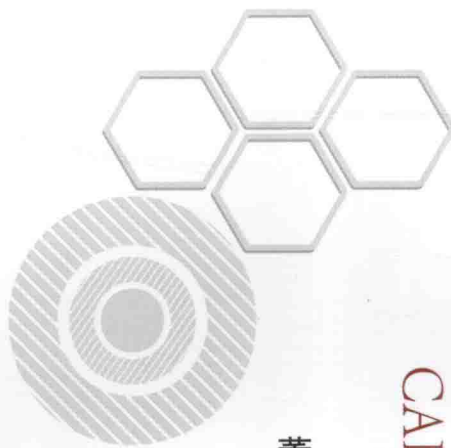
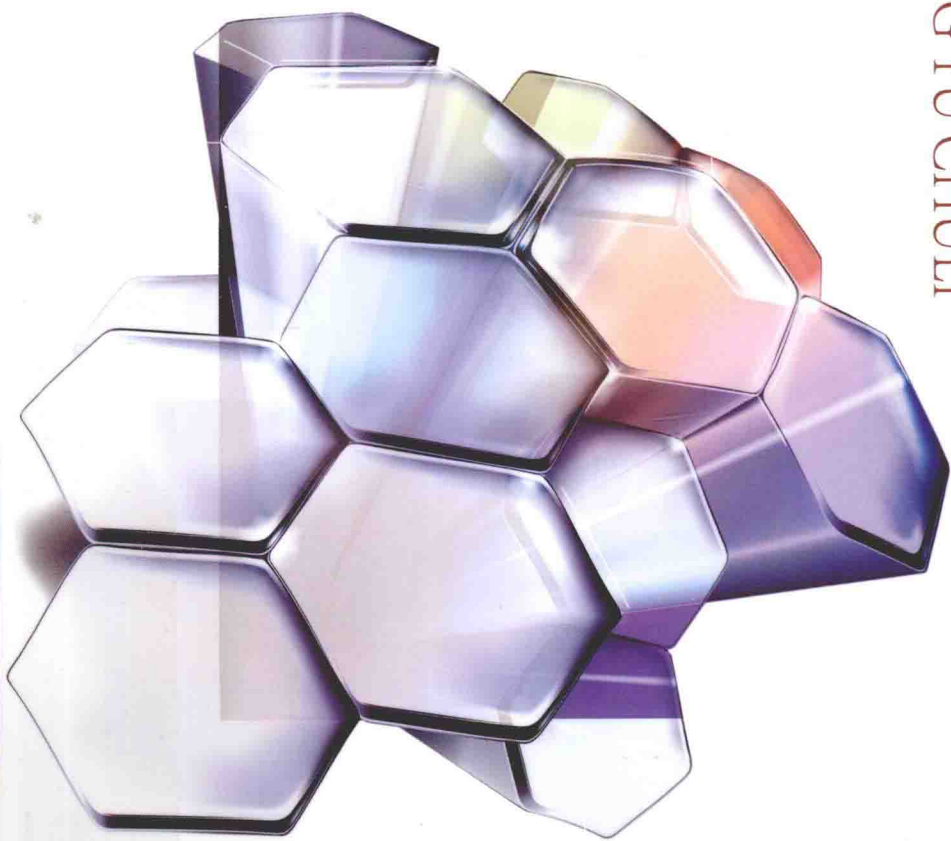


职业教育『十三五』规划课程改革创新教材

# 材料应用与处理

CAILIAO YINGYONG YU CHULI

董虹星 张晓东 主编



3



科学出版社

职业教育“十三五”规划课程改革创新教材

# 材料应用与处理

董虹星 张晓东 主编

刘秋平 副主编



科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书主要介绍了材料应用与热处理的相关知识,内容紧贴行业形势。本书共分8个单元:材料及其性能和选用原则、材料的基本结构及形变、热处理基础、钢的组成及热处理、铸铁、有色金属及其合金、其他非金属材料、材料失效分析。鉴于材料知识的理论性和阅读对象的定位,本书摒弃了一些复杂的不适合初学者的学习内容,如包晶相图等。

本书既可作为高等院校机械工程系的必修课教材,又可作为相关工科专业学生的选修课教材,还可作为相关领域的工程技术人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

材料应用与处理/董虹星,张晓东主编. —北京:科学出版社,2015  
(职业教育“十三五”规划课程改革创新教材)  
ISBN 978-7-03-044374-8

I. ①材… II. ①董… ②张… III. ①模具—材料—高等学校—教材  
②模具—热处理—高等学校—教材 IV. ①TG162.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 109370 号

责任编辑:李太铄 张振华 / 责任校对:刘玉靖  
责任印制:吕春珉 / 封面设计:曹 来

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行

各地新华书店经销

\*

2015年7月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2015年7月第一次印刷 印张:12 3/4

字数:290 000

定价:27.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换<双青>)

