



国家开放大学新型产业工人培养和发展助力计划



# 金属学与热处理

Metallurgy and Heat Treatment Theory

杨林 主编

吴伟 副主编

 中央广播电视大学出版社



国家开放大学新型产业工人培养和发展助力计划

大学图书馆  
书章

# 金属学与热处理

杨林 主编  
吴伟 副主编

中央广播电视大学出版社·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

金属学与热处理 / 杨林主编. —北京: 中央广播电视大学出版社, 2015. 2

ISBN 978 - 7 - 304 - 05680 - 3

I. ①金… II. ①杨… III. ①金属学 ②热处理 IV. ①TG1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 017650 号

版权所有, 翻印必究。

金属学与热处理

JINSHUXUE YU RECHULI

杨林 主编

吴伟 副主编

出版·发行: 中央广播电视大学出版社

电话: 营销中心 010 - 66490011

网址: <http://www.crtvup.com.cn>

地址: 北京市海淀区西四环中路 45 号

经销: 新华书店北京发行所

总编室 010 - 68182524

邮编: 100039

策划编辑: 雷宁

责任编辑: 秦莹

责任印制: 赵连生

版式设计: 赵洋

责任校对: 张娜

印刷: 北京明月印务有限责任公司

版本: 2015 年 2 月第 1 版

开本: 787 × 1092 1/16

印数: 0001 ~ 2000

2015 年 2 月第 1 次印刷

印张: 15.5 字数: 384 千字

书号: ISBN 978 - 7 - 304 - 05680 - 3

定价: 31.00 元

(如有缺页或倒装, 本社负责退换)

## 前言 PREFACE



随着科学技术的发展,材料、能源和信息已成为当今社会的三大支柱产业,并且材料被放在第一位,这说明了材料的重要性。“金属学与热处理”课程是国家开放大学机械设计制造类中焊接技术及自动化专业的一门技术基础课。本教材在征求有关专家意见的基础上,主要针对职业技术教育焊接技术及自动化专业的学生而编写,也可作为机械类热加工工作人员进行技术培训的教材。

为了更好地满足高等职业技术教育机械设计制造类专业培养应用型人才的需要,本次教材编写在内容上做了较大的修改和增补,以使其尽量符合职业技术教育的特点。本教材适当增加了与生产实践紧密相关的理论知识和基本技能,并根据目前的新材料、新技术、新工艺和新标准增添了与之相关的教学内容,使学生能尽快进入专业领域。

本教材突出职业技术教育的特点,突出理论知识与实践能力的统一,突出与本专业密切相关的基本技能的培养,突出本专业知识与其他相近专业知识的联系。

本教材由“金属学与热处理”课程教材编写组编写。其中,第1章、第2章、第4章和第8章由沈阳工业大学杨林教授编写,第6章和第7章由沈阳工业大学吴伟副教授编写,第3章由沈阳工业大学林立副教授编写,第5章由沈阳工业大学车欣博士编写。杨林教授担任主编,并负责全书的统稿工作;吴伟副教授担任副主编,负责全书的总体设计。

沈阳工业大学陈立佳教授担任全书的主审。沈阳职业技术学院李学哲教授和沈阳理工大学武丹副教授担任副主审。

由于编者水平有限,书中难免存在纰漏和不足之处,恳请读者批评指正。

编者

2014年10月

## 学习指南 STUDY GUIDE



### 学习目标

完成本课程的学习之后，你将达到以下目标。

#### 1. 认知目标

(1) 能列举金属学与热处理在工程实践中的作用和意义。

(2) 能运用金属学方面的基本理论和方法，对常见的金属材料方面的问题进行简单的分析与判断。

(3) 能运用金属学与热处理方面的基本理论和方法，提出金属材料的选择及加工工艺制定等常见工程问题的解决方案。

#### 2. 技能目标

(1) 依据金属材料的化学成分、加工工艺，能够制备出金属材料显微组织分析所用的金相试样，并能利用光学显微镜对其进行显微分析。

(2) 对于金属材料，能够识别它们的区别及性能特点。

(3) 对于一些常见的零件，能够选材并对其进行热处理操作。

#### 3. 情感目标

(1) 发挥自主学习的能力及创新精神，养成良好的职业道德。

(2) 形成较强的安全生产意识。

### 学习内容

本教材主要包括以下学习内容。

#### 1. 金属学基础

本部分主要介绍金属学理论知识，是后续章节的基础，主要包括金属材料的性能，金属材料的晶体结构、缺陷及扩散，纯金属的凝固，合金相图与凝固，金属及合金的塑性变形与再结晶等。

