



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

JIXIE

GONGCHENG

DAOLUN

ENTER

居 毅 姚建华 全小平 主编

机械工程导论

浙江科学技术出版社



普通高等教育“十一五”

重点课程

机械工程导论

居毅 姚建华 全小平 主编

书号 (CIP) 日 录 编 者 序 图

前言 全小平 居毅 姚建华 编 著 居毅 姚建华 全小平 主编

第 1 章 绪论 1 1.1 机械工程的定义 1

1.2 机械工程的分类 1

第 2 章 机械系统的组成 2 2.1 机械系统的组成 2

2.2 机械系统的组成 2

第 3 章 机械系统的性能 3 3.1 机械系统的性能 3

浙江科学技术出版社

内 容 提 要

本书是在浙江部分高校多年来的教学改革实践基础上编写的,同时注意总结国内各院校教学改革的实践经验,并吸取国内外同类教材的优点。

本书在体系和内容上有较大的更新,编者力求精选内容,增加新工艺、新技术的比重,同时体现机械工业生产的系统性、科学性、先进性和实用性,并力求通俗易懂,较深的专业理论知识不列入编写的内容。为配合多媒体教学,制作了与教材相配套的多媒体教学软件。

本书内容包括:工程材料、热加工基础和机械加工基础共3编15章,分别有:金属材料结构与性能、铁碳合金、钢的热处理、合金钢、有色金属、非金属材料、材料的选用、材料新进展、铸造成型、锻压成型、焊接成型、切削加工、机械制造自动化概论、特种加工和快速原型制造技术。

本书供高等院校工程类专业教学使用,尤其适合各非工程类专业使用。亦可供大专、高职、技校学生以及工程技术人员使用,以了解机械工程领域基本知识。

图书在版编目(CIP)数据

机械工程导论 / 居毅,姚建华,全小平主编. —杭州:
浙江科学技术出版社, 2003. 9

ISBN 7-5341-2195-7

I. 机... II. ①居...②姚...③全... III. 机械工程
—高等学校—教材 IV. TH

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第076795号

书 名	机械工程导论
主 编	居毅 姚建华 全小平
出版发行	浙江科学技术出版社
印 刷	杭州长命印刷有限公司
联系电话	(0571) 85152486
开 本	787×1092 1/16
印 张	14.25
字 数	365 000
版 次	2003年9月第1版
印 次	2007年2月第2次印刷
书 号	ISBN 7-5341-2195-7/TH·43
定 价	20.00元
责任编辑	刘丽丽
封面设计	金 晖

前 言

科学技术发展突飞猛进,各学科呈现交叉和综合的趋势,为了应对科学技术的飞速发展,高等院校必须不断地深化教育改革,培养一大批知识、能力、素质协调发展的复合型、创新型人才。近年来各高校积极开展“非工程类学生工程知识培养”的探索和实践,取得了可喜的成绩。本教材是浙江工程学院、浙江工业大学、杭州电子工业学院等院校教师多年教学改革所取得的成果。在编写过程中,同时注意总结国内其他院校教学改革和课程建设的实践经验,并吸取了国内外同类教材的优点。本教材的编写体现以下特色:

1. 以经济管理等非工程类学生的认知结构为背景,在保持机械工程技术系统性的前提下,优化教材内容。在内容的选择、概念的引出、理论的推导、范例的引证、结论的归纳和习题的挑选等方面适应经济管理等非工程类学生工程素质培养的需要。

2. 在通俗易懂的前提下充分反映材料科学、机械科学的最新的成果,使学生接触学科前沿的最新知识,激发学生求知欲望。融知识性、趣味性、系统性和先进性于一体,把有关新技术、新工艺、新材料等融入到教材中。