销售部电话 010-62142126 编辑部电话 010-62135120-2005 (VT03)

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303

## 前 言

21 世纪前后, 现代自然科学不断发展, 新材料及新工艺不断涌现, 传统工艺不断变革。为适应这样的发展趋势, 使读者掌握材料应用与处理的基本原理, 为解决现代工程材料的应用与热处理问题打下基础, 编者在汲取同类教材优点的基础上, 结合相关大专院校的教学改革成果及编者多年的教学经验编写了本书。

本书以培养生产一线需要的高等技术应用型人才为目标, 较系统地介绍了材料科学与工程、工程材料的热处理基础理论; 紧密结合材料选用和热处理的现状和发展动向, 补充了较多的应用实例和实验实训; 介绍了行业前沿的成果, 以便为读者进一步学习打下必要的基础。本书力求适应机械工程学科的教学改革要求, 使读者提高分析问题和解决问题的能力。使用本书时, 可根据具体情况进行必要的调整或增删, 有些内容可以自学。

在编写本书的过程中, 编者始终贯彻标准优先、工学结合的理念。本书通过对材料的性能、分类、热处理方式、失效形式等进行了梳理, 突出对学生解决问题能力的培养。

本书由董虹星(杭州科技职业技术学院)、张晓东(杭州科技职业技术学院)任主编, 刘秋平(浙江工业大学)任副主编。其中, 单元 1、单元 2、单元 6 由董虹星编写, 单元 3、单元 4、单元 5 由张晓东编写, 单元 7、单元 8 由刘秋平编写。全书由刘秋平统稿。

编者在编写本书的过程中, 参阅并引用了有关教材、手册及其他文献, 在此向有关作者表示感谢; 同时还得到了各院校有关领导和同志的支持和帮助, 在此表示衷心的感谢。

本书涉及的专业知识面较广, 由于编者的水平有限, 书中难免有疏漏和不足之处, 敬请广大读者批评指正。

编 者

2014 年 12 月

# 目 录

|                     |    |
|---------------------|----|
| 单元 1 材料及其性能和选用原则    | 1  |
| 1.1 工程材料            | 2  |
| 1.2 材料的性能           | 2  |
| 1.2.1 材料的使用性能       | 2  |
| 1.2.2 材料的高温力学性能     | 8  |
| 1.2.3 材料的工艺性能       | 8  |
| 1.3 材料的选用原则         | 8  |
| 1.3.1 材料的使用性能原则     | 8  |
| 1.3.2 材料的工艺性能原则     | 9  |
| 1.3.3 材料的经济性能原则     | 9  |
| 实验 1 金属材料的硬度测试      | 10 |
| 实验 2 金属材料的应力-应变曲线测试 | 11 |
| 小结                  | 13 |
| 习题                  | 13 |
| 单元 2 材料的基本结构及形变     | 16 |
| 2.1 晶体结构            | 17 |
| 2.2 理想金属的晶体结构       | 17 |
| 2.2.1 金属的特性和金属键     | 17 |
| 2.2.2 金属中的常见结构      | 17 |
| 2.3 实际金属的晶体结构       | 20 |
| 2.3.1 多晶体与亚组织       | 20 |
| 2.3.2 晶体的缺陷         | 21 |
| 2.4 合金的晶体结构         | 23 |
| 2.4.1 组元、相、组织、合金    | 23 |
| 2.4.2 合金的相结构        | 24 |
| 2.5 金属与合金的结晶        | 25 |
| 2.5.1 纯金属的结晶        | 25 |
| 2.5.2 合金的结晶相图       | 29 |
| 2.5.3 合金性能与相图间的关系   | 33 |
| 2.6 金属的塑性变形         | 35 |
| 2.6.1 塑性变形的类型       | 35 |



