

# GXJH

工学结合新思维高职高专  
航海技术类“十二五”规划教材  
总主编 马魁君

# 轮机工程材料基础

LUNJI GONGCHENG CAILIAO JICHU

【 主 编 杜金印  
副主编 于志民 】



对外经济贸易大学出版社  
University of International Business and Economics Press

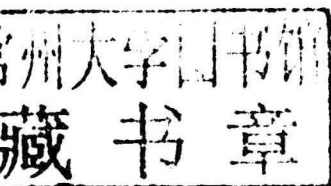
工学结合新思维高职高专航海技术类“十二五”规划教材

总主编 马魁君

# 轮机工程材料基础

主 编 杜金印

副主编 于志民



对外经济贸易大学出版社  
中国·北京

## 图书在版编目 (CIP) 数据

轮机工程材料基础 / 杜金印主编. —北京: 对外  
经济贸易大学出版社, 2013

工学结合新思维高职高专航海技术类“十二五”规划  
教材

ISBN 978-7-5663-0617-3

I. ①轮… II. ①杜… III. ①轮机-工程材料-高等  
职业教育-教材 IV. ①U668

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 015222 号

© 2013 年 对外经济贸易大学出版社出版发行

版权所有 翻印必究

## 轮机工程材料基础

杜金印 主编

责任编辑: 庄蕊 郭华良 高卓

---

对外经济贸易大学出版社

北京市朝阳区惠新东街 10 号 邮政编码: 100029

邮购电话: 010-64492338 发行部电话: 010-64492342

网址: <http://www.uibep.com> E-mail: [uibep@126.com](mailto:uibep@126.com)

---

唐山市润丰印务有限公司印装 新华书店北京发行所发行

成品尺寸: 185mm × 260mm 16.5 印张 382 千字

2013 年 1 月北京第 1 版 2013 年 1 月第 1 次印刷

---

ISBN 978-7-5663-0617-3

印数: 0 001 - 2 000 册 定价: 31.00 元

# 出版说明

中国自 2001 年加入世贸组织之日起，严格遵守有关海运行业的发展承诺，全面实施《国际海运条例》等法规，在海运服务、港口建设等方面实行新的开放政策，为中外航商提供更为公平的市场经营环境，将海运发展为直接与国际接轨和充分竞争的行业，其开放度高于发展中国家，与发达国家基本相当。

当前，中国正在积极建设以渤海湾、长三角、珠三角为依托的 3 大国际航运中心，即以天津、大连、青岛等港口为支撑的北方国际航运中心；以江浙为两翼、上海为中心的上海国际航运中心；以深圳、广州、香港为支撑的香港国际航运中心。

为适应我国海运事业蓬勃发展对航海技术类高素质技能型专业人才的迫切需要，对外经济贸易大学出版社认真贯彻教育部教高〔2006〕16 号《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》的要求，联合天津海运职业学院、天津职业大学、天津中德职业技术学院、天津电子信息职业技术学院、芜湖职业技术学院、天津商务职业学院、天津冶金职业技术学院、天津青年职业学院、天津城市职业学院、河北交通职业技术学院、天津国土资源和房屋职业学院、南通航运职业技术学院、广西职业技术学院、西安职业学院、济南铁道学院、福建交通职业学院、集美大学航海学院、辽东学院等国家、省（直辖市）级示范性高等职业院校创新推出的一套面向高职高专高层次、涵盖航海技术类不同专业的立体化教材——工学结合新思维高职高专航海技术类“十二五”规划教材。该系列教材包括航海技术、海事管理、酒店管理（邮轮乘务）、轮机工程管理、航运经济、计算机网络技术、理化测试及质检技术等专业。

根据教高〔2006〕16 号文件关于“高等职业院校要积极与行业企业合作开发课程，根据技术领域和职业岗位（群）的任职要求，参照相关的职业资格标准，改革课程体系和教学内容，建立突出职业能力培养的课程标准，规范课程教学的基本要求，提高课程教学质量”的要求，本套教材的编者在深入行业实践、调研的基础上，着眼于提高学生专业实际操作能力和就业能力的宗旨，采取了情境模块、案例启发、任务驱动、项目引领、精讲解重实训的编写方式，使教材建设在理论够用的基础上，在专业技能培养与训练环节，特别是“教学做一体化”方面有所突破，“确保优质教材进课堂”。