3. 本教材编写时,充分考虑该教材内容广,涉及实际生产多等特点,因此编写了以教材相配套的多媒体课件,做到静态教材与动态教材互动作用,缩短了学生的理解过程。

4. 教材内容力求加强学生工程思维的培养,充分注重学生创新能力和创新精神的培养。

本书内容包括:工程材料、热加工基础和机械加工基础共3编15章,分别有:金属材料结构与性能、铁碳合金、钢的热处理、合金钢、有色金属、非金属材料、材料的选用、材料新进展、铸造成型、锻压成型、焊接成型、切削加工、机械制造自动化概论、特种加工技术和快速原型制造技术。

本书供高等院校各工程专业教学使用,尤其适合各非工程类专业。亦可供大专、高职技校学生以及工程技术人员使用,以了解机械工程领域的基本知识。

本书由居毅教授、姚建华教授、全小平副教授主编。

参加本书编写的人员及分工如下:浙江工程学院居毅(第一章、第二章、第八章第1~3节)、浙江工业大学马晓春(第三章、第五章)、浙江工业大学陈莉(第四章、第十一章)、浙江工程学院郭绍义(第六章、第八章第4节)、杭州电子工业学院潘玉良(第七章)、浙江工业大学姚建华(第九章、第十四章、第十五章)、杭州电子工业学院全小平(第十二章、第十三章)和中国计量学院王晓林(第十章)。

由于编者水平有限,书中难免有不妥和错误之处,深望广大读者批评指正。

编 者
2003年6月

目 录

第一编 工程材料

第一章 金属材料结构与性能	1
第一节 概 述	1
第二节 金属材料的结构	1
第三节 金属材料的机械性能	5
复习思考题	8
第二章 铁碳合金	10
第一节 概 述	10
第二节 铁碳合金基本组织和性能	11
第三节 铁碳合金状态图的分析	11
第四节 碳 钢	15
第五节 铸 铁	22
复习思考题	28
第三章 钢的热处理	30
第一节 概 述	30
第二节 钢的热处理基本原理	30
第三节 钢的普通热处理	35
第四节 钢的表面热处理	38
第五节 钢的热处理新技术	40
复习思考题	42
第四章 合金钢	44
第一节 概 述	44
第二节 合金元素在钢中的作用	45
第三节 合金结构钢	46
第四节 合金工具钢	49
第五节 特殊性能钢	51
复习思考题	52
第五章 有色金属	53
第一节 概 述	53
第二节 铜及铜合金	53
第三节 铝及铝合金	55

第四节 滑动轴承合金	58
复习思考题	59
第六章 非金属材料	60
第一节 高分子材料	60
第二节 陶瓷材料	67
第三节 复合材料	69
复习思考题	71
第七章 材料的选用	72
第一节 概 述	72
第二节 工程材料选用原则	72
第三节 典型零件选材实例	75
复习思考题	78
第八章 材料新进展	79
第一节 概 述	79
第二节 新型金属材料	81
第三节 纳米材料	89
第四节 复合材料的新发展	92
复习思考题	96

第二编 热加工基础

第九章 铸造成型	97
第一节 概 述	97
第二节 砂型铸造	99
第三节 铸造工艺	108
第四节 特种铸造	113
第五节 铸件质量分析	116
复习思考题	118
第十章 锻压成型	119
第一节 锻压基础知识	119
第二节 锻 造	123
第三节 板料冲压	127
第四节 其他压力加工方法	129
复习思考题	133
第十一章 焊接成型	134
第一节 概 述	134
第二节 熔焊基础	135
第三节 常见焊接方法	141