|                                   |           |
|-----------------------------------|-----------|
| 2.6.2 塑性变形对金属组织与性能的影响 .....       | 38        |
| 小结 .....                          | 40        |
| 习题 .....                          | 40        |
| <b>单元 3 热处理基础</b> .....           | <b>42</b> |
| 3.1 铁碳合金相图 .....                  | 43        |
| 3.1.1 铁碳合金相图分析 .....              | 43        |
| 3.1.2 铁碳合金相图组织 .....              | 45        |
| 3.1.3 铁碳合金相图成分、组织与性能间的关系 .....    | 46        |
| 3.2 钢的热处理 .....                   | 47        |
| 3.2.1 钢在加热时的转变 .....              | 47        |
| 3.2.2 钢在冷却时的转变 .....              | 50        |
| 3.2.3 退火和正火 .....                 | 58        |
| 3.2.4 钢的淬火和表面淬火 .....             | 61        |
| 3.2.5 钢的回火 .....                  | 66        |
| 3.3 冷变形金属的热处理 .....               | 68        |
| 3.3.1 冷变形与热变形的区别 .....            | 68        |
| 3.3.2 冷变形金属在加热过程中的变化阶段 .....      | 68        |
| 3.4 金属的热变形加工对金属组织和性能的影响 .....     | 70        |
| 实验 1 热处理设备的认知 .....               | 70        |
| 实验 2 45 钢退火、正火、回火、淬火之后的硬度测试 ..... | 72        |
| 实验 3 碳钢在平衡状态下的金相组织观察 .....        | 73        |
| 小结 .....                          | 75        |
| 习题 .....                          | 75        |
| <b>单元 4 钢的组成及热处理</b> .....        | <b>76</b> |
| 4.1 钢中的元素及其作用 .....               | 77        |
| 4.1.1 常存元素及其作用 .....              | 77        |
| 4.1.2 合金元素及其作用 .....              | 78        |
| 4.2 钢的热处理 .....                   | 83        |
| 4.2.1 结构钢及其典型零件的热处理 .....         | 83        |
| 4.2.2 工具钢及其典型零件的热处理 .....         | 91        |
| 4.2.3 特殊性能钢及其典型零件的热处理 .....       | 100       |
| 4.3 钢的表面强化 .....                  | 103       |
| 4.3.1 钢的表面化学热处理技术 .....           | 103       |
| 4.3.2 钢的表面涂覆技术 .....              | 110       |
| 4.3.3 高能束强化技术 .....               | 115       |
| 小结 .....                          | 118       |



|                       |            |
|-----------------------|------------|
| 习题                    | 118        |
| <b>单元 5 铸铁</b>        | <b>119</b> |
| 5.1 铸铁的分类             | 120        |
| 5.2 铸铁的石墨化            | 120        |
| 5.2.1 铁碳合金双重相图        | 120        |
| 5.2.2 石墨化过程           | 121        |
| 5.2.3 影响石墨化的因素        | 121        |
| 5.3 灰铸铁               | 122        |
| 5.3.1 灰铸铁的化学成分、组织和性能  | 122        |
| 5.3.2 灰铸铁的牌号和用途       | 123        |
| 5.3.3 灰铸铁的热处理         | 124        |
| 5.4 球墨铸铁              | 125        |
| 5.4.1 球墨铸铁的化学成分、组织和性能 | 125        |
| 5.4.2 球墨铸铁的牌号和用途      | 126        |
| 5.4.3 球墨铸铁的热处理        | 127        |
| 5.5 可锻铸铁              | 127        |
| 5.6 蠕墨铸铁              | 129        |
| 5.7 合金铸铁              | 130        |
| 实验 铸铁的显微组织观察          | 131        |
| 小结                    | 132        |
| 习题                    | 132        |
| <b>单元 6 有色金属及其合金</b>  | <b>134</b> |
| 6.1 铝及其合金             | 135        |
| 6.1.1 工业纯铝            | 135        |
| 6.1.2 铝合金的分类及牌号       | 135        |
| 6.1.3 铝合金的热处理强化       | 140        |
| 6.2 铜及其合金             | 142        |
| 6.2.1 工业纯铜            | 142        |
| 6.2.2 铜合金的分类及牌号       | 143        |
| 6.2.3 铜合金的热处理         | 147        |
| 6.3 轴承合金              | 148        |
| 6.3.1 轴承合金的性能要求       | 148        |
| 6.3.2 轴承合金的组织特征       | 149        |
| 6.3.3 常用轴承合金          | 149        |
| 6.4 钛及其合金             | 151        |
| 6.4.1 工业纯钛            | 151        |



|                           |            |
|---------------------------|------------|
| 6.4.2 钛合金 .....           | 152        |
| 6.5 镁及其合金 .....           | 153        |
| 6.5.1 纯镁 .....            | 153        |
| 6.5.2 镁合金 .....           | 153        |
| 6.6 锌及其合金 .....           | 153        |
| 6.6.1 纯锌 .....            | 153        |
| 6.6.2 锌合金 .....           | 154        |
| 实验 巴氏合金的显微组织观察 .....      | 154        |
| 小结 .....                  | 155        |
| 习题 .....                  | 155        |
| <b>单元 7 其他非金属材料 .....</b> | <b>157</b> |
| 7.1 高分子材料 .....           | 158        |
| 7.1.1 高分子材料的基本概念 .....    | 158        |
| 7.1.2 高分子材料的结构 .....      | 159        |
| 7.1.3 高分子材料常用的热处理工艺 ..... | 162        |
| 7.1.4 高分子材料的发展趋势 .....    | 164        |
| 7.2 陶瓷材料 .....            | 165        |
| 7.2.1 陶瓷的组成相及其结构 .....    | 165        |
| 7.2.2 陶瓷材料的性能及应用 .....    | 168        |
| 7.2.3 陶瓷材料常用的热处理工艺 .....  | 171        |
| 7.2.4 陶瓷材料的发展趋势 .....     | 172        |
| 7.3 复合材料 .....            | 173        |
| 7.3.1 复合材料的性能 .....       | 173        |
| 7.3.2 常用复合材料 .....        | 174        |
| 7.3.3 复合材料常用的处理工艺 .....   | 177        |
| 7.3.4 复合材料的发展趋势 .....     | 178        |
| 小结 .....                  | 180        |
| 习题 .....                  | 180        |
| <b>单元 8 材料失效分析 .....</b>  | <b>181</b> |
| 8.1 失效概述 .....            | 182        |
| 8.1.1 失效的分类 .....         | 182        |
| 8.1.2 失效的基本影响因素 .....     | 186        |
| 8.1.3 齿轮零件材料选用举例 .....    | 187        |
| 8.2 模具材料的服役条件与失效形式 .....  | 188        |
| 8.2.1 模具材料的服役条件 .....     | 188        |
| 8.2.2 模具材料的失效形式 .....     | 189        |