根据国家职业教育的指导思想，目前我国高职高专教育的培养目标是以能力培养和技术应用为本位，其教材建设突出强调应用性和适用性，既要满足专业教育，又能适应就业导向的“双证书”（毕业证和技术等级证）的人才培养目标需要。根据教育部提出的高等职业教育“与行业企业共同开发紧密结合生产实际的实训教材”的要求，本套教材的作者不仅具有丰富的高等职业教育教学经验，而且具有海运企业相关岗位的一线实践经历，主持或参加过多项应用技术研究。这是本套教材编写质量与高等职业教育特色的重要保证。

此外，本套教材配有教师用 PPT 文稿，方便教师教学参考。

天津海运职业学院院长马魁君教授担任本套教材的总主编。本套教材的参编企业有中远散运有限责任公司、中国石油集团海洋工程有限公司、伦敦海事、微软（中国）有限公司、中铁工程设计院（天津）有限公司、新浪网技术（中国）有限公司、思科（中国）网络技术有限公司等。

愿本套工学结合新思维高职高专航海技术类“十二五”规划教材的出版对我国海运高等职业教育的创新发展与高职人才培养质量的稳步提升有所助益！

对外经济贸易大学出版社

2011年6月

# 前 言

《轮机工程材料基础》是工学结合新思维高职高专航海技术类“十二五”规划教材之一。

《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》是我国进入21世纪之后的第一个教育规划，是今后一个时期指导全国教育改革的纲领性文件。《规划纲要》进一步明确提出要实施职业教育办学模式改革试点，以服务为宗旨，以就业为导向，推进教育教学改革，实行工学结合、校企合作、顶岗实习的人才培养模式，以切实提高职业教育教学质量为重点，满足经济社会对高素质劳动者和技能型人才的需要。

材料是人类用来制作各种产品的物质，是人类生活及生产的物质基础，其品种、数量和质量直接反映了一个国家的现代化程度。在工程技术发展史上，每一项发明创造的推广应用、每一个科学理论的技术应用，都与材料密切相关。工程材料的种类繁多，一般可分为4大类：金属材料、高分子材料、陶瓷材料、复合材料。

《轮机工程材料基础》是为轮机工程专业和船机制造与维修专业的学生及船上轮机人员、船舶机务管理人员和船厂工程技术人员编写的专业技术基础书籍。作为轮机工程专业的专业基础课程，《轮机工程材料基础》不仅在《中华人民共和国海船船员适任考试大纲》中占有一定比例，而且为学习船舶柴油机、船舶辅机、船机维护与修理等专业核心课程奠定理论基础。

为适应国际航运业对高素质、技能型专业人才的迫切需求，本教材充分汲取近年来轮机工程专业教材在探索培养职业技术应用型专业人才方面取得的成功经验和教学成果，并在广泛了解国际航运企业对于海船船员职业人才能力素质需求的基础上，秉持“就业为导向”的人才培养目标以及“以能力培养为主线构建内容体系、突出实训和实践特色、突出综合素质培养”的育人原则，编写完成这本教材。

本教材服务于轮机工程专业和船机制造与维修专业的学生及船上轮机人员、船舶机务管理人员和船厂工程技术人员，主要介绍金属学的一些基本知识、热处理的基本理论与各种热处理工艺的目的和方法以及各种船用工程材料的牌号、成分、性能与用途。为船用零件的设计和船舶设备的使用提供正确选材和合理用材的基本原则、方法和知识，为专业核心课程的学习与训练提供必要的理论基础。

本教材遵循“工学结合”、“项目引领”与“任务驱动”的教学改革思路编写，打破传统的章节式教材建设模式，基于学生对专业知识点认知规律，设立了10个教学与训练模块、37个教学情境。模块与模块之间既可相对独立，又能有机相融。

教材内容的选编主要围绕船用材料的使用及其性能，有针对性地对传统内容进行筛选，以够用为原则，以适用为标准，参照《中华人民共和国海船船员适任考试大纲》对本课程教学内容的具体要求，对轮机工程专业学生应知应会的重要知识与核心技能进行精心筛选，分别组合在10个模块中。

教材中每个模块的开端都提出“学习与训练总目标”，并以“学习与提示”引发学生对本学习模块的整体概览，激发学生的学习热情；每个“学习情境”下亦设立“学习与训练目标”，以明确具体的学习要求；继而将本课程的重要知识点逐一地精练讲解；每个“学习情境”之后均精心安排了“思考与训练”，突显专业基础课教学“教、学、做一体化”的特征，既有利于学生掌握专业基础的核心知识和能力，又能帮助学生顺利通过《国家海事局海船船员适任证书》的统考。