第四节 常用材料的焊接	145
第五节 焊接缺陷与检验	146
复习思考题	149

第三编 机械加工基础

第十二章 切削加工	151
第一节 概 述	151
第二节 加工质量的概念	151
第三节 切削加工基本知识	152
第四节 车削加工	161
第五节 铣、刨、拉、钻、镗、磨削加工	166
第六节 常见表面加工方法	178
第七节 典型零件的工艺流程	181
复习思考题	183
第十三章 机械制造自动化概论	186
第一节 概 述	186
第二节 自动生产线	187
第三节 数控加工	189
第四节 工业机器人	192
第五节 柔性制造系统	195
第六节 集成制造系统	197
复习思考题	201
第十四章 特种加工	202
第一节 概 述	202
第二节 电火花加工	203
第三节 电解加工	206
第四节 激光加工	207
第五节 超声波加工	209
第六节 电子束加工	211
第七节 离子束加工	212
复习思考题	212
第十五章 快速原型制造技术	213
第一节 概 述	213
第二节 快速原型制造技术原理与特点	213
第三节 RPM 技术应用	215
复习思考题	217
主要参考文献	218

第一编 工程材料

第一章 金属材料结构与性能

第一节 概 述

工程金属材料包括纯金属与合金。所谓合金是由两种或两种以上的金属元素（或金属元素与非金属元素）组成的具有金属特性的材料。

金属材料具有较高的强度、良好的塑性、高的导电性、导热性以及金属光泽等特性。

金属材料除具有上述共同特性外，本身的性能亦具有多样性和多变性。不同化学成分的材料可以具有不同的性能，即使同一种金属材料其性能也能够改变，可以通过不同的加工和处理使金属材料得到所需要的性能。

所谓金属材料性能的提高，可以是提高硬度、强度的强化，亦可以是为提高加工工艺性能而提高塑性，使材料软化。但对大多数机械零件而言，在使用条件下一般均要求强化。材料强化后可以使零件和部件结构轻巧、可靠性和耐磨性提高，使用寿命延长。

金属材料的性能不仅与其化学成分有关，还与其内部组织和状态有关。为了能正确选择零件材料，提出适当的强化指标，制定合理的技术要求，就必须掌握材料的成分、处理、组织与其性能之间关系的知识。其中“成分”是改变性能的基础，“处理”是改变性能的手段，而“组织”是性能变化的根据。

第二节 金属材料的结构

一、金属的结晶

所有的纯金属及合金均属于晶体。原子在空间有规则地排列是晶体的特征。

金属从液态到固态的凝固是一个结晶过程，这一过程对金属凝固后的组织和性能有很大影响。纯金属与合金的结晶过程有很多共同的特点，如图 1-1 所示为纯金属的冷却曲线，它通过实验记录了金属结晶过程中温度随时间变化的规律。

纯金属从液态转变为固态时，有其一定的理论结晶温度 T_0 ，亦即纯金属的熔点。但实际上液态金属只有过冷到温度低于 T_0 时才可能结晶，因此，实际结晶温度 T_1 总是低于 T_0 。图中 ΔT 为理论结晶温度 T_0 与实际温度 T_1 之差，称为过冷度。过冷度 ΔT 的大小主要与冷却速度有关，

冷却速度越大，则过冷度越大。当冷却速度极其缓慢时，过冷度很小， T_1 接近于 T_0 。在 T_1 温度以上为液体，随着周围环境的吸热使金属的温度不断下降，到 T_1 温度后，液体金属开始凝固。由于凝固过程中放出的潜热使结晶温度保持恒定，直至完全凝固后温度才继续下降。

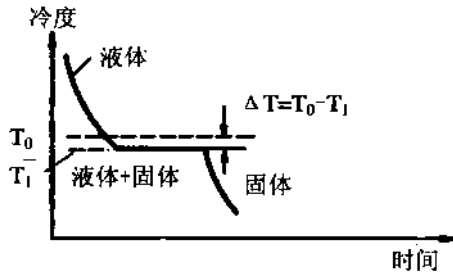


图 1-1 纯金属的冷却曲线

结晶过程是一个晶体形核和成长过程。根据实验观察，液体金属开始结晶时，在液体中某些区域形成一些有规则排列的微小晶核，如图 1-2 中的(a)所示。随着凝固过程的继续，已形成的晶核各按不同的结晶方向成长，同时未凝固的液体中又形成一些新的晶核，如图 1-2 中的(b)所示，直至各晶核长大后相互接触，液体完全消失为止，如图 1-2 中的(c)所示。由于各个晶粒成长时的方向不一，在两颗晶粒处形成了晶界，如图 1-3 所示，晶界上的原子排列不规则，这就使晶界与晶粒内部的性能不一致。一般金属材料都是由许多晶粒组成的多晶体。

