试样拉断后的标距长度，mm。

2. 断面收缩率

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比，用符号 Z 表

示,即

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \times 100\%$$

式中 S_0 ——拉伸试样的原始横截面积, mm^2 ;

S_u ——拉伸试样拉断处的横截面积, mm^2 。

材料的断后伸长率 A 和断面收缩率 Z 的数值越大,则表示材料的塑性越好。由于断面收缩率比断后伸长率更接近材料的真实应变,因而在塑性指标中,采用断面收缩率比断后伸长率更为合理,但现有的材料塑性指标往往仍较多地采用断后伸长率。

材料的塑性对进行冷塑性变形加工的工件有着重要的作用。此外,在工件使用过程中如果出现过载,由于工件能发生一定的塑性变形,而不至于发生突然破坏,起到一定的安全作用。同时,在工件的应力集中处,塑性能起到削减应力峰(即局部的最大应力)的作用,从而保证工件不致突然断裂,这就是大多数工件除要求高强度外,还要求具有一定塑性的原因。

三、硬度

硬度是材料力学性能的一个重要指标,它体现了材料的软硬程度。目前生产中测定硬度的最常用方法是压入硬度法。压入硬度法是指用一定几何形状的压头在一定载荷下压入被测试的材料表面,根据被压入程度来测定其硬度值。用同样的压头在相同大小载荷作用下压入材料表面时,若压入程度越大,则材料的硬度值越低;反之,硬度值就越高。因此,压入硬度法所表示的硬度是指材料表面抵抗更硬物体压入的能力。

在金属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。常用的硬指标度有布氏硬度和洛氏硬度。

1. 布氏硬度

布氏硬度试验法是用一直径为 D 的淬火钢球(或硬质合金球),在规定载荷 F 的作用下压入被测试材料的表面,如图 1.5 所示,停留一定时间,然后卸除载荷,测量钢球(或硬质合金球)在被测试材料表面上所形成的压痕直径 d ,由此计算出压痕面积,进而得到所承受的平均应力值,以此作为被测试材料的硬度,称为布氏硬度值,记作 HB 。

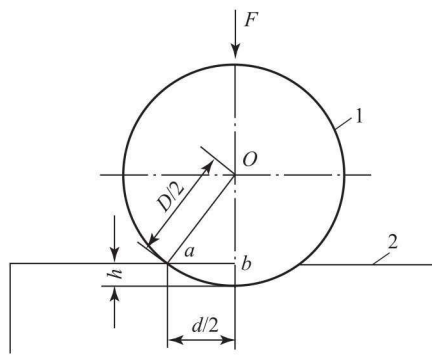


图 1.5 布氏硬度试验原理示意

1—压头; 2—试样

$$HB = \frac{F}{S} = \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

式中 F ——试验力, N;

D ——球体直径, mm;

d ——压痕的平均直径, mm。

进行布氏硬度试验时,当用淬火钢球作为压头时,用 HBS 表示,适用于布氏硬度值低于 450 的材料;当用硬质合金球作为压头时,用 HBW 表示,适用于布氏硬度值为 450 ~ 650 的材料。

布氏硬度试验的压痕面积较大，能反映出较大范围内被测试材料的平均硬度，故试验结果较精确，但操作烦琐。其适用于退火钢、正火钢，特别是对于组织比较粗大且不均匀的材料（如铸铁、轴承合金等），更是其他硬度试验方法所不能代替的。

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（金刚石圆锥或钢球）压入试样表面，然后根据压痕的深度来确定试样的硬度。

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。

四、冲击韧性

机械零部件在工作过程中不仅受到静载荷和变动载荷作用，而且往往受到不同程度的冲击载荷作用，如冲床、铆钉等。工程上，将金属材料在断裂前吸收塑性变形功和断裂功的能力，称为金属材料的韧性，也称冲击韧性，一般用吸收能量（符号 A_k ，单位为 J）表示。冲击韧性的测定一般是用一次摆锤冲击实验来测定，如图 1.6 所示。