本书的编写采用了大量的图片、表格等，使轮机工程材料方面的抽象知识变得易懂、直观。

本教材由天津海运职业学院杜金印老师担任主编，于志民老师担任副主编。具体分工为：第一、第十模块由于志民老师编写，第二模块~第四模块由孙铮老师编写，第五模块由孙忠敏老师编写，第六模块~第九模块由杜金印老师编写。杜金印老师对全书进行了整合。

本教材在编写过程中得到天津海运职业学院院长马魁君教授的大力支持和帮助，天津对外经济贸易职业学院魏秀敏教授对本书的编写思路、体例安排、框架设计、内容选取、特别是在“教学做一体化”特色的彰显方面给予了精心指导，在此向他们表示最诚挚的谢意。

本书编写过程中参考了大量网站资料和图书杂志，在书末以参考文献等形式列出。在此，对这些书籍与资料的作者表示衷心的感谢。

由于作者深入海洋运输一线实船轮机操作的时间有限，本教材有疏漏和不足之处在所难免，敬请航海实业界轮机工程专家、航海技术类高职教育界同仁与广大读者不吝赐教，以便日后充实完善。

编者  
2012.11

# 目 录

模块一 金属材料的性能 .....	(1)
教学情境一 金属材料的机械性能 .....	(1)
教学情境二 金属的工艺性能和物理、化学性能 .....	(13)
模块二 金属的晶体结构与结晶 .....	(17)
教学情境一 金属的晶体结构 .....	(17)
教学情境二 金属的结晶 .....	(24)
模块三 金属的塑性变形与再结晶 .....	(32)
教学情境一 金属的塑性变形 .....	(32)
教学情境二 塑性变形对金属组织和性能的影响 .....	(37)
教学情境三 变形金属在加热过程中的变化 .....	(39)
教学情境四 金属的热变形 .....	(42)
模块四 合金的结构与铁碳合金相图 .....	(44)
教学情境一 合金的基本概念及晶体结构 .....	(44)
教学情境二 铁碳合金的基本组织 .....	(48)
教学情境三 铁碳合金相图 .....	(53)
教学情境四 铁碳合金的成分与其组织和性能的关系 .....	(62)
教学情境五 铁碳合金相图的应用 .....	(63)
模块五 钢的热处理 .....	(65)
教学情境一 钢在加热与冷却时的组织转变 .....	(66)
教学情境二 钢的退火与正火 .....	(81)
教学情境三 钢的淬火 .....	(87)
教学情境四 钢的回火和表面热处理 .....	(95)
模块六 船用工业用钢 .....	(107)
教学情境一 钢铁生产简介 .....	(108)
教学情境二 船用碳素钢 .....	(111)
教学情境三 船用合金钢 .....	(123)
教学情境四 船体结构用钢 .....	(148)
模块七 铸铁 .....	(153)
教学情境一 铸铁概述 .....	(153)
教学情境二 灰口铸铁 .....	(155)
教学情境三 球墨铸铁 .....	(160)
教学情境四 蠕墨铸铁 .....	(163)
教学情境五 可锻铸铁 .....	(165)



教学情境六 合金铸铁.....	(167)
<b>模块八 有色金属及其合金.....</b>	<b>(172)</b>
教学情境一 铝.....	(172)
教学情境二 铜及铜合金.....	(176)
教学情境三 滑动轴承合金.....	(185)
<b>模块九 船用非金属材料.....</b>	<b>(193)</b>
教学情境一 高分子材料.....	(193)
教学情境二 陶瓷材料.....	(205)
教学情境三 复合材料.....	(208)
<b>模块十 船机主要部件的材料和热处理.....</b>	<b>(212)</b>
教学情境一 船机主要部件的选材.....	(212)
教学情境二 锅炉用钢.....	(215)
教学情境三 船舶管系材料.....	(218)
教学情境四 船机重要部件.....	(223)
<b>参考文献.....</b>	<b>(250)</b>

## 金属材料的性能

### 学习与训练总目标

- ◆ 了解机械性能的基本概念
- ◆ 掌握室温下、高温下的机械性能指标
- ◆ 了解工艺性能、物理性能和化学性能的基本概念
- ◆ 掌握工艺性能所包括的种类及特点

### 思考与提示

1. 何谓金属材料的性能？金属材料的性能有哪些？
2. 何谓金属材料的机械性能？金属材料的机械性能指标有哪些？
3. 何谓金属材料的工艺性能？金属材料的工艺性能有哪些？