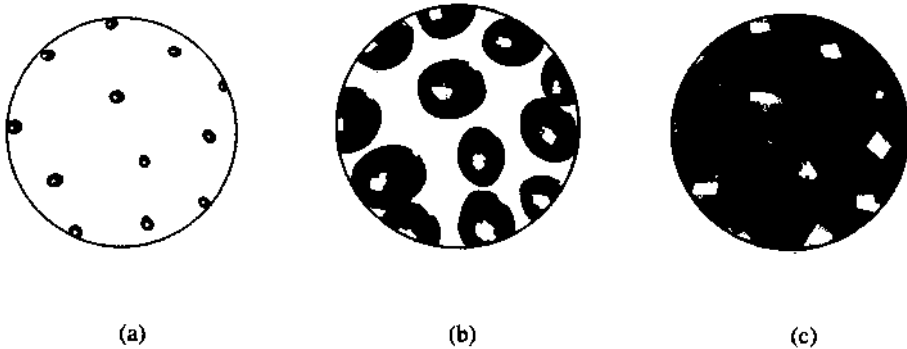


图 1-2 结晶过程

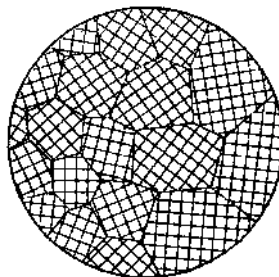


图 1-3 晶界示意图

金属凝固后的晶粒大小与凝固过程中形核的多少和晶核长大速度有关，形成的晶核越多、晶核长大速度越慢，则凝固后的晶粒越细。晶粒细化除使金属材料的强度、硬度提高外，还能使塑性和韧性有较大的改善，因此人们总是力图得到具有细晶粒组织的金属材料。通过细化晶粒以强化金属的方法，称晶粒细化强化。

二、金属的晶体结构

所谓晶体结构，是指晶体中原子排列的方式，如图 1-4 中的(a)所示，是原子规则排列的一种方式。为了描述原子在空间规则排列的方式，可以假想的直线将原子的中心连接起来，这样就构成了空间格子，简称晶格，如图 1-4 中的(b)所示。晶格中各假想直线的交点称结点。

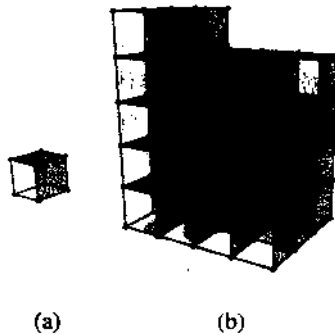


图 1-4 原子排列示意图

由于原子排列具有周期性特征，因此只需取出一个能完全代表晶格的最小单元，就可分析晶体中原子的排列方式，此最小的几何单元称晶胞，如图 1-4 中的(a)所示。晶胞的各个边长称晶格常数，其度量单位为埃 (\AA)。

工业上常用的金属除少数具有复杂的晶体结构外，绝大多数具有比较简单的晶体结构。最常见的有 3 种：体心立方晶格（如图 1-5 所示）、面心立方晶格（如图 1-6 所示）和密排六方晶格（如图 1-7 所示）。例如，纯铁常温下属体心立方晶格，温度升高到 $910\sim 1400^\circ\text{C}$ 范围内变为面心立方晶格。