|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 8.3 模具材料的使用寿命及其影响因素 .....      | 190 |
| 8.3.1 模具材料使用寿命的基本影响因素 .....    | 190 |
| 8.3.2 热处理和表面强化对模具使用寿命的影响 ..... | 192 |
| 小结 .....                       | 193 |
| 习题 .....                       | 193 |
| 参考文献 .....                     | 194 |



# 材料及其性能和选用原则

## 单元导读

本单元是本课程的基础。了解和掌握材料的性能测试手段，对于后续热处理工艺的正确使用十分重要。本单元主要认识工程材料的发展，学习材料的使用性能和工艺性能的基础知识。材料选用时应考虑使用性能、工艺性能和经济性能等方面的因素。

## 知识要求

- 1) 了解工程材料的发展历史。
- 2) 了解材料的使用性能和工艺性能。
- 3) 了解疲劳断裂的形式。
- 4) 掌握材料的使用性能指标。
- 5) 掌握材料强度、塑性指标的计算方法。
- 6) 掌握硬度测试的使用对象。
- 7) 掌握材料选用的原则。

## 能力要求

- 1) 学会材料的力学性能测试方法。
- 2) 能应用拉伸试验机获取材料力学性能指标。
- 3) 掌握布氏硬度、洛氏硬度的测定方法，具备能针对不同的材料选用不同的硬度计进行实验的能力。
- 4) 在材料选用时，学会考虑使用性能、工艺性能等方面的因素。



## 1.1 工程材料

材料是现代文明的三大支柱之一，也是发展国民经济和机械工业的重要物质基础。材料作为生产活动的基本投入之一，对生产力的发展有深远的影响。历史上曾把当时使用的材料当作历史发展的里程碑，如石器时代、青铜器时代、铁器时代等。我国是世界上较早发现和使用金属的国家之一。周朝是青铜器的极盛时期，到春秋战国时期已普遍应用铁器。直到 19 世纪中叶大规模炼钢工业兴起，钢铁才成为最主要的工程材料。

科学技术的进步推动了材料工业的发展，使新材料不断涌现。石油化学工业的发展促进了合成材料的兴起和应用；20 世纪 80 年代特种陶瓷材料又有很大进展，工程材料随之扩展为包括金属材料、聚合物和无机非金属材料三大系列的全材料范围。

## 1.2 材料的性能

### 1.2.1 材料的使用性能

材料的使用性能是指在使用条件下所表现出来的性能，如物理性能、化学性能和力学性能。

#### 1. 物理性能

材料的物理性能是材料在热、电、磁、光等作用下通过材料的物理本质所表现出的不同的性能，是由材料的物理本质所决定的性能，如密度、热膨胀性、导电性、磁性、导热性、熔点等。材料的物理性能是功能材料的重要性能指标。

#### 2. 化学性能

材料的化学性能是指材料在一定环境下抵抗各种介质化学作用的能力，如耐蚀性、抗氧化性等。

#### 3. 力学性能

材料的力学性能是指材料在不同环境因素下，承受外加载荷作用时所表现的行为，这种行为通常表现为金属的变形和断裂。因此，材料的力学性能可以解释为材料抵抗外加载荷引起的变形和断裂的能力。掌握材料的力学性能不仅是设计零件、选用材料时的重要依据，也是按验收技术标准来鉴定材料的依据，以及对产品的工艺进行质量控制的重要参数。常见的各种外加载荷如图 1-1 所示。

衡量材料的力学性能指标包括强度、塑性、硬度、冲击韧度、疲劳强度、断裂韧度等。

##### (1) 强度

强度是材料抵抗塑性变形或断裂的能力，包含抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗剪强度、抗扭强度。