#### 2. 热处理原理及工艺

本部分主要介绍理论知识与应用相结合的技术基础内容，主要包括钢的热处理原理与钢的热处理工艺。

#### 3. 金属材料的选用与热处理工艺的确定

本部分属于知识应用部分，主要介绍金属材料及其应用。



# 目 录 CONTENTS



<b>第1章</b>	<b>金属材料的性能</b> .....	1
1.1	金属材料的力学性能 .....	1
1.2	金属材料的物理性能和化学性能 .....	6
1.3	金属材料的工艺性能 .....	9
	本章小结 .....	10
	自测题 .....	10
<b>第2章</b>	<b>金属材料的晶体结构、缺陷及扩散</b> .....	11
2.1	金属的晶体结构 .....	11
2.2	三种常见的晶体结构 .....	16
2.3	合金的相结构 .....	20
2.4	晶体缺陷 .....	23
2.5	金属中的扩散 .....	29
	本章小结 .....	33
	自测题 .....	33
<b>第3章</b>	<b>纯金属的凝固</b> .....	35
3.1	金属凝固的一般过程 .....	35
3.2	晶核的形成 .....	37
3.3	晶核的生长 .....	39
3.4	晶粒大小与控制方法 .....	43
	本章小结 .....	44
	自测题 .....	44
<b>第4章</b>	<b>合金相图与凝固</b> .....	45
4.1	二元相图与相图的建立 .....	45
4.2	二元匀晶相图与合金凝固 .....	47
4.3	二元共晶相图与合金凝固 .....	50
4.4	二元包晶相图与包晶反应 .....	55
4.5	铁碳相图与铁碳合金 .....	59

本章小结 .....	69
自测题 .....	69
<b>第5章 金属及合金的塑性变形与再结晶</b> .....	70
5.1 材料的塑性变形 .....	71
5.2 材料的回复与再结晶 .....	80
本章小结 .....	88
自测题 .....	88
<b>第6章 钢的热处理原理</b> .....	89
6.1 钢在加热时的转变 .....	89
6.2 钢在冷却时的转变 .....	96
6.3 淬火钢的回火转变 .....	107
本章小结 .....	111
自测题 .....	111
<b>第7章 钢的热处理工艺</b> .....	113
7.1 概述 .....	113
7.2 钢的常见热处理 .....	114
7.3 钢的表面淬火 .....	130
7.4 钢的化学热处理 .....	134
本章小结 .....	143
自测题 .....	143
<b>第8章 金属材料及其应用</b> .....	145
8.1 钢的分类、编号及钢中的合金元素 .....	145
8.2 工程构件用钢 .....	151
8.3 机器零件用钢 .....	157
8.4 工具钢 .....	174
8.5 特殊性能钢 .....	191
8.6 铸铁材料 .....	206
8.7 有色金属材料 .....	220
本章小结 .....	237
自测题 .....	237
<b>参考文献</b> .....	239



# 第1章 金属材料的性能

## 导 言

在科学技术高速发展的今天,金属材料有很多种。如何经济合理地选择金属材料,达到既节约材料又保证产品质量的目的,是工业生产的首要问题。

用金属材料制造的产品通常应用于不同的使用环境和条件,如吊车上用的钢丝绳要具有良好的抗拉伸的能力,而电力传输中所用的铜导线要具有良好的导电性,因此不同的金属材料要具有不同的抵抗使用环境和条件的能力,这就是金属材料的性能。

通常金属材料要具有能保证由其所制造的工件正常工作的性能,即使用性能,如力学性能、物理性能、化学性能等;在工件制备过程中,要经过各种冷、热加工过程,这就要求金属材料还要具有一定的工艺性能,如铸造性、可锻性、焊接性和切削加工性等。