金属材料的性能一般分为使用性能和工艺性能两类。

所谓使用性能是指机械零件在使用条件下，金属材料表现出来的性能，它包括机械性能、物理性能、化学性能等。金属材料使用性能的好坏决定了其使用范围与使用寿命。

所谓工艺性能是指机械零件在加工制造过程中，金属材料在所定的冷、热加工条件下表现出来的性能。金属材料工艺性能的好坏决定了其在制造过程中加工成形的适应能力。

### 教学情境一 金属材料的机械性能

#### 学习与训练子目标

- ◆ 了解机械性能的基本概念
- ◆ 掌握室温下、高温下的机械性能指标

在机械制造业中，一般机械零件都是在常温、常压和非强烈腐蚀性介质中使用的，且在使用过程中各机械零件都将承受不同载荷的作用。金属材料在外力作用下抵抗变形和破坏的能力，称为机械性能，又称力学性能。机械性能是零件的设计和选材时的主要

依据。外加载荷性质不同（例如拉伸、压缩、扭转、冲击、交变载荷等），对金属材料机械性能的要求也不同。

金属材料的机械性能指标是通过各种试验方法测定的，常用的有拉伸试验、硬度试验、冲击试验和疲劳试验等。根据零件的使用温度不同，机械性能分为室温和高温机械性能指标。

## 知识点一 室温下金属的机械性能

室温下的机械性能指标包括刚度、强度、塑性、硬度、冲击韧性和疲劳强度，其中刚度、强度和塑性是通过拉伸试验来获得的。

拉伸试验在拉伸试验机上进行。根据国家标准的规定，制作截面为圆形的标准试样，其中  $d_0$  为试样截面的原始直径（mm）， $L_0$  为试样的原始标距（mm）。拉伸试样一般分为长试样和短试样：长试样  $L_0 = 10d_0$ ，短试样  $L_0 = 5d_0$ 。试样在拉伸机上缓慢增大拉伸力，随着轴向拉力  $P$  的增加，试样的伸长量  $\Delta L$  不断增加，直至试样被拉断。试验机自动记录装置绘出应力和应变的关系曲线。应力  $\sigma = P/A_0$ （ $A_0$  为试样原始截面积），应变  $\varepsilon = \Delta L/L_0$ 。图 1-1 为低碳钢拉伸应力—应变曲线。

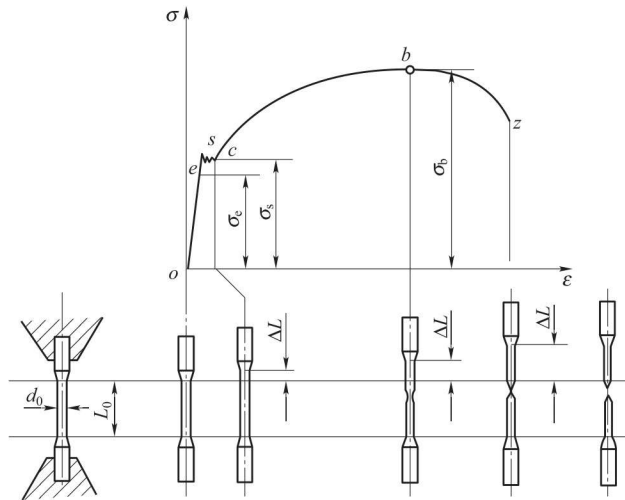


图 1-1 低碳钢拉伸应力—应变曲线

从图中可看出，试样在拉伸过程中，自受力起到试样被拉断为止，曲线分为以下几个阶段：

(1) 弹性变形阶段 ( $oe$ )：应力与应变成正比关系，外力去掉后，试样完全恢复原来的形状和尺寸，变形消失。

(2) 屈服阶段 ( $sc$ )：塑性变形的前期，曲线上出现一段水平线段（或锯齿线），此时外力不增加，而试样的塑性变形量却继续增大，出现了残余变形  $\Delta L$ ，这种现象称为屈服现象。

(3) 强化阶段 ( $cb$ ): 塑性变形的中期, 试样抵抗载荷的能力增加, 即欲使试样继续伸长, 则必须增加外力,  $b$  点应力达最大值。

(4) 颈缩阶段 ( $bz$ ): 塑性变形的后期, 外力增大到  $b$  点后, 变形集中在试样的局部区域, 产生颈缩现象。因颈缩处截面积急剧减小, 使变形所需外力减小, 所以  $bz$  呈下降趋势。

通过应力—应变曲线, 可得到下列机械性能指标:

## 一、刚度

刚度是金属材料在外力的作用下抵抗弹性变形的能力。衡量材料刚度的指标是弹性模量  $E$ 。在弹性变形阶段内, 弹性模量为应力与应变之比, 即  $E = \sigma/\varepsilon$ , 其值的大小反映金属材料弹性变形的难易程度。 $E$  值越大, 材料的刚度越大, 表明在一定应力作用下产生的弹性变形越小。

一般机械零件大多在弹性变形状态下工作, 如柴油机的机座和机体直接或间接支撑着曲轴、连杆、活塞等运动部件, 因此要求机座和机体必须有足够的刚度以保证运动部件之间正确的相对位置和各自的运动状态。 $E$  值主要取决于材料的本性, 热处理方法、微量合金化及塑性变形等对它影响很小。

## 二、强度

强度是金属材料在外力作用下抵抗塑性变形和断裂的能力。强度指标有屈服强度和抗拉强度。

### (一) 屈服强度

屈服强度又称屈服极限, 是材料抵抗微量塑性变形的能力, 也就是材料在外力作用下刚刚开始产生塑性变形时的应力, 用  $\sigma_s$  表示。

$$\sigma_s = \frac{P_s}{A_0} \quad (\text{MPa})$$

式中:  $P_s$ ——材料屈服时的外力, N;

$A_0$ ——标准试件的原始横截面积,  $\text{mm}^2$ 。

工程上使用的金属材料中, 大多数没有明显的屈服现象。因此国标规定, 对不产生屈服现象的材料, 以产生 0.2% 残余伸长量的应力值作为屈服强度, 用  $\sigma_{0.2}$  来表示。

机械零件在使用中应避免产生塑性变形, 否则将影响机器的正常工作。所以, 屈服强度就成为零件设计和选材的主要依据, 同时也是评定金属材料强度的重要指标之一。

### (二) 抗拉强度

抗拉强度又称强度极限, 是金属材料抵抗断裂的能力, 也就是材料在断裂前所承受的最大应力, 用  $\sigma_b$  表示。

$$\sigma_b = \frac{P_b}{A_0} \quad (\text{MPa})$$

式中:  $P_b$ ——试样在断裂时所承受的最大拉力, N;

$A_0$ ——标准试件的原始横截面积,  $\text{mm}^2$ 。

屈服强度与抗拉强度之比称为屈强比，即  $\sigma_s/\sigma_b$ ，是工程上常用的参数。材料的屈强比越小，表示零件的储备强度越大，工作可靠性就增大，可避免因突然超载而引起断裂。

### 三、塑性

金属材料在外力作用下产生塑性变形而不破坏的能力称为塑性。衡量指标有延伸率和断面收缩率。

#### (一) 延伸率

延伸率是指试样拉断后的标距增长量与原标距长度之比，用  $\delta$  表示，即

$$\delta = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\%$$

式中： $L_0$ ——试样原标距长度，mm；

$L$ ——试样拉断后的标距长度，mm。

材料的延伸率是随标距的增加而减少的，同一种材料用短试样要比长试样所测得的延伸率大 20% 左右。因此，用长、短两种试样求得的延伸率应分别以  $\delta_{10}$ （标距长度为其直径的 10 倍）和  $\delta_5$ （标距长度为其直径的 5 倍）表明。

#### (二) 断面收缩率

断面收缩率是指试样拉断处的截面积缩小量与原始截面积之比，用  $\psi$  表示，即

$$\psi = \frac{A_0 - A}{A_0} \times 100\%$$

式中： $A_0$ ——试样原始截面积， $\text{mm}^2$ ；

$A$ ——试样拉断处的截面积， $\text{mm}^2$ 。

材料的  $\delta$  和  $\psi$  值越大，表示金属材料的塑性越好。其中，断面收缩率与尺寸无关，因此用断面收缩率来表示塑性更合理。

### 四、硬度

硬度是金属材料表面抵抗局部塑性变形的能力，是衡量金属材料软硬程度的指标。

金属材料硬度的测试方法简单、方便，通常采用压入法测定，即用一定几何形状的压头，在一定压力的作用下压入金属表面，测定压痕面积或深度来确定硬度值。压痕面积越大或深度越深，表示材料的硬度越低。常用的硬度测定方法有以下几种：