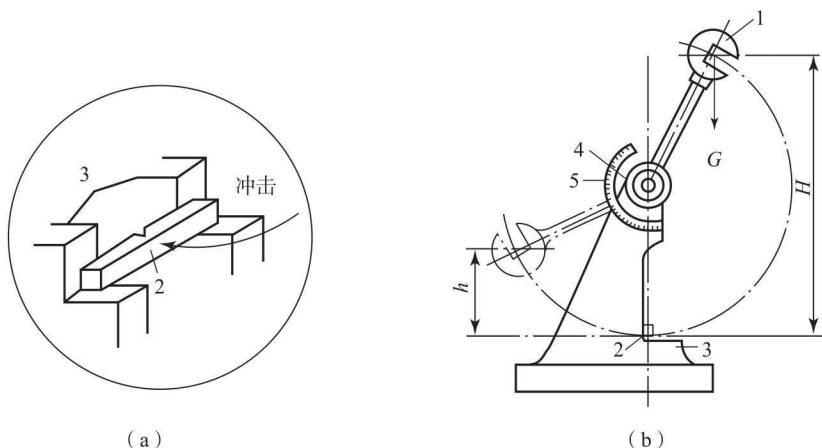


图 1.6 摆锤冲击实验示意

(a) 试样放置；(b) 冲击试验机

1—摆锤；2—试样；3—固定支座；4—指针；5—指示盘

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 K 值来反映冲击韧性有一定的局限性。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。

五、疲劳强度

1. 疲劳及疲劳强度

疲劳是指在变动载荷的作用下，零件经过较长时间工作或多次应力循环后所发生的突然

断裂现象。变动应力通常包括交变应力和重复应力。交变应力是指应力的方向和大小随着时间周期性变化的应力。变动应力的变化可以是周期性的、规律的变化，也可以是无规律的变化。许多零件如齿轮、曲轴、弹簧和滚动轴承等，都是在交变应力下工作的。据统计，各类断裂失效中，80%是由于各种不同类型的疲劳破坏所造成的。

疲劳断裂具有突然性，因此危害很大。疲劳断裂的特点如下：

①疲劳断裂是一种低应力脆断，断裂应力低于材料的屈服强度，甚至低于材料的弹性极限。

②断裂前，零件没有明显的塑性变形，即使断后伸长率 A 和断面收缩率 Z 很高的塑性材料，其断裂同样没有明显的塑性变形。

③疲劳断裂对材料的表面和内部缺陷非常敏感，疲劳裂纹常在表面缺口（如螺纹、刀痕和油孔等），脱碳层，夹渣物，碳化物及孔洞等处形成。

产生疲劳的原因，往往是由于零件应力高度集中的部位或材料本身强度较低的部位，在交变应力作用下产生了疲劳裂纹，并随着应力循环周次的增加不断扩展，使零件有效承载面积不断减小，最后突然断裂。零件疲劳失效的过程可分为疲劳裂纹产生、疲劳裂纹扩展和瞬时断裂三个阶段。

疲劳强度用来表示材料抵抗疲劳的能力。疲劳强度是通过测定材料在重复交变载荷（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。

2. 提高疲劳强度的途径

材料的疲劳强度与很多因素有关，为了提高材料的疲劳强度，应改善零件的结构形状以避免应力集中；提高零件表面加工光洁度；尽可能减少各种热处理缺陷（如脱碳、氧化、淬火裂纹等）；采用表面强化处理，如化学热处理、表面淬火、表面喷丸和表面滚压等强化处理，使零件表面产生残余压应力，从而显著提高零件的疲劳抗力。

任务实施

分别计算材料的 R_m 、 A 和 Z ，与应当符合的条件进行比较，做出判断。

知识扩展

金属的工艺性能是指金属材料对各种加工工艺和处理方法的适应能力。这种能力的大小，直接影响机械产品的质量、机械加工的生产率和生产成本。

1. 铸造性能

金属及合金材料在铸造成形中获得优良铸件的能力称为铸造性能，衡量铸造性能的指标有流动性、收缩性和偏析等。

影响金属材料流动性的因素是金属的化学成分和浇注温度等。流动性好的金属材料，容易充满铸型，获得外形完整、尺寸精确、轮廓清晰的铸件，故铸造性能就好。金属材料的收缩性能，直接影响铸件体积和外形尺寸，还会使铸件出现内应力、变形和开裂等现象，故金属材料的收缩率越小，铸造性能越好。金属材料的偏析现象，会使铸件内部的化学成分和组

织不均匀,从而降低铸件质量。因此,在铸造大型铸件时尤其要注意金属材料的偏析现象。在金属材料中,灰口铸铁和青铜的铸造性能较好。

2. 锻造性能

在压力加工中,将金属材料锻压成形的难易程度称为锻造性能。锻造性能的优劣,主要与金属材料的塑性和变形抗力有关。塑性好、变形抗力小的金属材料,锻造性能就好。如有色金属在室温状态下具有良好的锻造性能,而碳素钢只有在加热状态下进行锻造,其锻造性能才较好,而铸铝和铸铁则不能进行锻压加工。

3. 焊接性能

金属材料在一定的焊接工艺条件下焊接加工,能获得优质焊接接头的难易程度,称为焊接性能。焊接性能主要取决于金属材料的化学成分(主要是与碳当量有关)。低碳钢具有良好的焊接性能,高碳钢焊接性能较差;铸铁焊接性能很差,只能进行焊补。