本章首先介绍了金属材料常见的各种性能的概念,其次介绍了这些性能的评定指标及测量方法。

## 学习目标

### ▲ 认知目标

- (1) 掌握金属材料的强度、硬度、塑性和韧性的物理意义。
- (2) 掌握金属材料的密度、导电性及磁性的物理意义。
- (3) 了解金属材料的抗氧化性和耐腐蚀性的物理意义。
- (4) 正确说出金属材料的工艺性能,如铸造性、可锻性、焊接性和切削加工性的确切含义。

### ▲ 技能目标

- (1) 掌握金属材料的强度、硬度、塑性和韧性等性能指标的测量方法。
- (2) 了解金属材料的密度的测量方法。
- (3) 与金工实习相结合,对铸造、焊接、热处理等工艺能进行简单的操作。

### ▲ 情感目标

- (1) 通过学习和实验操作,增加学生对各项工作的认真度。
- (2) 增加学生对本专业的热爱。

## 1.1 金属材料的力学性能

由金属材料制成的机械零件或工程构件,在使用过程中,会受到各种形式的内力或外力

的作用，如汽车上的半轴在行驶中不仅要受到弯矩扭力的作用，还要受到冲击力的作用。零部件受到力的作用后，会产生三种变化：

(1) 当受到的力较小时，零部件改变形状，但外力去除后，零部件恢复原状，即只发生弹性变形。

(2) 当受到的力较大时，零部件发生的变形在外力去除后不能完全消失，即发生永久（塑性）变形。

(3) 当受力大到一定值后，零部件发生断裂。

零部件能否经得起这些力的作用而不影响其使用主要取决于受到的作用力的大小和材料自身所具有的能够承受载荷的能力，这种能力就是金属材料的力学性能。描述金属材料力学性能的指标有多种，有静态的，也有动态的；有常温的，也有高温的。

### 1.1.1 拉伸试验

拉伸试验是指根据国家标准《金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法》(GB/T 228.1—2010)的要求制造出具有一定尺寸和形状的试样，利用拉伸试验机进行拉伸获得几个力学性能指标。在拉伸试验中，试样受力前后标距 $L_0$ 和截面 $A_0$ 发生变化，如图1-1所示。根据试样在拉伸过程中承受的载荷和产生的变形量之间的关系，可测定出该材料的拉伸曲线，如图1-2所示。在拉伸曲线上可以确定强度、塑性、弹性等力学性能指标。