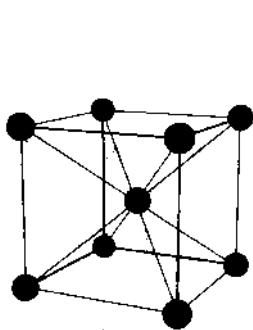


图 1-5 体心立方晶格

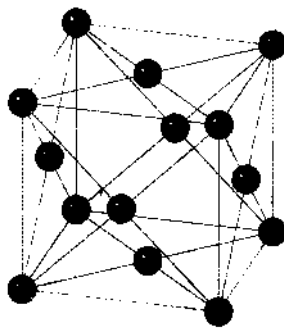


图 1-6 面心立方晶格

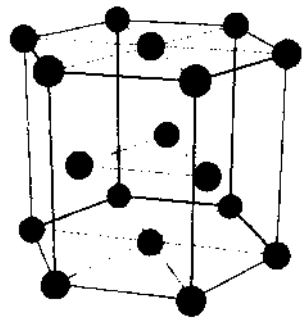


图 1-7 密排六方晶格

以上讨论晶体结构时认为所有原子均严格按一定的几何规律在空间作周期性的排列，每个结点均为原子所填满，这是一种理想的晶体结构，具有这种结点的晶体称为理想晶体。而实际金属

晶体中，虽原子排列基本上是有规则的，但在局部区域总是存在着各种不同的缺陷。晶体缺陷对金属材料的性能有很大影响，且金属中发生的许多物理化学现象亦与晶体缺陷有密切关系。

缺陷的种类很多，如空位和间隙原子（如图 1-8 所示），位错和晶界等。空位和间隙原子是点状分布的缺陷，由于某些原子具有较大的能量，在作热振动时脱离了原有的结点位置而形成空位和间隙原子。

三、合金的晶体结构

纯金属一般都具有良好的导电性和导热性，但强度、硬度低，价格贵。而合金可以通过不同元素的搭配及元素含量的变化，使合金的性能在较宽的范围内变动，从而满足工业上的广泛需要。合金的种类虽然很多，但其晶体结构可归纳为 3 类，即固溶体、金属化合物和机械混合物。

1. 固溶体。合金在固态下溶质原子溶入溶剂，仍保持溶剂晶格的叫固溶体。

按溶质原子在溶剂晶格中所占据的位置，固溶体可分为置换固溶体和间隙固溶体两种。置换固溶体中溶质原子置换了溶剂晶格的部分原子，间隙固溶体的溶质原子则嵌在溶剂原子间的某些空隙中，如图 1-9 所示。

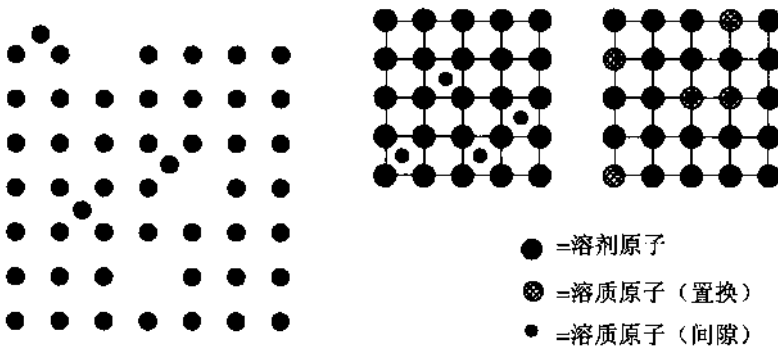


图 1-8 晶体缺陷

图 1-9 间隙固溶体与置换固溶体

由于置换固溶体中溶剂原子与溶质原子的尺寸不同，以及间隙固溶体中溶质原子一般均比溶剂晶格的空隙尺寸大，因而引起固溶体的晶格畸变，如图 1-10 所示。晶格畸变将使合金的强度、硬度和电阻值升高，而塑性、韧性下降，这种由于溶质原子的溶入，使基体金属（溶剂）的强度、硬度升高的现象，叫做固溶强化。

