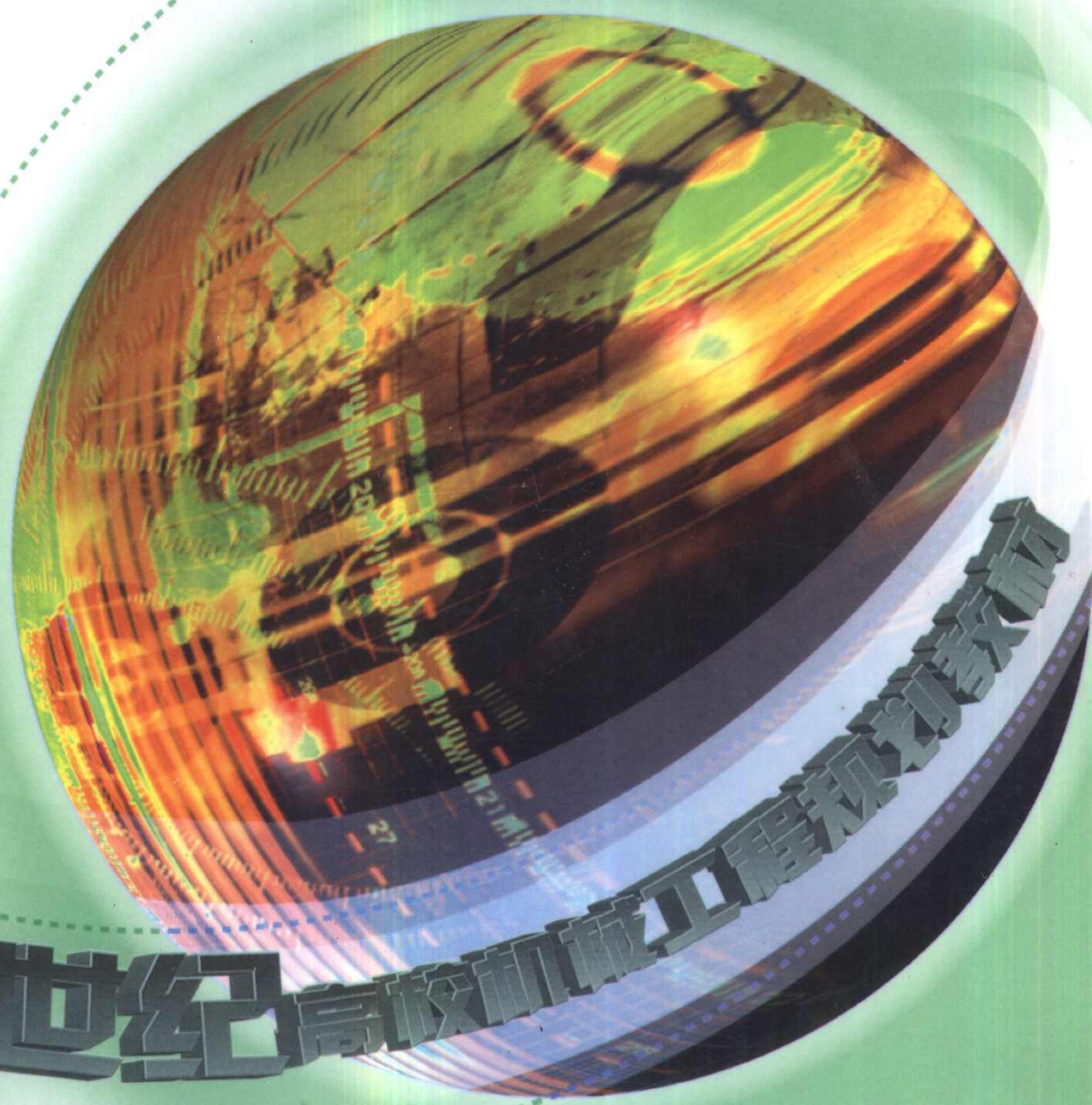


新世纪 GAOXIAO GUIHUA JIAOCAO 新世纪高校机械工程规划教材



# 机械工程材料

主 编 赵 程 杨建民



新世纪高校机械工程规划教材

4-43

 **机械工业出版社**  
CHINA MACHINE PRESS



427

JH14-43

243

新世纪高校机械工程规划教材

# 机械工程材料

主 编	赵 程	杨建民
副主编	王吉岱	许崇海
参 编	吴 欣	侯俊英
	李镇江	倪献智
	李 达	孙清洲
主 审	魏广升	



A1033435



机械工业出版社

本书是新世纪高校机械工程规划教材之一。根据教育部新的专业设置和“机械工程材料”课程教学大纲的基本要求，全书共分8章，主要内容包括工程材料的力学性能；工程材料的基础知识；钢的热处理；金属材料；非金属材料；材料的选用和新材料等内容。本教材在编写顺序上，按照由浅入深、再深入浅出、循序渐进、便于教学的思路，注重培养学生分析问题和解决问题的能力。每章后附有思考题，以便于学生理解吸收本章学过的内容。