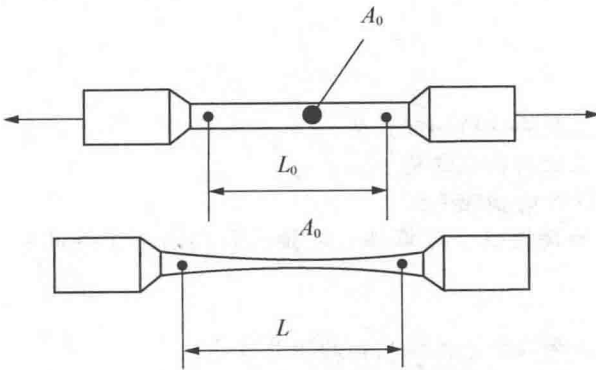


图 1-1 试样拉伸前后标距和截面的变化

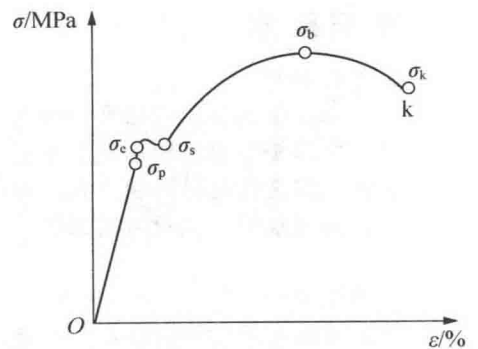


图 1-2 普通低碳钢的拉伸曲线

强度是指金属材料在静载荷作用下抵抗明显永久变形或断裂的能力。强度指标一般用单位面积材料所承受的外力，即应力表示，见式(1-1)：

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1-1)$$

式中： $F$ ——外加拉力，N；

$A$ ——试样截面积， $m^2$ ；

$\sigma$ ——应力，MPa ( $1 N/m^2 = 1 Pa$ ,  $1 MPa = 10^6 Pa$ )。

工程中常用的强度指标有弹性极限 $\sigma_e$ 、屈服强度 $\sigma_s$ 、抗拉强度 $\sigma_b$ 。材料在外力作用下

产生弹性变形时所承受的最大拉应力为弹性极限，如图1-2所示。屈服强度是指在拉伸过程中，材料所受拉力达到某一临界值，即拉力不再增加，材料却继续变形或产生0.2%应变时（非塑性材料）的应力值，即屈服极限。抗拉强度也叫强度极限，是指材料在断裂前承受的最大应力值。在实际工程中，一般要根据实际情况选择屈服强度作为强度设计的依据。

由于载荷的作用方式除了拉伸外，还有压缩、弯曲、剪切等形式，所以强度指标还有抗压强度、抗弯强度、抗剪强度等。这些性能指标可通过压缩试验、弯曲试验等测出。

塑性是指金属材料在外力作用下，发生永久变形而不被破坏的能力。在工程中常用伸长率 $\delta$ 和断面收缩率 $\psi$ 来表示。

伸长率指试样在拉伸过程中，拉断后标距长度的延长值（见图1-1）与原始标距长度的比值，即

$$\delta = \frac{L - L_0}{L_0} \quad (1-2)$$

式中： $\delta$ ——伸长率；

$L_0$ ——试样原标距长度；

$L$ ——试样被拉断后的标距长度。

断面收缩率是指试样拉伸断裂后，断面收缩值（原始横截面面积与试样拉断后颈缩处的截面积的差值）与原始横截面面积的比值，用 $\psi$ 表示，即

$$\psi = \frac{A_0 - A}{A_0} \quad (1-3)$$

式中： $A_0$ ——试样原始横截面面积；

$A$ ——试样拉断后颈缩处的截面积。

伸长率和断面收缩率越大，材料的塑性越好；反之，塑性越差。良好的塑性是金属材料进行变形加工时不发生突然脆断的必要条件。

## 1.1.2 硬度测试

硬度是衡量材料软硬程度的指标。目前在实际工程中，最常用的测定硬度的方法是压入硬度法，它是用一定几何形状的压头在一定外力下压入被测试的金属表面，根据压痕大小或深度和外界所加外力的大小来测定硬度值的。硬度根据测试方法的不同可分为布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度和显微硬度等。

### 1. 布氏硬度

如图1-3所示，布氏硬度（用HB表示）是在外加载荷的作用下，将球状压头压入工件表面，保持规定时间并达到稳定状态后卸除试验力，测量材料表面的压痕直径，计算压痕单位面积上所承受的平均压力，以此表示软硬的一种硬度试验方法，计算公式见式（1-4）。用淬火钢球做压头的硬度符号用HBS表示，用硬质合金球做压头的硬度符号用HBW表示（参照《金属材料 布

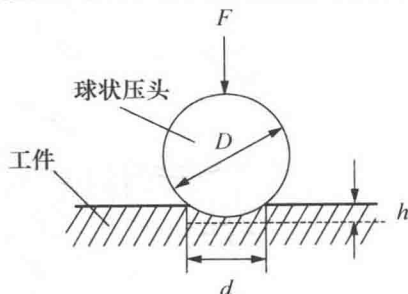


图1-3 布氏硬度原理示意图

氏硬度试验 第1部分：试验方法》GB/T 231.1—2009)。

$$HB = \frac{2F(\text{kgf})}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad \text{或} \quad HB = 0.102 \frac{2F(\text{N})}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1-4)$$