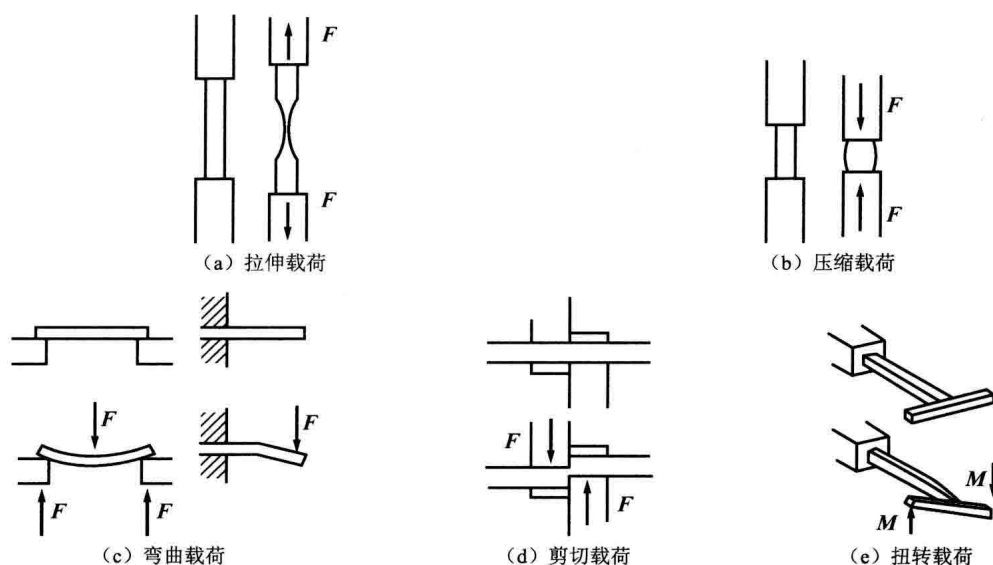


图 1-1 材料常见的外加载荷

材料的强度指标可以通过试验测定。图 1-2 (a) 为低碳钢拉伸试验测得的应力-应变曲线。试样在外力作用下，其内部产生一种内力，其数值大小与外力相等，方向相反。材料单位面积上的内力称为应力，以  $R$  表示（单位：Pa），可按下式计算：

$$R = F/S_0 \quad (1-1)$$

式中， $F$ ——对试样施加的外力；

$S_0$ ——试样原始横截面面积， $\text{mm}^2$ 。

材料在拉伸过程中经历以下阶段：弹性变形阶段→屈服阶段→强化阶段→缩颈阶段→试样断裂。

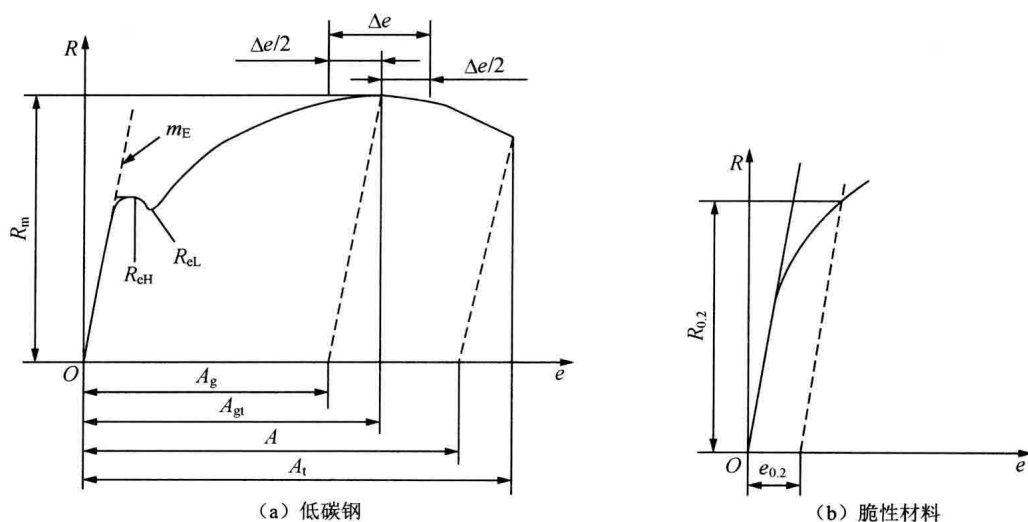


图 1-2 材料的应力-应变曲线



根据拉伸时的应力-应变曲线可以确定以下强度指标。

### 1) 弹性模量 $m$ 。

弹性极限是材料拉伸时保持弹性变形, 不发生永久变形的最大应力。

弹性模量  $m$  的值为应力-应变曲线上弹性部分的斜率, 即引起单位弹性变形所需要的应力。工程上把  $m$  称为材料的刚度, 表示材料抵抗弹性变形的能力, 是衡量材料产生弹性变形难易程度的指标。 $m$  越大, 使其产生一定量弹性变形的应力也应越大。 $m$  主要取决于材料本身。

### 2) 屈服强度 $R_e$ (屈服极限)。

屈服强度是材料开始发生明显塑性变形的抗力。

$R_e$  点开始出现横向振荡曲线或水平线段, 这表示拉力不再增加, 但变形仍在进行, 此时若卸载, 试样的变形不能全部消失, 产生微量的塑性变形。 $R_{eH}$  表示上屈服强度,  $R_{eL}$  表示下屈服强度。 $R_e$  表示材料在外力作用下开始产生塑性变形时的最低应力, 即材料抵抗微量塑性变形的能力。