本书可以作为普通高等工科院校工程、管理等专业的制造技术基础类教材，亦可以供有关工程技术人员参考。

### 图书在版编目（CIP）数据

机械工程材料/赵程，杨建民主编. - 北京：机械工业出版社，2003.1  
新世纪高校机械工程规划教材  
ISBN 7-111-11263-6

I. 机… II. 赵… III. 机械制造材料-高等学校-教材 IV. TH14

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2002）第 097550 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:高文龙 版式设计:张世琴 责任校对:申春香

封面设计:姚毅 责任印制:路琳

北京蓝海印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2003 年 2 月第 1 版·第 1 次印刷

1000mm×1400mm B5·7.75 印张·298 千字

0 001—4 000 册

定价:19.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010) 68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

# 新世纪高校机械工程规划教材 编审委员会

顾问：艾兴（院士）

领导小组：张 慧 高振东 梁景凯 高文龙

赵永瑞 赵玉刚

委员：张 慧 张进生 宋世军 沈敏德

赵永瑞 程居山 赵玉刚 齐明侠

高振东 王守城 姜培刚 梅 宁

昃向博 梁景凯 方世杰 高文龙

王世刚 尚书旗 姜军生 刘镇昌

# 前 言

随着科学技术的飞速发展，过去以传统金属材料为主导的机械制造技术已发生了根本性的变化。新材料、新工艺及新技术在现代机械制造业中起着越来越重要的地位。在这种形势下，作为培养高水平工程技术人才的高等教育要跟上当前形势的发展，实现科学技术为生产服务的宗旨。

“机械工程材料”是机械制造专业重要的专业基础课程，涉及的知识面广，实用性强。编写本教材时既要考虑到内容丰富，尽可能地拓宽学生的知识面，又不能过于琐碎，削弱或湮没了基本知识和重点内容。所以本教材在编写时本着有所为、有所不为的原则，对基础理论部分要掌握深度和学为所用；对基本内容和重点内容要讲明讲细；对有规律的内容要举一反三，以培养学生总结归纳的能力；对非重点部分将简要叙述，由授课教师在课堂上给予展开或让学生在课后查阅相关资料。

在本书的编写顺序上，编者按照由浅入深、再深入浅出、循序渐进、便于教学思路，首先从工程材料的宏观性能的学习开始，使学生对工程材料有一个初步的感性认识。随之开始引深到材料的微观组织结构和材料热加工过程中的组织结构转变，让学生了解到材料的本质，并掌握必要的材料基础理论知识、材料组织结构转变的机理和对材料性能的影响。在此基础上，通过对金属材料和非金属材料的学习，使学生对工程材料有了一个比较全面的了解和认识。通过材料的选用的学习，在培养学生分析问题、解决问题的能力同时，可以系统地总结复习本教材所学过的知识。最后通过对新材料的学习，达到拓宽学生专业知识面，让学生了解当前国内外最新工程材料的发展动向的目的。本书每章最后都附有思考题，以巩固所学知识和培养学生分析问题的能力。

参加编写本教材的编者都是多年从事“机械工程材料”教学工作的教师，他们分别是：青岛科技大学的赵程、李镇江和侯俊英；青岛大学的杨建民和李达；山东轻工学院的许崇海和倪献智；山东科技大学的王吉岱；哈尔滨工业大学威海分校的吴欣和山东建筑工程学院的孙清洲。由赵程和杨建民任主编并负责统稿，由青岛大学魏广升教授负责主审。

在本书的编写过程中，山东省教育厅和机械工业出版社给予了热情的帮助和指导。同时，在编写过程中参考并引用了有关教材和文献的资料和插图，编者在此深表谢意。

限于编者的水平，书中必然还存在一些错误和不足之处，恳请读者批评指正。

编 者  
2002年8月于青岛

# 目 录

前言

绪论 .....	1
<b>第一章 工程材料的力学性能 .....</b>	<b>4</b>
第一节 材料的强度与塑性 .....	4
第二节 材料的硬度 .....	7
第三节 材料的冲击韧度 .....	9
第四节 材料的疲劳强度 .....	10
第五节 材料的断裂韧度 .....	11
思考题 .....	13
<b>第二章 工程材料的基础知识 .....</b>	<b>14</b>
第一节 金属的晶体结构 .....	14
第二节 合金的相结构 .....	23
第三节 金属与合金的结晶 .....	26
第四节 合金的结晶 .....	30
第五节 铁—碳合金相图 .....	37
思考题 .....	46
<b>第三章 金属的塑性变形与再结晶 .....</b>	<b>47</b>
第一节 金属的塑性变形 .....	47
第二节 冷塑性变形对金属组织和性能的影响 .....	51
第三节 回复与再结晶 .....	54
第四节 金属的热塑性加工 .....	57
思考题 .....	59
<b>第四章 钢的热处理 .....</b>	<b>60</b>
第一节 钢在加热时的组织转变 .....	60
第二节 钢在冷却时的组织转变 .....	64
第三节 钢的退火与正火 .....	75
第四节 钢的淬火 .....	77
第五节 钢的回火 .....	84
第六节 钢的表面淬火和化学热处理 .....	88
第七节 钢的热处理新技术和新工艺 .....	95
思考题 .....	99