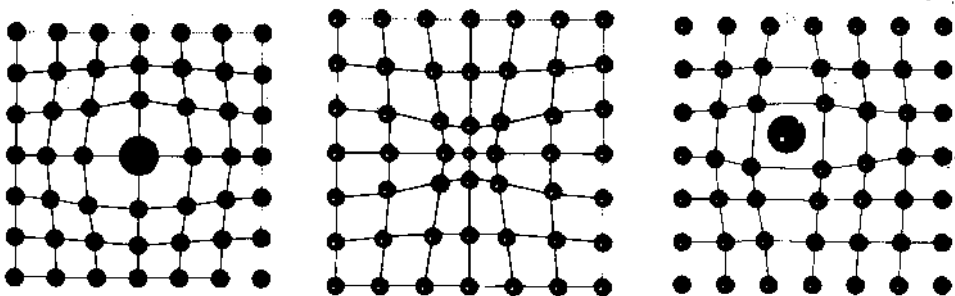


图 1-10 固溶体的晶格畸变

2. 金属化合物。组成合金的元素相互化合形成一种新的晶格组成金属化合物。这种化合物可用分子式表示。有些符合正常价规律，如 Mg_2Si ，有些不符合正常价规律如 $CuZn$ 、 Cu_2Al 、 Fe_3C 等。

金属化合物的特点是熔点高、硬度高而脆性大。

3. 机械混合物。由两种或两种以上的组元或固溶体组成，或者由固溶体与金属化合物组成的合金，称机械混合物，其中组元、固溶体或金属化合物均保持各自的晶格类型。在显微镜下可以分辨出不同的组成部分。机械混合物的性能决定于各自组成部分的性能和相对数量，还决定于它们的大小、形状和分布。

第三节 金属材料的机械性能

为了合理地使用和加工金属材料，必须了解其使用性能与工艺性能。使用性能中包括材料的机械性能、物理性能和化学性能。若零件的材料不能满足使用中要求的某项性能时，就不能正常地工作，称为“失效”。

在通常的机械零件设计中选择材料时，往往以其机械性能为主要依据。材料的机械性能又称力学性能，即材料在外力作用下所显示的性能，常用的如强度、硬度、塑性和韧性等。

一、静载荷下的机械性能

静载荷下材料的机械性能主要包括刚度、强度、弹性、塑性和硬度。除硬度可用硬度计等仪器测试外，其余皆可通过静拉伸试验测得。

材料拉伸试验是用如图 1-11 所示标准试棒在拉伸试验机上拉伸，试样受力从零开始，随着载荷逐步增大，试棒有规律地伸长，直至被拉断。利用拉力和试棒伸长的数值变化可绘制出力-伸长图，如图 1-12 所示。当外力低于 P_e 时，变形与拉力成正比，属弹性变形范围。达到 P_s 时，变形大大增加，而外力并无明显变化，称屈服。以后产生的变形为塑性变形，而且变形量与外力不成正比关系，达到 P_b ，即最大负载时，试样局部截面上直径缩小，称缩颈。由于缩颈部位明显地伸长，总拉力开始下降，直至缩颈区断裂。