#### (一) 布氏硬度

布氏硬度试验如图 1-2 所示。方法是将一定直径（一般为 10mm）的淬火钢球或硬质合金球，在一定压力的作用下压入金属表面，停留一定时间后卸除载荷，以单位面积上的压力作为硬度值，用 HB 来表示，即

$$HB = \frac{P}{A} \quad (\text{MPa})$$

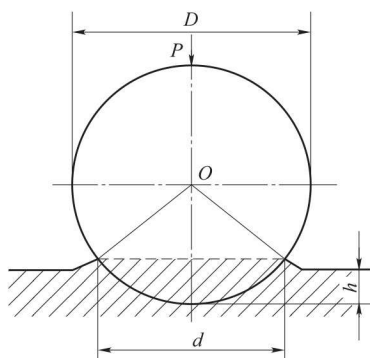


图 1-2 洛氏硬度试验原理示意图

式中： $P$ ——外力，N；

$A$ ——压痕面积， $\text{mm}^2$ 。

国标（GB 231—84）规定，布氏硬度值 $<450$ 时，采用淬火钢球压头，用HBS表示；硬度值 $\geq 450$ 时，选用硬质合金球压头，用HBW表示。HB值越大，表示材料越硬。布氏硬度主要用于测定普通碳钢、铸铁及有色金属等材料。布氏硬度测出的硬度值较准确，但由于压痕面积大，不宜测定成品或薄片金属硬度。

此外，可根据布氏硬度近似地估算出材料的抗拉强度。换算关系为：

低碳钢  $\sigma_b \approx 0.36\text{HB}$ ；

高碳钢  $\sigma_b \approx 0.34\text{HB}$ ；

合金调质钢  $\sigma_b \approx 0.325\text{HB}$ ；

灰铸铁  $\sigma_b \approx 0.1\text{HB}$ ；

## （二）洛氏硬度

洛氏硬度试验法根据零件表面上的压痕深度来确定硬度值，是目前应用最广泛的试验方法。根据压头及所加外力的不同，分别用HRA、HRB、HRC表示，其中以HRC应用最为普遍。各种洛氏硬度所用的压头、载荷及适用范围如表1-1所示。

表 1-1 洛氏硬度的试验条件和应用范围

硬度符号	压头类型	总载荷 (N)	应用范围
HRA	120° 金刚石圆锥体	588.4	极硬材料，如硬质合金
HRB	$\phi 1.588\text{mm}$ 淬火钢球	980.7	较软材料，如退火钢、有色金属等
HRC	120° 金刚石圆锥体	1 471.0	较硬材料，如淬火钢、调质钢等

洛氏硬度的测定方法是：先在初载荷 $P_0$ 的作用下，将压头压入被测金属表面，再施加主载荷 $P_1$ ，经一定时间后卸除主载荷 $P_1$ ，在保持初载荷的条件下，用测量的残余压痕深度增量来计算硬度值。图1-3为洛氏硬度试验示意图。

洛氏硬度值HR用下列公式计算：

$$\text{HR} = K - e$$

式中： $K$ ——常数，用金刚石圆锥体压头时 $K$ 为100；用钢球压头时 $K$ 为130；

$e$ ——残余压痕深度，单位为0.002mm。

洛氏硬度测定法简便、迅速，压痕小，可在工件表面或较薄的金属上进行试验，测量结果直接由表的读数显示。但不宜测定硬而脆的薄层，如渗氮层、渗碳层等。另外由于压痕较小，遇到不均匀的材质容易出现误差，一般可通过在不同的地方多测几次来避免。

## （三）维氏硬度

维氏硬度的试验原理基本上和布氏硬度试验相同。它是采用夹角为 $136^\circ$ 的四棱锥体金刚石压头，在规定载荷作用下压入被测试金属表面，保持一定时间后卸载，测量出压痕对角线的长度，计算出单位压痕面积上的力，即为维氏硬度，用HV来表示。