<b>第五章 金属材料</b> .....	101
第一节 工业用钢 .....	101
第二节 铸铁 .....	124
第三节 有色金属及其合金 .....	137
思考题 .....	154
<b>第六章 非金属材料 and 复合材料</b> .....	155
第一节 高分子材料 .....	155
第二节 陶瓷材料 .....	171
第三节 复合材料 .....	179
思考题 .....	189
<b>第七章 常用机械工程材料的选用</b> .....	190
第一节 零件的失效与失效分析 .....	190
第二节 选材的基本原则 .....	196
第三节 典型工件的选材及工艺路线设计 .....	202
思考题 .....	217
<b>第八章 新材料 and 新工艺</b> .....	218
第一节 形状记忆材料 .....	218
第二节 膨胀材料及减振材料 .....	220
第三节 金属间化合物 .....	223
第四节 非晶态合金材料 .....	226
第五节 梯度功能材料 .....	228
第六节 纳米材料 .....	230
第七节 贮氢材料 .....	232
思考题 .....	235
<b>附录</b> .....	236
附表 A 洛氏硬度与其他硬度换算表 .....	236
附表 B 国内外常用钢号对照表 .....	238
<b>参考文献</b> .....	239

# 绪 论

## 一、材料发展概要

材料是人类生产和社会发展的重要物质基础，也是日常生活中不可分割的一个组成部分。自从地球上有了人类至今，材料的利用和发展构成了人类文明发展史的里程碑：从原始时期的石器时代开始，在经历了青铜器时代和铁器时代，将人类带入了农业社会；18世纪钢铁时代的来临，造就了工业社会的文明；尤其是近百年来，随着科学技术的迅猛发展和社会需求，新材料更是层出不穷，出现了“高分子材料时代”、“半导体材料时代”、“先进陶瓷材料时代”、“复合材料时代”、“人工合成材料时代”和即将进入的“纳米材料时代”。目前，能源、信息和新材料已成为现代科学技术和现代文明的三大支柱，而在这三者之间，新材料又是最重要的基础。历史证明，每一次重大新技术的发现，往往都依赖于新材料的发展。

人们对材料的认识也是在历史的发展中逐步深入了解的。在原始社会的末期，中华民族的祖先最早使用了火烧制陶器。东汉时期出现的瓷器，对人类文明产生了极大的影响，已成为中国古代文化的象征。4000年多年前，金属材料开始出现在人类的生活中，当时我国的青铜冶炼与铸造技术就已发展到了较高的水平。在春秋时期，我国发明了炼铁技术，比欧洲早1800多年。到了汉代，我国“先炼铁后炼钢”的技术已居世界领先地位；从西汉到明朝，我国的钢铁生产技术、钢铁热处理技术及钢铁材料的应用都已达到了相当高的水平。明代科学家宋应星所著《天工开物》一书是世界上最早的有关金属加工工艺学的著作之一。到了18世纪，以欧洲为中心的世界工业迅速发展，钢铁工业开始迅猛发展，成为产业革命的主要潮流和物质基础。1863年第一台光学显微镜问世，使人们开始步入材料的微观世界。随着1912年X射线衍射技术和1932年电子显微分析技术及后来出现的各种先进的显微分析技术，把人们带到了微观世界的更深层次，人们开始了对晶体微观结构的研究，大大推动了材料学的研究与发展。同时，一些与材料有关的基础学科（如固体物理、量子力学、化学等）的发展，又有力地推动了材料科学的深入研究。20世纪以来，随着现代科学技术和生产的迅速发展，对材料的要求也越来越高。在大量发展高性能金属材料的同时，又迅速发展和应用了高性能的非金属材料 and 复合材料，并正在进入人工合成材料的新时代。

正是由于材料科学对人类社会的文明和经济的发展所起到的不可估量的巨大作用，世界各国都非常重视对材料科学研究。材料的种类、数量和质量已是衡量



一个国家科学技术、国民经济水平以及社会文明的重要标志之一。尤其是新材料技术更是高科技发展的一个关键领域，起着先导和基础的作用，被视为高技术发展的突破口。我国把新材料的研究开发放在了优先发展的地位。