需要指出, 大多数金属材料在拉伸时没有明显的屈服现象, 按 GB/T 228.1—2010《金属材料 拉伸试验 第1部分: 室温试验方法》的要求, 取规定非比例伸长与原标距长度比为 0.2% 时的应力作为屈服强度指标, 称为条件屈服强度, 可用  $R_{0.2}$  表示, 如图 1-2 (b) 所示。

$$R_{0.2} = \frac{F_{0.2}}{S_0} \quad (1-2)$$

式中,  $F_{0.2}$ ——试样产生 0.2% 塑性变形时的外力;

$S_0$ ——试样原始横截面积。

零件在工作时一般不允许发生塑性变形。所以, 屈服强度是零件设计时的主要参数。

### 3) 抗拉强度 $R_m$ (强度极限)。

抗拉强度是试样保持最大均匀塑性变形的极限应力, 即材料被拉断前的最大承载能力。当材料达到最大力总延伸率  $A_{gt}$  时, 试样的局部截面缩小, 产生“缩颈”现象。由于试样局部截面逐渐缩小, 故载荷也逐渐减小, 当达到应力-应变曲线上终点时, 试样发生断裂。 $R_e$  与  $R_m$  的比值称为屈强比。屈强比越小, 工程构件的可靠性越高, 但屈强比过小, 则材料强度的有效利用率降低。

### (2) 塑性

塑性是材料的力学性能的另一大指标, 是材料在断裂前钢材产生永久变形的能力。材料塑性可用伸长率和断面收缩率衡量。

1) 伸长率  $A$ : 拉伸试验中, 试样拉断后, 标距的伸长与原始标距的百分比。用公式表示为

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1-3)$$

式中,  $L_u$ ——试样拉断后对接的最终标距长度 ( $L_u = 5d_0$ 、 $10d_0$ ,  $d_0$  为拉伸试样的直径), mm;

$L_0$ ——试样原标距长度, mm。

2) 断面收缩率  $Z$ : 拉伸试验中, 试样拉断后缩颈处最小横截面面积与原始试样的横

截面面积的百分比。

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中,  $S_0$ ——试样原始横截面面积,  $\text{mm}^2$ ;

$S_u$ ——试样拉断后缩颈处最小横截面面积,  $\text{mm}^2$ 。

一般地, 断面收缩率越大, 材料的塑性越好。当断面收缩率小于 5% 时, 该材料属于脆性材料。

### (3) 硬度

硬度是指金属材料表面抵抗其他硬物体压入的能力, 是衡量金属材料软硬程度的指标。

硬度和抗拉强度等其他力学性能指标之间存在一定的关系, 故在零件图上对力学性能的技术要求往往是标注硬度值。生产中也常以硬度作为检验材料性能是否合格的基本依据之一, 并以材料硬度作为制定零件加工工艺的主要参考。

机械工业普遍采用压入法来测定硬度, 压入法又分为布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度等。

#### 1) 布氏硬度。

布氏硬度值 HB 以试样压痕面积上的平均压力  $P/S$  表示。

如图 1-3 所示, 字母标注  $\times \times \times \text{HB } D/P/T$  如 120HB/10/3000/10, 即表示此硬度值 120 在  $D=10\text{mm}$ 、 $P=3000\text{kgf}$  ( $1\text{kgf}=9.81\text{N}$ )、 $T=10\text{s}$  的条件下得到的。

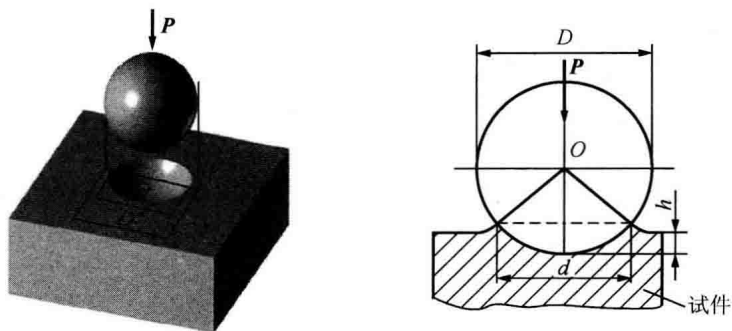


图 1-3 布氏硬度测试示意图

压头为钢球时, 布氏硬度用符号 HBS 表示, 适用于布氏硬度值在 450 以下的材料。压头为硬质合金球时, 布氏硬度用符号 HBW 表示, 适用于布氏硬度值在 650 以下的材料。GB/T 231.2—2012《金属材料 布氏硬度试验 第 2 部分: 硬度计的检验与校准》对采用硬质合金球测试布氏硬度的测试方法做了详细的介绍。