维氏硬度是一种较为精确的硬度测量方法，测量范围较广，压痕深度浅，适用于薄片及经化学热处理后渗层表面的硬度，但操作较麻烦。

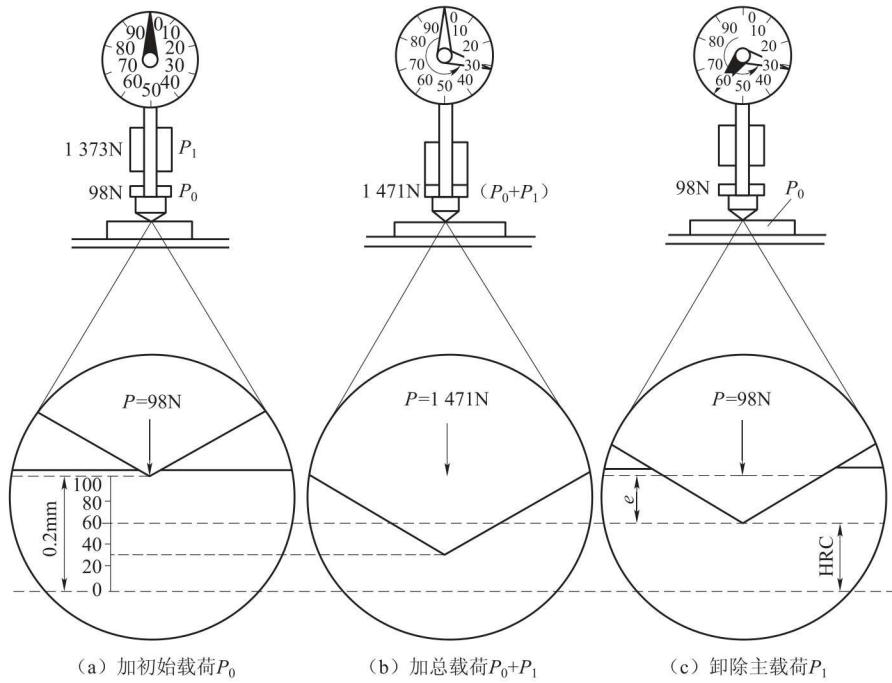


图 1-3 用金刚石圆锥体进行的洛氏硬度试验示意图

#### (四) 显微硬度

显微硬度以 HM 来表示。利用显微硬度计可测定材料内部的组织或相组成物的硬度。

### 五、冲击韧性

冲击韧性是指金属材料在冲击载荷作用下抵抗破坏的能力。冲击韧性值是通过冲击试验来测定的，如图 1-4 所示。试验时将试样放在试验机两支座上，把摆锤抬高到一定高度，使其具有位能，然后释放摆锤，将试样冲断。以冲断试样时断口单位面积所消耗的功作为冲击韧性值，用  $\alpha_k$  表示。 $\alpha_k$  越大，材料的韧性越好。

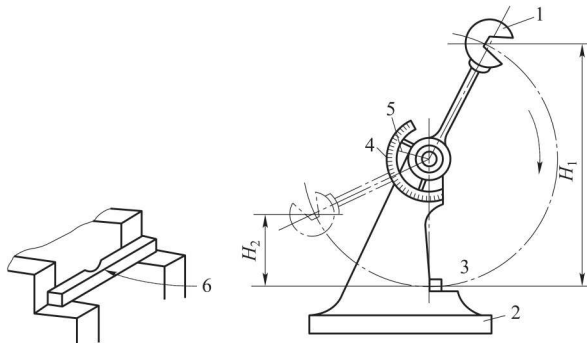


图 1-4 冲击试验原理示意图

1—摆锤；2—机架；3—试样；4—刻度盘；5—指针；6—冲击方向

$$\alpha_k = \frac{A_k}{A} \quad (\text{J/cm}^2)$$

式中： $A_k$ ——冲断试样所作的功，J；

$A$ ——试样断口截面积， $\text{cm}^2$ 。

某些材料的 $\alpha_k$ 值与温度有关， $\alpha_k$ 值随温度降低而降低，并在某一温度范围显著降低，这种现象称为冷脆或脆性转变。使 $\alpha_k$ 值显著降低的温度称为脆性转变温度。在脆性转变温度以下，材料由韧性状态转变为脆性状态，如有些低碳钢在 $-40^\circ\text{C}$ 以下时， $\alpha_k$ 值明显降低。材料的脆性转变温度越低，说明材料的低温冲击韧性越好。因此，在低温和严寒地区工作的构件或零件应具有较好的低温冲击韧性。

然而，在实际使用中，绝大多数承受冲击载荷的零件是在多次的小能量冲击作用下工作的。它们的破坏是由于多次冲击损伤的积累，不同于一次冲击的破坏过程。所以，材料在多次小能量重复冲击时的多冲抗力不能用一次冲击所得到的 $\alpha_k$ 值表示。实验表明，对承受冲击载荷的机件，多冲抗力主要取决于材料的疲劳强度。

## 六、疲劳强度

机械零件在交变载荷作用下，所受工作应力在小于 $\sigma_b$ 甚至小于 $\sigma_s$ 的情况下发生突然断裂，这种现象称为金属的疲劳，由此而产生的断裂称为疲劳断裂。据统计，在机件的断裂事故中，约有80%以上属于疲劳断裂。疲劳断裂与在静载荷作用下的断裂不同，不论是脆性材料还是塑性材料，疲劳断裂都是突然发生的，断裂前没有明显的塑性变形，因此具有很大的危险性，常常造成严重后果。