## 二、工程材料的分类

工程材料是指工程上使用的材料，其种类繁多，有许多不同的分类方法。若按材料的化学成分、结合键的特点分，可分为金属材料、非金属材料 and 复合材料三大类。

### 1. 金属材料

金属材料是用量最大、用途最广的机械工程材料。它包含两大类型：黑色金属和有色金属。

(1) 黑色金属 黑色金属是指铁和以铁为基的合金，即钢铁材料，它占金属材料总量的95%以上。由于钢铁材料力学性能优良和低廉的价格，所以在工程材料中一直占据着不可替代的主导地位。

(2) 有色金属 除铁基合金之外的所有金属及其合金材料。它可分为轻金属（如铝、镁、钛），重金属（如铅、锡），贵金属（如金、银、镍、铂）和稀有金属等。其中以铝、铜及其合金用途最广。

### 2. 非金属材料

非金属材料主要包括高分子材料和陶瓷材料和复合材料。

(1) 高分子材料 高分子材料又称聚合物材料，主要成分为碳和氢。按其用途和使用状态又分为橡胶、塑料、合成纤维和胶粘剂等四大类型。

(2) 陶瓷材料 陶瓷材料是指硅酸盐、金属与非金属元素的氧化物、氮化物、碳化物等。主要包括普通陶瓷、特种陶瓷和金属陶瓷三大类。

3. 复合材料 复合材料是把两种或两种以上的不同性质或不同组织结构的材料以微观或宏观的形式组合在一起而构成的。它不仅保留了组成材料各自的优点，而且具有单一材料所没有的优异性能。复合材料通常分为三大类：树脂基复合材料、金属基复合材料和陶瓷基复合材料。

## 三、“机械工程材料”课程性质与任务

机械工业是一个国家的基础产业。目前，机械工业正向着高速、自动、精密方向迅速发展，在机械产品设计与制造过程中，涉及到材料与材料加工的问题越来越多。因此，在机械设计过程中不可避免地要对工程材料的选择、应用与加工等问题进行科学系统的分析并予以全面正确的解决。“机械工程材料”课程正是为实现这一目标而设置的。

“机械工程材料”课程是机械类专业的一门重要的专业基础课，通过本课程的学习使学生在获得工程材料一般知识的基础上，了解常用材料成分、组织、性能和加工工艺之间的关系及其用途，从而使其初步具备合理选择材料和使用材

料、正确选择加工方法及安排制订加工工艺路线的能力，也为后继有关课程的学习奠定必要的材料学基础。

“机械工程材料”课程又是一门实践应用性很强的课程，在学习时应注意结合生产应用实际，注重分析、理解与运用，强调前后知识的整体联系与综合应用，以达到提高发现问题、分析问题和解决问题的独立创新工作能力。

# 第一章 工程材料的力学性能

由工程材料制成的机械零部件在使用过程中要受到各种形式的力，材料在这些力的作用下所表现出的特性被称为材料的力学性能。材料的力学性能包括强度、塑性、硬度、韧性、抗疲劳性和耐磨性等。材料的力学性能不仅取决于材料本身的化学成分，而且还和材料的微观组织结构有关。

材料的力学性能是衡量工程材料性能优劣的主要指标，也是机械设计人员在设计过程中选用材料的主要依据。材料的力学性能可以从设计手册中查到，也可以用力学性能试验方法获得。了解材料力学性能测试条件、实验方法和性能指标的意义将有助于了解工程材料的本性。

## 第一节 材料的强度与塑性

材料在外力作用下抵抗变形和断裂的能力称为材料的强度。根据外力的作用方式，材料的强度分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度和抗剪强度等。

材料在外力作用下显现出的塑性变形能力称为材料的塑性。

材料的强度和塑性是材料最重要的力学性能指标之一，它可以通过拉伸试验获得。一次完整的拉伸试验记录还可以获得许多其他有关该材料性能的有用数据，如材料的弹性、屈服极限和材料破坏所需的功等。所以拉伸试验是材料性能试验中最为常用的一种试验方法。

### 一、拉伸试验及拉伸曲线

拉伸试验可以在拉伸试验机上进行，被测试的材料按国家标准制成如图 1-1 所示的光滑圆柱形标准拉伸试样。试样中间截面均匀的部分作为测量延伸量的基本长度，称为标距  $L_0$ 。试样的两端放在拉伸试验机的夹头内夹紧，然后缓慢而均匀地施加轴向拉力。随着拉力的增加，试样被拉长，直至拉断为止。在拉伸过程中，拉伸试验机上的自动记录系统同时绘制出拉伸过程中的应力—应变曲线图，也称为  $\sigma$ - $\epsilon$  曲线。图 1-2 是低碳钢的  $\sigma$ - $\epsilon$  曲线图。图的纵坐标为应力  $\sigma$ （单位为 Pa），横坐标为应变  $\epsilon$ （%）， $\sigma$  和  $\epsilon$  的定义可表示如下：