式中： $F$ ——外加载荷；

$D$ ——压头直径，mm；

$d$ ——压痕直径，mm。

布氏硬度的优点为：

- (1) 测量值较准确，重复性好。
- (2) 压痕面积较大，硬度值代表全面，能反映较大范围内材料的平均硬度。

其缺点为：

- (1) 可测的硬度值不高。
- (2) 一般不能测试成品与薄件。
- (3) 测量费时，效率低。

在工程实践中，其特别适用于经退火、正火和调质的钢件，以及灰铸铁、有色金属、低合金结构钢及非金属材料等毛坯或半成品的硬度测试。此硬度值和抗拉强度之间存在着一定的换算关系。

当  $HB > 450$  或者试样过小时，不能采用布氏硬度测试，而应改用洛氏硬度计量。

## 2. 洛氏硬度

洛氏硬度是以压痕深度来确定材料硬度值的。根据所测材料硬度的不同，可用三种不同的标度来表示，即 HRA、HRB、HRC。在应用时，要根据材料的硬度决定采用哪种具体的试验方法。HRA 是采用 60 kg 载荷和金刚石压头求得的硬度，适用于硬度极高的材料（如硬质合金等）；HRB 是采用 100 kg 载荷和直径为 1.58 mm 的淬硬的钢球为压头求得的硬度，适用于硬度较低的材料，如退火钢、铸铁等；HRC 是采用 150 kg 载荷和金刚石圆锥压头求得的硬度，适用于硬度较高的材料，如淬火钢等。

洛氏硬度的优点为：

- (1) 简便、迅速、效率高。

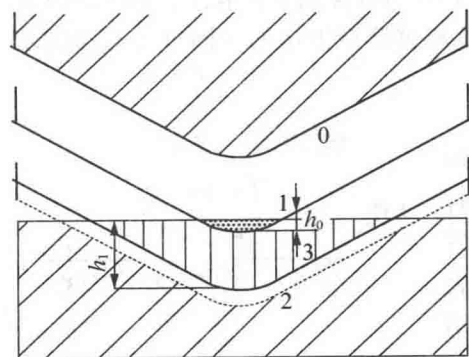


图 1-4 洛氏硬度测试示意图

- (2) 对试样表面的损伤小，对样品表面的要求较低。

其缺点为：

- (1) 不同标度的硬度值无法相互比较。
- (2) 测量结果的重复性差。
- (3) 不适合具有粗大或者不均匀组织材料的硬度测量。

其基本原理如图 1-4 所示。在图 1-4 中，0 为试验开始之前压头与试样未接触的位置；1 为压头受初载  $P_0$  后，压入试样深度  $h_0$  的位置；2 为施加主载荷  $P_1$  后压头压入试样表面的位置；3 为卸掉主载

荷  $P_1$  后，压头由于试样弹性恢复而稍微回弹的位置。

此时，实际压入试样的深度为  $h_1$ ，则压头受主载荷而压入试样的深度为  $h_1 - h_0$ 。 $h_1 - h_0$  的数值越小，试样硬度越大。反之，试样越软，硬度越小。

### 3. 维氏硬度

维氏硬度以 HV 表示，其基本原理与测试方法和洛氏硬度相同。此方法特别适合于表面硬化层和薄片状材料的硬度测量。测量原理为：用夹角为  $136^\circ$  的金刚石四棱锥体压头，如图 1-5 所示，使用很小的试验力  $F$  ( $49.03 \sim 980.07 \text{ N}$ ) 压入试样表面，保持一定时间后，测出压痕对角线的长度  $d$ 。