工程上用疲劳强度作为评定材料承受交变载荷能力的指标。材料在无限多次交变载荷的作用下不致引起破坏的最大应力称为疲劳强度（或疲劳极限），通过疲劳试验来测试。由于在实际中不可能进行无限次应力循环试验，因此，规定黑色金属材料以应力循环次数为 $10^7$ 次时材料不发生破坏的最大应力作为疲劳强度。有色金属、不锈钢等取 $10^8$ 次。

## 知识点二 高温下金属的机械性能

有些机械零件长期在高温下工作，如柴油机的进、排气阀，涡轮增压器的涡轮叶片，蒸汽锅炉中的高温、高压管道等。对于这些零件，常温下材料的性能已不能满足其工作要求。金属材料长时间在高温和载荷的作用下，即使应力小于 $\sigma_s$ 也会发生缓慢的塑性变形，这种现象称为蠕变。温度越高，蠕变越严重，甚至会导致零件断裂，造成重大事故。一般当材料温度超过 $0.3T_{\text{熔}}$ （以绝对温度表示熔点）时，蠕变才显著。

金属材料在高温下的机械性能指标有热强度和热硬性。

### 一、热强度

热强度是应力、应变、温度和时间综合作用的结果，其指标包括蠕变极限和持久强度。



### (一) 蠕变极限

蠕变极限是金属材料长期在高温和载荷的作用下抵抗塑性变形的能力,用  $\sigma_{\delta/t}^T$  表示,单位为 MPa,表示在一定温度  $T$  下、一定的时间  $t$  内,产生一定塑性变形量  $\delta$  (%) 时所能承受的最大应力。例如,用 1Cr13 制作涡轮叶片,该材料的蠕变极限  $\sigma_{0.1/10\,000}^{500} = 57\text{MPa}$ ,即在  $500^\circ\text{C}$  下工作 10 000 小时,产生 0.1% 的变形量时的最大应力为 57MPa。

### (二) 持久强度

持久强度是金属材料长期在高温和载荷作用下抵抗断裂的能力,用  $\sigma_t^T$  表示,单位为 MPa,表示在一定温度  $T$  下,工作一定的时间  $t$  后产生断裂时的应力。例如 1Cr13 的持久强度  $\sigma_{100\,000}^{500} = 190\text{MPa}$ ,即在  $500^\circ\text{C}$  下工作 100 000 小时发生断裂时的应力为 190MPa。

## 二、热硬性

热硬性又称红硬性,是金属材料在高温下仍具有较高硬度的性能。热硬性是在高温下工作的机器零件和高速切削刀具的重要机械性能指标。

## 思考与训练

复习本教学情境的基本知识,思考选择正确答案。

### 一、金属材料性能基础

- 下列金属材料中属于脆性材料的是\_\_\_\_\_。
  - 低碳钢
  - 铸铁
  - 锰钢
  - 铜
- 应力集中对塑性材料和脆性材料强度的影响分别是\_\_\_\_\_。
  - 小和大
  - 大和小
  - 大和大
  - 小和小
- 金属材料在常温下的机械性能包括刚度、强度、硬度、疲劳极限、冲击韧性和\_\_\_\_\_。
  - 塑性
  - 弹性
  - 脆性
  - 热硬性
- 测定金属材料的力学性能,常用的试验有\_\_\_\_\_。
  - 拉伸试验、硬度试验、再结晶试验、冲击试验
  - 拉伸试验、硬度试验、再结晶试验、疲劳试验
  - 拉伸试验、硬度试验、冲击试验、疲劳试验
  - 拉伸试验、疲劳试验、再结晶试验、冲击试验
- 关于金属材料的机械性能,下列说法不正确的是\_\_\_\_\_。
  - 衡量金属材料的塑性,断面收缩率较延伸率更好
  - 弹性模量是衡量金属材料刚度的指标
  - 硬度是金属表面抵抗局部塑性变形的能力
  - 材料的屈服强度较小,则零件的储备强度小,工作可靠性差
- 关于金属材料的机械性能,下列说法不正确的是\_\_\_\_\_。
  - 衡量金属材料的塑性,延伸率较断面收缩率更好
  - 弹性模量是衡量金属材料刚度的指标
  - 硬度是金属表面抵抗局部塑性变形的能力
  - 常用的硬度指标有 HB、HR、HV 及 HM 共 4 种