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

式中  $F$ ——轴向拉力 (N)；

$S$ ——试样的横截面积 ( $\text{m}^2$ )。

$$\epsilon = \frac{L_1 - L_0}{L_0}$$

式中  $L_0$ ——试样标距长度 (mm);

$L_1$ ——试样变形过程中和  $F$  对应的总伸长 (mm)。

$\sigma$ - $\epsilon$  图显示了材料在单向拉应力作用下, 从开始变形直至断裂整个过程中的各种性质, 它一般可以分为三个阶段:

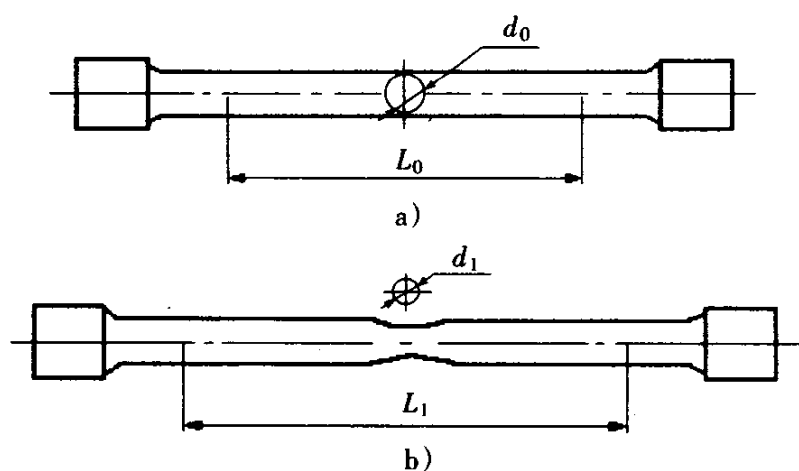


图 1-1 拉伸试样示意图

a) 拉伸前 b) 拉伸后

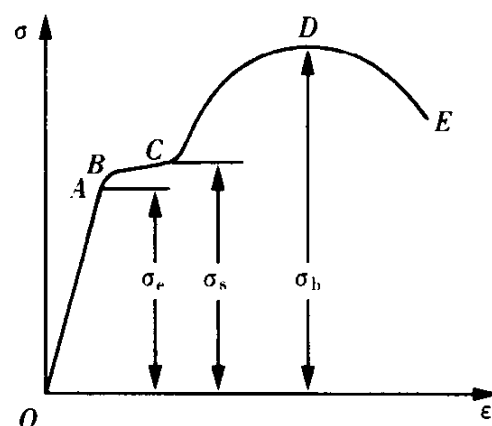


图 1-2 低碳钢拉伸曲线

### 1. 弹性变形阶段 (O-A)

在这个阶段, 材料内部的原子之间距离只发生弹性伸长, 所以应力与应变呈直线关系, 遵从虎克定律。此时如果卸掉载荷, 试样就能恢复到原来的长度。

### 2. 塑性变形阶段 (B-D)

此时  $\sigma$  与  $\epsilon$  的关系偏离直线关系。在  $BC$  段, 应力几乎不变, 但应变却不断增大。超过  $C$  点之后, 因材料发生加工硬化, 若要试样继续变形就必须加大载荷。当应力达到最大值 ( $D$  点) 后, 试样的某一部分截面急剧缩小, 产生“缩颈”现象。在塑性变形阶段即使卸掉载荷, 试样也不能恢复到原来的长度。

### 3. 断裂 (E 点)

在  $E$  点以后, 试样的变形主要集中在缩颈部分, 最终导致试样在缩颈处发生断裂。

拉伸曲线所显示出的材料本性主要是由于材料内部微观结构的变化引起的, 所以不同的材料在拉伸过程中会出现不同形式的  $\sigma$ - $\epsilon$  曲线。

## 二、拉伸曲线所确定的力学性能指标及意义

根据  $\sigma$ - $\epsilon$  曲线可以计算出材料的强度、塑性等力学性能指标。

### 1. 弹性模量 $E$

图 1-2 中的直线段  $OA$  的斜率即为材料的弹性模量  $E$ :

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

式中  $\sigma$ ——应力；

$S$ ——试样原始横截面积。

弹性模量  $E$  值表征材料产生弹性变形的难易程度。金属的弹性模量是一个对组织不敏感的参数，其大小主要取决于金属的本性，而与显微组织无关。因此，热处理、合金化、冷热变形等对它的影响很小。要想提高金属制品的刚度，只能更换金属材料、改变金属制品的结构形式或增加截面面积。

## 2. 屈服点 $\sigma_s$

在拉伸过程中，载荷不增加而应变仍在增大的现象称为屈服。拉伸曲线上与此相对应的  $B$  点应力  $\sigma_s$  称为材料的屈服点。对于在拉伸过程中屈服现象不明显的材料，规定以残余变形量为 0.2% 时的应力值作为它的条件屈服强度，记为  $\sigma_{0.2}$ 。