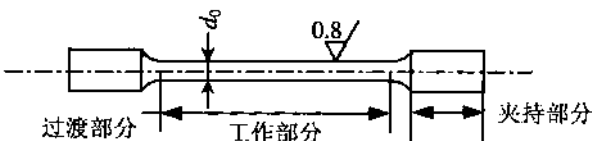


图 1-11 拉伸试棒

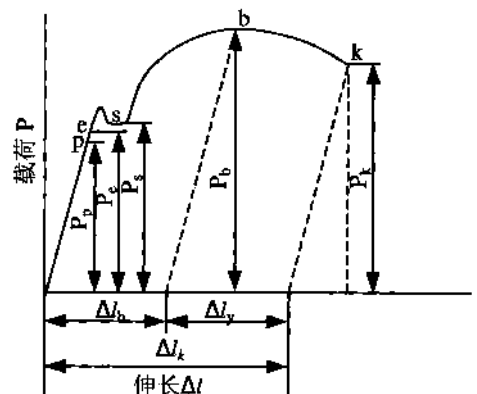


图 1-12 低碳钢拉伸曲线

1. 应力-应变曲线。试棒在拉伸过程中截面随载荷而变,为排除试棒的尺寸因素,取单位截面上受力(即应力 σ)的大小与单位长度上的伸长量(即应变 ε)的相应变化绘制应力-应变曲线,如图1-13所示。

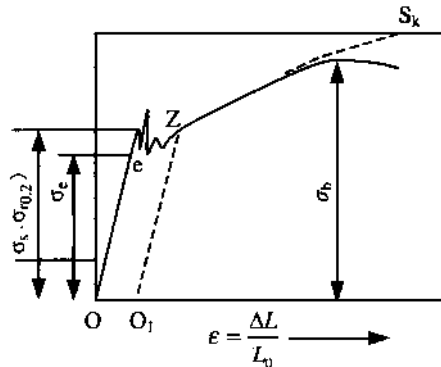


图 1-13 应力-应变曲线

应力 σ 可从下式求得:

$$\sigma = \frac{P}{F_0} (\text{MPa})$$

式中 F_0 为试棒拉伸的原始截面积 (mm^2); P 为拉伸的载荷 (N)。

应变 ε 可从下式求得:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{L_0} \times 100\%$$

式中 L_0 为试棒原始标距长度 (mm); Δl 为试样拉伸后的总伸长量 (mm)。

2. 弹性与刚度。材料在弹性范围内应力与应变成正比关系,服从虎克定律。其比值 E 称弹性模量。

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

弹性模量 E 也可理解为应力与应变的比值,它是衡量材料抵抗弹性变形能力的一项重要指标。

零件抵抗弹性变形的能力也称零件的刚度。零件的刚度决定于零件的形状、尺寸和材料的弹性模量 E 。

弹性是材料产生弹性变形的能力。对应于弹性极限 σ_e 的应变值 ε_e 是衡量材料弹性的指标之一。

3. 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。材料抵抗少量塑性变形的能力称屈服极限或屈服强度,即图1-13中的 σ_s 。

$$\sigma_s = \frac{P_s}{F_0} (\text{MPa})$$

有些金属材料的屈服现象不明显(如高强度钢等),所以工程上规定以材料拉伸试棒塑性应变变量达到0.2%时的应力作为屈服强度值,以 $\sigma_{0.2}$ 表示。

当试棒拉伸超过屈服点后,必须增加外力才能使试棒继续变形。若在中途任一点 z 卸除外力时, σ - ε 曲线将沿平行与 eO 线的 zO_1 降低到 O_1 点。当再次增加外力时, σ - ε 又沿 O_1z 线上升,在应力到达 σ_z 以前一直为弹性变形,直到应力超过 σ_z 后,才再次出现塑性变形。材料经过 z 点

以前这段塑性变形后，屈服强度从原来的 σ_s 提高到 σ_z ，这种现象称形变强化，它是工业生产中常用的材料强化方法。

试棒被拉断前所能承受的最大应力 σ_b 代表材料的强度极限，称抗拉强度，也是材料对大量塑性变形的抗力。

σ_s 和 σ_b 都是材料的强度指标，对于塑性材料的零件设计，应以屈服强度 σ_s 作为强度依据，在零件正常使用中不允许产生明显的塑性变形，而抗拉强度 σ_b 只能作为脆性材料的零件设计依据。