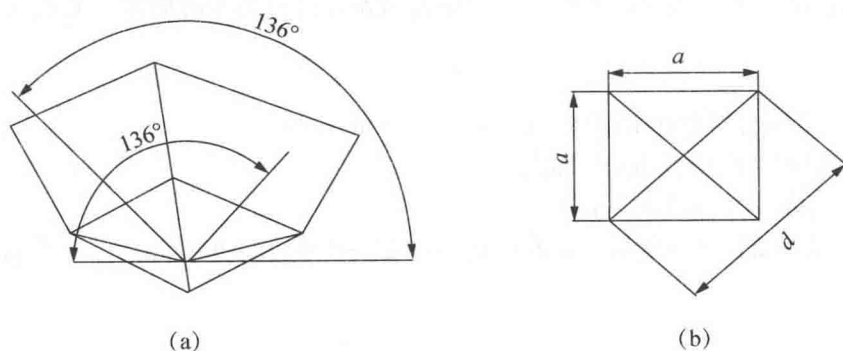


图 1-5 维氏硬度仪中的压头和压痕示意图

(a) 压头；(b) 压痕

维氏硬度的计算公式为

$$\text{HV} = 0.1891 \frac{F}{d^2} \quad (1-5)$$

式中： $F$ ——试验加载力，N；

$d$ ——压痕对角线的长度，mm。

维氏硬度的优点为：

(1) 测量准确，适用硬度范围广，不存在洛氏硬度那种不同标尺硬度无法比较的问题，而且测量精度也比洛氏硬度高。

(2) 试验载荷力较小，压入深度比较浅，故可测量较薄的材料，也可测量表面渗碳、氮化层的硬度。

其缺点为：

(1) 试样表面要求高，效率低。

(2) 测量压痕对角线长度时较烦琐。

维氏硬度试验的技术条件可参阅国家标准《金属材料 维氏硬度试验 第1部分：试验方法》(GB/T 4340.1—2009)。

### 4. 显微硬度

显微硬度是测试载荷在  $2 \sim 200 \text{ g}$  范围内的硬度试验，其原理与测试方法同维氏硬度，

它可以测量极小区域内（如晶粒内）试验材料的硬度。在显微硬度试验中，载荷的选择很重要，过大或过小均会影响试验结果。

### 1.1.3 冲击试验

机械零件在服役过程中，还会受到冲击载荷的作用，如冲床、锻锤等机械零件。金属材料在冲击载荷作用下抵抗破坏的能力叫作冲击韧性。由于在冲击载荷下，加载速率大，变形条件复杂，塑性变形不充分，所以冲击试验更能反映材料的变脆性能。冲击试验通常采用一定尺寸和形状的金属试样。用金属试样在规定类型的冲击试验机上承受冲击载荷而折断时，断口单位截面积上所吸收的冲击功表征材料的冲击韧性，见式（1-6）：

$$\alpha_k = \frac{A_k}{F} \quad (1-6)$$

式中： $\alpha_k$ ——金属材料的冲击韧性， $J/cm^2$  或  $kg \cdot m/cm^2$ ；

$F$ ——断口的原始截面积， $cm^2$ ；

$A_k$ ——冲击功， $J$  或  $kg \cdot m$ 。

冲击试验方法如图 1-6 所示。在试验过程中，试样所吸收的功为冲击功， $A_k = mgh_1 - mgh_2$ 。

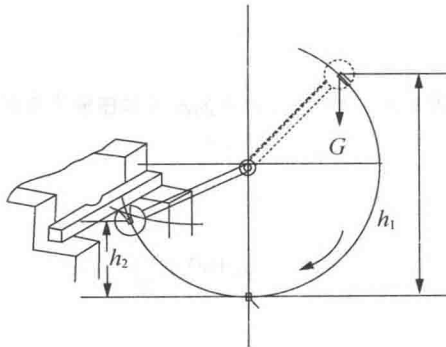


图 1-6 冲击试验方法示意图

## 1.2 金属材料的物理性能和化学性能

金属材料的物理性能是指在重力、热力（温度）、电场或磁场等物理因素的作用下，金属材料所表现出来的固有属性。机械零件或工程构件所用的金属材料涉及的物理性能主要有密度、熔点、导热性、热膨胀系数、导电性等。具体如下。

### 1.2.1 密度和熔点

在同一温度下，单位体积（ $V$ ）材料所具有的质量（ $m$ ）称为密度，密度的单位是克/立方厘米（ $g/cm^3$ ）或千克/立方米（ $kg/m^3$ ），一般用式（1-7）计算：

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-7)$$

Al、Mg 等金属及合金的密度小于  $4.5 \text{ g/cm}^3$ ，称为轻金属；Fe、Ni、Cu、Zn 等金属及合金的密度大于  $4.5 \text{ g/cm}^3$ ，称为重金属。