机械零部件或构件在使用过程中一般不允许发生塑性变形，所以材料的屈服点是评价材料承载能力的重要力学性能指标。

## 3. 抗拉强度（强度极限） $\sigma_b$

拉伸曲线上  $D$  点的应力  $\sigma_b$  称为材料的抗拉强度，它表明了试样被拉断前所能承载的最大应力。抗拉强度是零部件设计和评定材料时的重要强度指标。尤其是对于脆性材料，由于拉伸时没有明显的屈服现象，这时一般用抗拉强度指标作为设计依据。

强度  $\sigma_b$  与密度  $\rho$  之比称为比强度，它也是零件选材的重要指标。

## 4. 伸长率 $\delta$

伸长率用  $\delta$  表示：

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%$$

式中  $L_0$ ——拉伸试样标距原长；

$L_1$ ——试样拉断后标距长度。

伸长率的数值和试样标距长度有关，标准圆形试样有长试样（ $L_0 = 10d_0$ ， $d_0$  为试样直径）和短试样（ $L_0 = 5d_0$ ）两种。

## 5. 断面收缩率 $\Psi$

断面收缩率  $\Psi$ ：

$$\Psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\%$$

式中  $S_0$ ——试样原始横截面积；

$S_1$ ——断口细颈处的横截面积。

断面收缩率的数值不受试样尺寸的影响，用断面收缩率表示塑性更能接近材料的真实应变。

$\delta$  或  $\Psi$  值愈大，说明材料的塑性愈好。良好的塑性是材料进行压力加工的必要条件。

## 第二节 材料的硬度

材料抵抗其他硬物压入其表面的能力称为硬度，它是衡量材料软硬程度的力学性能指标。一般情况下，材料的硬度越高，其耐磨性就越好。

硬度是材料最常见的性能指标之一。硬度试验方法比较简单快捷，而且材料的硬度与它的力学性能如强度、耐磨性以及工艺性能，如切削加工性、可焊性等之间存在着一定的对应关系，所以在一些零件图样上，硬度是检验产品质量的重要指标之一。

工程上常用的硬度有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度。不同测量方法得到的硬度值不能直接比较，必须通过附表 1 进行硬度换算。

### 一、布氏硬度

布氏硬度试验是用载荷为  $F$  的力把直径为  $D$  的淬火钢球或硬质合金球压入试样的表面（如图 1-3），保持一定时间后卸掉载荷，此时试样表面出现直径为  $d$  的压痕。用载荷  $F$  除以压痕表面积所得的商，作为被测材料的布氏硬度值：

$$HB = \frac{F}{A} = 0.102 \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

式中  $F$ ——载荷 (N)；

$D$ ——钢球直径 (mm)；

$d$ ——压痕直径 (mm)。

布氏硬度的单位为 MPa，但习惯上不标单位。实际应用中一般不直接计算 HB，可以根据测量的  $d$  值在相关的表中直接查出布氏硬度值。

用淬火钢球作为压头测出的硬度值以 HBS 表示，适用于测量硬度小于 450HBS 的材料，如结构钢、铸铁及有色金属等；用硬质合金球作为压头测出的硬度值以 HBW 表示，适用于测量硬度不超过 650HBS 的材料。

布氏硬度试验的优点是测量结果准确，缺点

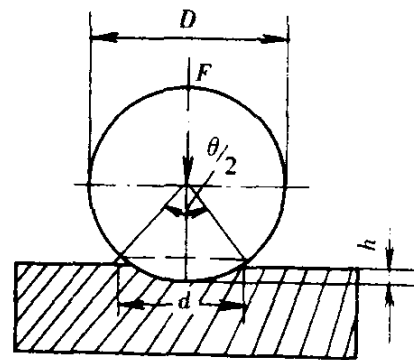


图 1-3 布氏硬度试验示意图

是压痕大，不适合成品检验。

## 二、洛氏硬度

洛氏硬度测试原理如图 1-4 所示。用一个顶角为  $120^\circ$  的金刚石圆锥体或直径为  $1.588\text{mm}$  的淬火钢球作为压头，先施加一个初载荷，然后在规定的主载荷作用下将压头压入被测材料的表面。卸除主载荷后，根据压痕的深度  $h = h_1 - h_0$ ，确定被测材料的洛氏硬度，该值可以直接从硬度计上的显示器上读出。