布氏硬度测定主要适用于各种未经淬火的钢, 退火、正火钢, 结构钢调质件, 以及铸铁、有色金属、质地轻软的轴承合金等原材料, 多用于小于 450HB 的钢材。

#### 2) 洛氏硬度。

洛氏硬度 HR 常用标准尺有 A、B、C 3 种。标准尺 A、B 的刻度范围为 20~130, 标准尺 C 的刻度范围为 0~100。洛氏硬度测试示意图如图 1-4 所示, 具体表示方法如表 1-1 所示。

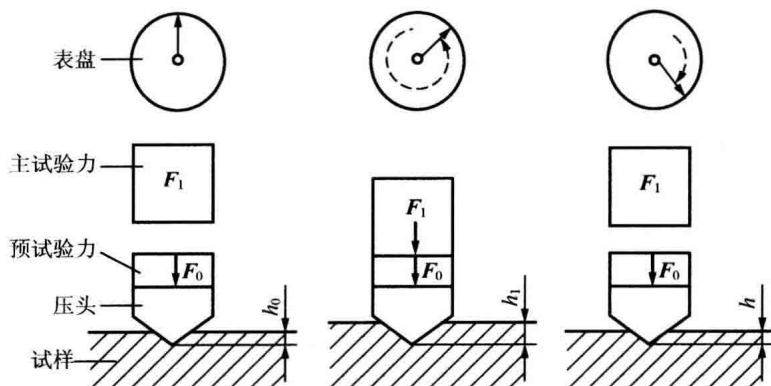


图 1-4 洛氏硬度测试示意图

表 1-1 洛氏硬度表示方法

| 硬度符号 | 压 头           | 总载荷/kgf | 表盘上刻度颜色 | 常用硬度值  | 使用 范 围                |
|------|---------------|---------|---------|--------|-----------------------|
| HRA  | 金刚石圆锥         | 60      | 黑色      | 70~85  | 测量高硬度材料，如硬质合金、表淬层和渗碳层 |
| HRB  | 1/16 或 1/8 钢球 | 100     | 红色      | 25~100 | 测量低硬度材料，如有色金属和退火、正火钢等 |
| HRC  | 金刚石圆锥         | 150     | 黑色      | 20~67  | 测量中等硬度材料，如调质钢、淬火钢等    |

### 3) 维氏硬度。

维氏硬度是用一种顶角为  $136^\circ$  的金刚石角锥压头，在载荷  $P$  作用下，试样表面压出一个四方锥形压痕，测量压痕对角线长度  $d$ ，如图 1-5 所示，以计算压痕面积  $S$ ，以  $P/S$  的数值表示试样的硬度值。

维氏硬度的载荷一般可选 5kg、10kg、20kg、30kg、50kg、100kg、120kg 等，小于 10kg 的载荷可以测定显微组织硬度。维氏硬度试验主要用来测定金属镀层、薄片金属及化学热处理（如渗氮、渗碳等）后的表面硬度。

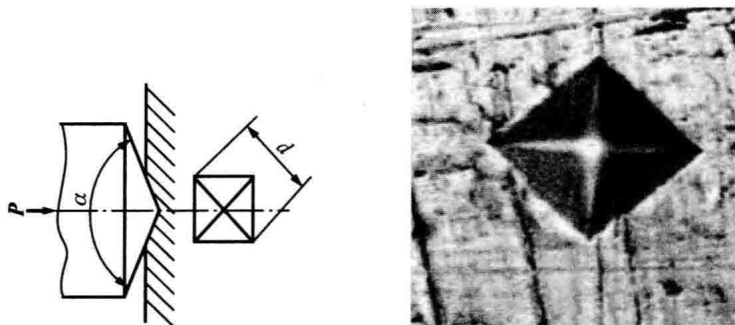


图 1-5 维氏硬度测试示意图

### (4) 冲击韧度

冲击韧度  $\alpha_k$  是评定材料抵抗大能量冲击载荷能力的指标。通常用一次摆锤冲击弯曲试验来测定金属材料的冲击韧度。其测定方法是按 GB/T 229—2007《金属材料夏比摆锤



冲击试验方法》制成带 U 型缺口的标准试样，将具有质量的摆锤举至高处，使之自由落下（图 1-6），将试样冲断后摆锤升至高处。若试样断口处的截面积为  $S$  ( $\text{cm}^2$ )，则冲击韧度  $\alpha_k$  的值为

$$\alpha_k = \frac{G(H-h)}{S} \quad (\text{J/cm}^2) \quad (1-5)$$

式中， $S$ ——试样缺口处的原始截面积， $\text{cm}^2$ ；

$G$ ——摆锤的重力， $\text{N}$ ；

$H$ ——摆锤举起的高度， $\text{m}$ ；

$h$ ——试样冲断后摆锤回弹升起的高度， $\text{m}$ 。

材料的冲击韧度值主要取决于其塑性，且与温度有关。通过在不同温度下对材料进行的一系列冲击试验，得知材料的冲击韧度值随温度的降低而基本不变（图 1-7 中的曲线 1），当温度降低到某一温度范围时，冲击韧度急剧下降，材料由韧性状态转变为脆性状态。这种现象称为冷脆。该温度范围称为冷脆转变温度范围。其数值越低，表示材料的低温冲击性能越好。当温度进一步下降，冲击韧度值又维持不变（图 1-7 中的 3），这对于在低温下工作的零件具有重要的意义。