金属在加热时，由固态转变为液态的转变温度称为金属的熔点。熔点的高低直接影响金属的性能及应用，如 W 及 W 合金具有较高的熔点，可以用做加热元件等耐高温件。

## 1.2.2 导热性和热膨胀系数

### 1. 导热性

当材料各部分之间不发生相对位移或不同的物体直接接触时，依靠物质的分子、原子及自由电子等微观粒子的热运动而产生的热量传递称为导热（热传导）。材料传导热量的能力称为导热性，用单位温度单位距离内传导热量的多少，即热导率  $\lambda$  表示，其单位是  $\text{J}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。热导率越大，材料的导热性越好。一般纯金属的导热性好于合金的导热性。Cu 的导热性较好，Al 次之。

导热系数的测定方法见国家标准《金属高温导热系数测量方法》（GB/T 3651—2008）、《耐火材料导热系数试验方法（热线法）》（GB/T 5990—2006）和《石墨材料中温导热系数测定方法》（GB/T 8722—2008）。

### 2. 热膨胀系数

物体因温度改变而发生的膨胀现象叫热膨胀。在外压强不变的情况下，大多数物质在温度升高时体积增大，温度降低时体积缩小。也有少数物质在一定的温度范围内，温度升高时，其体积反而缩小。

热膨胀系数有线膨胀系数  $\alpha$ 、面膨胀系数  $\beta$  和体膨胀系数  $\gamma$ 。线膨胀系数  $\alpha = \Delta L / (L \times \Delta T)$ ，面膨胀系数  $\beta = \Delta S / (S \times \Delta T)$ ，体膨胀系数  $\gamma = \Delta V / (V \times \Delta T)$ 。式中， $\Delta L$  为所给长度的变化， $L$  为初始长度； $\Delta S$  为所给面积的变化， $S$  为初始面积； $\Delta V$  为所给体积的变化， $V$  为初始体积； $\Delta T$  为热膨胀发生的温度区间。

严格来说，上面介绍的热膨胀系数的计算方法只是温度变化不大时微分定义式的差分近似；准确定义要求  $\Delta V$  与  $\Delta T$  无限微小，这就意味着热膨胀系数在较大的温度区间内通常不是常量。

温度变化不是很大时， $\alpha$  就成了常量，利用它，可以把固体体积膨胀表示如下：

$$V_T = V_0(1 + 3\alpha\Delta T)$$

式中： $V_T$ 、 $V_0$ ——物体末态和初态的体积。

对于可近似看成一维的物体，长度就是衡量其体积的决定因素，这时的热膨胀系数可简化定义为：单位温度改变下长度的增加量与原长度的比值，这就是线膨胀系数。

线膨胀系数的常用测量方法是顶杆法和望远镜直读法。新的测定线膨胀系数的方法——激光法也越来越受到重视。

顶杆法是一种经典方法，其采用机械测量原理，即将试样的一端固定在支持器的端头，另一端与顶杆接触，将试样、支持器和顶杆同时加热，试样与这些部件的热膨胀差值被顶杆

传递出来，并被测量。这类仪器根据试样位置（立式或卧式）、膨胀量的测量方法（直接测量、用电子或光学方法测量）而被分成多种型号。应用较普遍的是电感式膨胀仪。它的传感器是差动变压器，故也被称为差动变压器热膨胀仪。由于顶杆和支持器的尺寸较大，高温炉的加热条件难以使温度分布均匀，顶杆和支持器之间的膨胀量难以相互抵消，所以膨胀的测量值需要校正。

### 1.2.3 导电性及电阻温度系数

所谓导电性是指材料传导电流的能力。根据欧姆定律，一个导体  $AB$  两端的电位差为  $v$ ，导体的电阻为  $R$ ，通过导体的电流为  $i$ ，则它们之间的关系可用式 (1-8) 表达：

$$i = \frac{v}{R} \quad (1-8)$$

式中： $v$  的单位为  $V$ ， $R$  的单位为  $\Omega$ ， $i$  的单位为  $A$ 。

电阻  $R$  与导体的长度  $l$  成正比，与导体的横截面积  $S$  成反比，因此它们的关系可写为

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-9)$$

式中： $\rho$ ——电阻率。它表示单位长度、单位体积的电阻，单位为  $\Omega \cdot m$  或  $m\Omega \cdot cm$ 。 $\rho$  越小，表示材料的导电性越好。在研究金属或合金的导电性时，除使用电阻率  $\rho$  外，还常用电阻率的倒数——电导率  $\sigma$ 。显然，电阻率  $\rho$  越小，电导率  $\sigma$  越大，合金的导电性就越好。