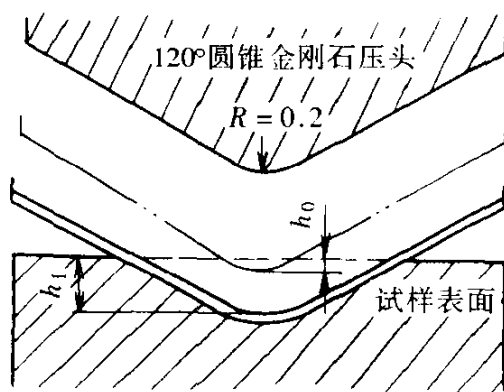


图 1-4 洛氏硬度试验示意图

用金刚石锥体压头和总载荷为  $588.4\text{N}$  下测得的硬度值以 HRA 表示，适用于测量高硬度的材料，如硬质合金；用淬火钢球压头和总载荷为  $980.7\text{N}$  下测得的硬度值以 HRB 表示，适用于测量较软的材料，如退火、正火钢或有色金属等；

用金刚石锥体压头和总载荷为  $1471\text{N}$  下测得的硬度值以 HRC 表示，适用于测量淬火钢等硬材料。三种洛氏硬度中，以 HRC 应用得最多。

洛氏硬度测量迅速简便、压痕小，可在成品零件上检测，也可测定较薄工件或表面有较薄硬化层的硬度。但由于压痕比较小，易受材料微区不均匀的影响，因而数据的重复性比较差。

## 三、维氏硬度

维氏硬度测定原理基本上与布氏硬度相同，也是根据压痕凹陷单位面积上的力为硬度值，但使用的是锥面夹角为  $136^\circ$  的金刚石正四棱锥体，压痕是四方锥形（图 1-5）。测量压痕两对角线的平均长度  $d$ ，计算压痕的面积  $A_v$ ，用 HV 表示维氏硬度：

$$HV = \frac{F}{A_v} = 1.8544 \frac{F}{d^2}$$

式中  $F$ ——载荷 (N)；

$A_v$ ——压痕面积 ( $\text{mm}^2$ )。

维氏硬度的单位为 MPa，一般不标。

维氏硬度所用载荷小，压痕深度浅，硬度测量精确度高于布氏硬度和洛氏硬度，适用于测量较薄的材料或表面硬化层、金属镀层的硬度。由于维氏硬度的压头是金刚石角锥，载荷可调范围大，所以维氏硬度可用于测量从软到硬的各种工程材料，测定范围  $0 \sim 1000\text{HV}$ 。

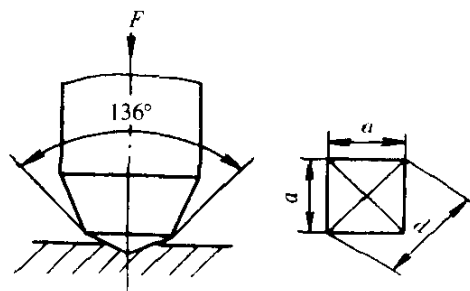


图 1-5 维氏硬度试验示意图

为了测量一些特殊性能和特殊形状材料的硬

度，也可以选择其他的硬度试验方法。如显微硬度法可用于测量一些薄的镀层、渗层或显微组织中的不同相的硬度；肖氏硬度适合在现场对大型试件（如机床床身、大型齿轮等）进行硬度测量。莫氏硬度用于测量陶瓷和矿物的硬度。

由于各种硬度的试验条件不同，所以它们之间没有直接的换算关系。标注某种材料的硬度值时必须说明它的硬度测试方法。

在工程图样上正确标注材料硬度的方法是硬度值加硬度测试方法代号。如“洛氏硬度 60”的书写格式为“60HRC”。

### 第三节 材料的冲击韧性

材料的韧性是指材料在塑性变形和断裂的全过程中吸收能量的能力，它是材料塑性和强度的综合表现。材料的韧性与脆性是两个意义上完全相反的概念，根据材料的断裂形式可分为韧性断裂和脆性断裂。