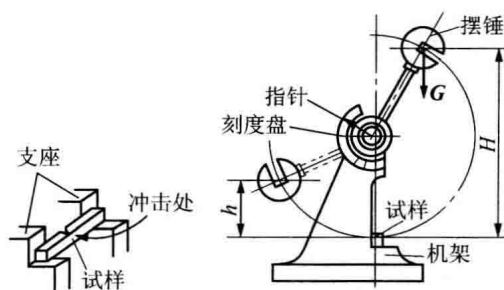


图 1-6 摆锤冲击试验示意图

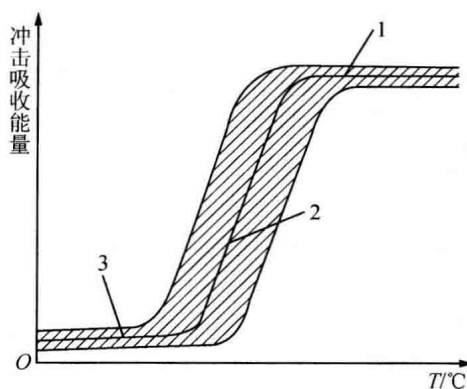


图 1-7 材料的冲击吸收能量-温度值关系曲线

1—上平台；2—转变区；3—下平台

#### (5) 疲劳强度 $R_{-1}$

疲劳断裂是指许多机器零件的弹簧、轴、齿轮等，在工作时承受交变载荷，当交变



载荷的值远远低于其屈服强度时发生断裂的现象。疲劳断裂与在静载作用下材料的断裂不同,不管是脆性材料还是韧性材料,疲劳断裂都是突然发生的,事先无明显的塑性变形,属于低应力脆断。零件的疲劳失效过程分为3个阶段:疲劳裂纹产生、疲劳裂纹扩展和瞬时断裂。产生疲劳断裂的原因有材料内部的缺陷、加工过程中形成的刀痕、尺寸突变导致的应力集中等。

判定疲劳强度的指标有疲劳极限和条件疲劳极限。疲劳极限是指材料经无数次应力循环而不发生疲劳断裂的最高应力值。条件疲劳极限是指经受1000万次应力循环而不致断裂的最大应力值。

疲劳强度的影响因素有循环应力特征、温度、材料成分和组织、夹杂物、表面状态、残留应力等。

#### (6) 断裂韧度

一些工程结构件和机器零件在低于许用应力的条件下工作,产生无明显塑性变形的断裂,这种断裂称为低应力脆断。低应力脆断是由于材料内部已存在的宏观裂纹失稳扩展引起的。它反映材料有裂纹存在时,抵抗脆性断裂的能力。它是材料本身的特性,与材料的成分、热处理及加工工艺等有关。

### 1.2.2 材料的高温力学性能

许多机械零件在高温下工作,在室温下测定的性能指标并不能代表其在高温下的性能。一般来说,随温度的升高,弹性模量 $m$ 、屈服强度 $R_e$ 、硬度等值都将降低,而塑性将会增加,除此之外还会发生蠕变现象。

蠕变是指金属在高温长时间应力作用下,即使所加应力小于该温度下的屈服强度,也会逐级产生明显的塑性变形直至断裂。

有机高分子材料即使在室温下也会发生蠕变现象。

### 1.2.3 材料的工艺性能

材料在不同制造工艺条件下所表现出来的承受加工的能力,是物理性能、化学性能的综合,如铸造性能、塑性加工性能、焊接性能、切削加工性能等,直接影响材料使用的方式、成本、生产效率等。

## 1.3 材料的选用原则

### 1.3.1 材料的使用性能原则

材料的使用性能指零件在使用时所应具备的材料性能,包括力学性能、物理性能和化学性能。对于大多数零件而言,力学性能是主要的指标。表征力学性能的参数主要有抗拉强度 $R_m$ 、弹性模量 $m$ 、屈服强度 $R_e$ 或 $R_{0.2}$ 、伸长率 $A$ 、断面收缩率 $Z$ 、冲击强度 $\alpha_k$ 及硬度HRC或HBS等。强度是力学性能的主要性能指标,只有在强度满足要求的情况下,才能保证零件正常工作,且经久耐用。在材料力学的学习过程中,已经发现,在计算零件的危险截面尺寸或校核安全程度时所用的许用应力,都要根据材料强度数据推出。