材料的电阻随温度的变化而变化，通常将温度每升高一摄氏度时电阻增大的百分数称为电阻温度系数。金属通常具有正的电阻温度系数，即温度升高，电阻增大。

### 1.2.4 抗氧化性和耐腐蚀性

#### 1. 抗氧化性

抗氧化性是指金属材料在高温时抵抗氧化性气氛的氧化作用的能力。对于在高温下使用的零部件，要考虑构成这一零部件的材料的抗氧化性。

#### 2. 耐腐蚀性

耐腐蚀性是指金属材料抵抗周围介质腐蚀破坏作用的能力。

化学腐蚀是金属与周围介质直接发生化学作用的结果。它包括气体腐蚀和金属在非电解质中的腐蚀两种形式。其特点是腐蚀过程中不产生电流，而且腐蚀产物沉积在金属表面。

金属与酸、碱、盐等电解质溶液接触时发生作用而引起的腐蚀，称为电化学腐蚀。它的特点是腐蚀过程中有电流产生，其腐蚀产物（铁锈）不覆盖在阳极金属表面，而与阳极金属有一定距离。

耐腐蚀性由材料的成分、化学性能、组织形态等决定。在钢中加入可以形成保护膜的  $Cr$ 、 $Ni$ 、 $Al$ ，改变电极电位的  $Cu$  以及改善晶间腐蚀的  $Ti$ 、 $Nb$  等，可以提高耐腐蚀性。

对于在腐蚀性介质下工作的零部件要考虑材料的耐腐蚀性。



## 1.3 金属材料的工艺性能

工艺性能是金属材料的物理性能、化学性能和力学性能在加工过程中的综合反映，是指其是否易于进行冷、热加工的性能。按工艺方法的不同，工艺性能可分为铸造性、可锻性、焊接性和切削加工性等。

在设计零件和选择工艺方法时，都要考虑金属材料的工艺性能。例如，灰铸铁的铸造性优良，是其被广泛用来制造铸件的重要原因，但它的可锻性极差，不能进行锻造，其焊接性也较差。又如，低碳钢的焊接性优良，而高碳钢则很差，因此焊接结构广泛采用低碳钢。

### 1.3.1 铸造性

铸造性（可铸性）是指金属材料用铸造的方法获得合格铸件的性能。铸造性主要包括流动性、收缩性和偏析。流动性是指液态金属充满铸模的能力；收缩性是指铸件凝固时，体积收缩的程度；偏析是指金属在冷却凝固过程中，因结晶先后差异而造成金属内部化学成分和组织的不均匀性。

### 1.3.2 可锻性

可锻性是指金属材料在压力加工时，能改变形状而不产生裂纹的性能。它包括在热态或冷态下能够进行锤锻、轧制、拉伸、挤压等加工的性能。可锻性的强弱主要与金属材料的化学成分和组织状态有关。

### 1.3.3 焊接性

焊接性（可焊性）是指金属材料对焊接加工的适应性能。其主要是指在一定的焊接工艺条件下，获得优质焊接接头的难易程度。它包括两方面的内容：一是结合性能，即在一定的焊接工艺条件下，一定的金属形成焊接缺陷的敏感性；二是使用性能，即在一定的焊接工艺条件下，一定的金属焊接接头对使用要求的适用性。

### 1.3.4 切削加工性

切削加工性（可切削性、机械加工性）是指金属材料被刀具切削加工后成为合格工件的难易程度。切削加工性的强弱用加工后工件的表面粗糙度、允许的切削速度以及刀具的磨损程度来衡量。它与金属材料的化学成分、力学性能、导热性及加工硬化程度等诸多因素有关。通常用硬度和韧性大致判断切削加工性的强弱。一般来讲，金属材料的硬度越高，越难切削；硬度虽不高，但韧性大，切削也较困难。