冲击韧性是指材料在冲击载荷的作用下，材料抵抗变形和断裂的能力。材料的冲击韧性值常用一次摆锤冲击试验法测定，其试验原理如图 1-6 所示。

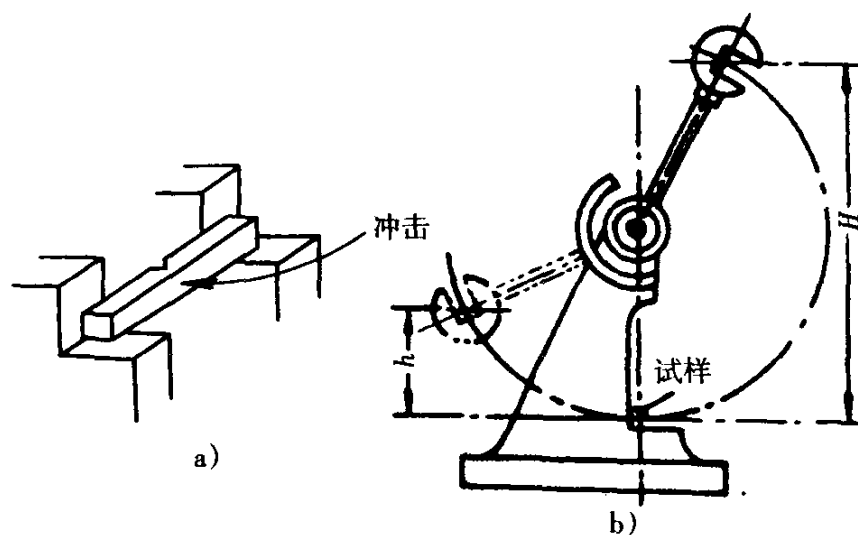


图 1-6 冲击试验示意图

a) 试件 b) 试验示意图

冲击试验时，把有 U 型或 V 型缺口（脆性材料不开缺口）的标准冲击试样背向摆锤方向放在冲击试验机上，将质量为  $m$  的摆锤升到规定的高度  $H_1$ ，然后自由落下将试样击断。在惯性的作用下，击断试样后的摆锤会继续上升到某一高度  $H_2$ 。根据功能原理，摆锤击断试样所消耗的功  $A_k = mg(H_1 - H_2)$ 。 $A_k$  可以从冲击试验机上直接读出，称为冲击吸收功。 $A_k$  除以试样缺口处横截面积  $S$  的值则为该材料的冲击韧性值，用符号  $\alpha_k$  表示，单位为  $J/cm^2$ ：



$$\alpha_k = \frac{A_k}{S}$$

根据试样的缺口型式，U型缺口和V型缺口试样的冲击韧度值分别以 $\alpha_{ku}$ 和 $\alpha_{kv}$ 表示。不同型式试样的冲击韧度值不能直接进行比较或换算。

材料的冲击韧度的大小除了与材料本身特性，如化学成分、显微组织和冶金质量等有关外，还受试样的尺寸、缺口形状、加工粗糙度和试验环境等影响。

由于材料的冲击韧度值 $\alpha_k$ 是在一次冲断的条件下获得的，对判断材料抵抗大能量冲击能力有一定的意义。实际上在冲击负荷下工作的机械零件，很少受到大能量的一次冲击而破坏，大多都是受到小能量的多次冲击后才失效破坏。一般来说，材料抵抗大能量一次冲击的能力取决于材料的塑性；而抵抗小能量多次冲击的能力则取决于材料的强度。所以在设计机械零件时，不能片面地追求高的 $\alpha_k$ 值， $\alpha_k$ 值过高必然要降低强度，从而导致零件在使用过程中因强度不足而早期失效。

材料的韧性均有随温度下降而降低的趋势，但不同的材料韧性下降的程度不一样。对于一些中低强度的钢在某一温度以下具有明显的冷脆性。材料从韧性状态转变为脆性状态的临界转变温度称为材料的冷脆转化温度 $T_k$ （图1-7）。用于低温工作环境中的材料要进行低温冲击试验。

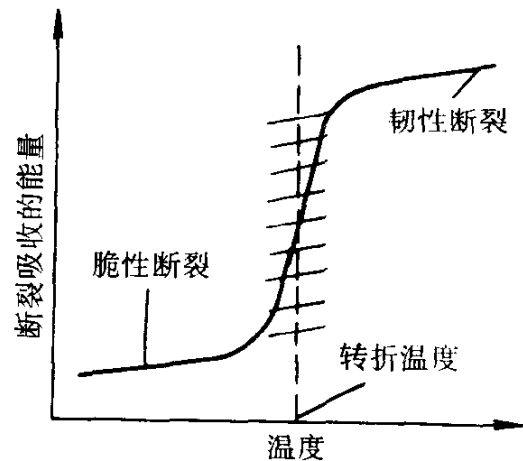


图 1-7 钢的脆性转化温度

对于脆性材料，如陶瓷，一般不采用冲击韧度作为韧性的量度，因为当材料的韧性很低时，采用一次摆锤冲击试验法获得的冲击韧度值的精度不能满足测量的要求。

#### 第四节 材料的疲劳强度

力的大小和方向都随时间呈周期性的循环变化的应力称为交变应力。材料在交变应力作用下发生的断裂现象称为疲劳断裂。疲劳断裂可以在低于材料的屈服强度的应力下发生，断裂前也无明显的塑性变形，而且经常是在没有任何先兆的情况下突然断裂，因此疲劳断裂的后果是十分严重的。

材料的疲劳强度可以通过疲劳试验机进行测定。图 1-8 是材料的疲劳特性试验示意图。将光滑的标准试样的一端固定并使试样旋转，在另一端施加载荷。在试样旋转过程中，试样工作部分的应力将承受周期性的变化，从拉应力到压应力，循环往复，直至试样断裂。

材料所受的交变应力与断裂循环次数之间的关系可以用图1-9的疲劳曲线