4. 切削加工性能

金属材料在切削加工时的难易程度称为切削加工性能。切削加工性能指标主要用表面粗糙度、刀具寿命等来衡量。切削加工性能与金属材料组织状态如硬度、韧性、导热性和变形强化等因素有关。一般金属材料的硬度在 170 ~ 230 HBS 和具有足够的脆性时,切削加工性能好。所以铸铁比碳素钢切削加工性能好,碳素钢比高合金钢切削加工性能好。如果改变金属材料的化学成分或进行适当的热处理,可以改善并提高金属材料的切削加工性能。

复习思考题

一、填空题

1. 金属材料的性能分为_____性能和_____性能。
2. 金属材料的力学性能包括_____,_____,_____,_____和_____等。

二、名词解释

力学性能 强度 抗拉强度 塑性 冲击韧性 硬度 使用性能 工艺性能

三、简答题

1. 材料的弹性模量 E 的工程含义是什么? 它和零件的刚度有何关系?
2. 设计刚度好的零件,应根据何种指标选择材料? 材料的弹性模量 E 越大,则材料的塑性越差。这种说法是否正确? 为什么?
3. 常用的硬度测试方法有哪几种? 这些方法测出的硬度值能否进行比较?
4. 疲劳破坏是怎样形成的? 提高零件疲劳寿命的方法有哪些?
5. 冲击韧性是表示材料何种性能的指标? 为什么在设计中考虑这种指标?
6. 金属材料的工艺性能包含哪些方面?
7. 黄铜轴套和硬质合金刀片采用哪种硬度测试法较合适?

四、某厂购进一批 15 钢,为进行入厂验收,制成 $d_0 = 10 \text{ cm}$ 的圆形截面短试样 ($L_0 = 5d_0$),经拉伸试验后,测得 $F_m = 33.81 \text{ kN}$ 、 $L_u = 65 \text{ mm}$ 、 $d_u = 6 \text{ mm}$ 。15 钢的力学性能判据应该符合下列条件: $\sigma_m \geq 375 \text{ MPa}$ 、 $A \geq 27\%$ 、 $Z \geq 55\%$ 。试问这批 15 钢的力学性能是否合格?

项目二 金属材料组织结构的认知

项目引入

纯铜、纯铝较软，而钢却很硬，如图 2.1 所示。说明什么问题？为什么？

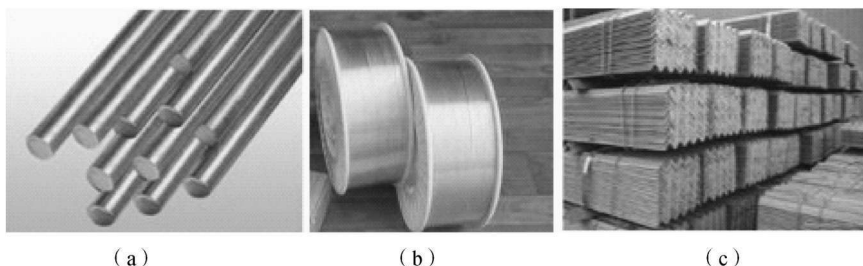


图 2.1 金属材料

(a) 纯铜；(b) 纯铝；(c) 钢

项目分析

不同的金属材料具有不同的力学性能，即使同一种金属材料，在不同的条件下其力学性能也是不同的。金属力学性能的这些差异，从本质上来说，是由其内部结构所决定的。因此，掌握金属的内部结构及其对金属性能的影响，对于选用和加工金属材料，具有非常重要的意义。

本项目主要学习：

金属材料的晶体结构，包括金属的晶体结构与结晶、合金的基本概念和基本结构、纯金属的结晶、金属的同素异构转变；铁碳合金状态图，包括铁碳合金的基本知识、铁碳合金相图、典型铁碳合金的结晶过程分析、碳对碳钢组织和性能的影响、Fe-Fe₃C 相图在工业中的应用。

1. 知识目标

- ◆ 掌握材料的晶体结构与非晶体结构的结构特点。
- ◆ 掌握合金的晶体结构的基本类型，理解强化的机理。
- ◆ 熟悉金属的结晶过程，理解金属的同素异构现象。
- ◆ 掌握铁碳合金的结晶过程、碳含量对铁碳合金组织和性能的影响。
- ◆ 掌握铁碳合金相图的应用。

2. 能力目标

- ◆ 能够分析晶粒大小对金属力学性能的影响。
- ◆ 能够分析含碳量对铁碳合金组织和性能的影响，正确应用铁碳合金状态图。

3. 工作任务

任务 2-1 金属材料晶体结构的认知

任务 2-2 铁碳合金状态图的应用