4. 塑性。塑性是材料在外力作用下断裂前产生塑性变形的能力。塑性指标以试棒拉伸过程中的延伸率 δ 及截面收缩率 ψ 表示。延伸率是指试棒拉断后标距长度范围的伸长量 Δl 与标距间原始长度 L_0 比值的百分率。

$$\delta_s = \frac{\Delta l}{L_0} \times 100\% = \frac{L_k - L_0}{L_0} \times 100\%$$

δ_s 指试棒标距长度 L_0 为试棒直径 d_0 的 5 倍。

截面收缩率是试棒拉断处横截面的减缩量 ΔF 与原始横截面积 F_0 比值的百分率。

$$\psi = \frac{\Delta F}{F_0} \times 100\% = \frac{F_0 - F_k}{F_0} \times 100\%$$

5. 硬度。硬度是材料被更硬的物体压入时表现出的抵抗能力。压痕深度或压痕单位面积上所承受的载荷可作为衡量硬度的指标。广泛应用的有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度 3 种。

(1) 布氏硬度。用规定的载荷 P 把直径为 D 的淬硬钢球压入试样表面，保持一定时间再卸除载荷后，以压痕单位球面积上所承受的压力表示材料的硬度，用符号 HBS(W) 表示，习惯用单位为 kgf/mm^2 ，但不需要标出。

$$\text{HBS(W)} = \frac{P}{F}$$

式中 F 为压痕球面积。

应根据被测金属的种类、性质和厚度按标准选择钢球与载荷的规格。通过用读数放大镜测量压痕直径，从硬度换算表上可查得硬度值。

(2) 洛氏硬度。洛氏硬度用压痕深度表示。常用的两类压头是 120° 锥角的金刚石和直径为 1.588mm (1/16 英寸) 的淬硬钢球。广泛应用的洛氏硬度测试法有 HRA、HRB 和 HRC 这 3 种。

洛氏硬度试验的原理可用如图 1-14 所示来说明。先加预载荷 P_1 ，使压头与试样表面紧密接触，并压到 h_0 的位置，作为衡量压入深度的起点。后加主载荷 P_2 ，使压头继续压入到深度 h_1 ，然后卸除 P_2 而保留 P_1 ， h_2 是试样弹性变形的恢复高度， h 则是压头在主载荷作用下压入金属表面的深度。因此， h 值的大小即可以衡量材料对局部表面塑性变形的抗力，即材料的硬度。 h 值越小，则材料越硬。

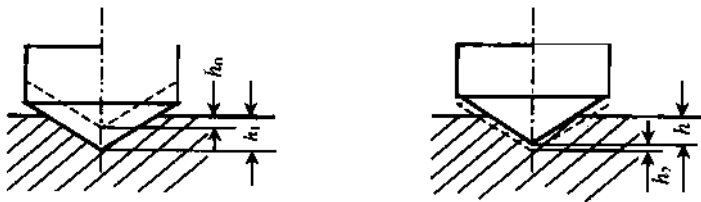


图 1-14 洛氏硬度测试原理

(3) 维氏硬度。维氏硬度测试的基本原理与布氏硬度相近,也是以压痕单位面积上的载荷计量硬度值。但维氏硬度采用锥面夹角 136° 的金刚石正四棱锥体作为压头。载荷 P 除以四方锥形表面积 F , 即为维氏硬度值。

$$HV = \frac{P}{F} (\text{kg} \cdot \text{f} / \text{mm}^2)$$

用读数放大镜测出压痕两条对角线的平均长度, 就可从硬度换算表中查得试样的维氏硬度值。维氏硬度的特点是载荷小, 压入深度浅, 适用于成品和薄层检验。

二、动载荷下的机械性能

动载荷作用下材料失效的现象更复杂。常见的动载荷机械性能有冲击韧性和抗疲劳性能等。

1. 冲击韧性。工程上常以材料破裂前所吸收的能量来表示其受冲击载荷的能力, 称冲击韧性。冲击韧性用摆锤式冲击试验法测定, 其试验方法和原理, 如图 1-15 所示。

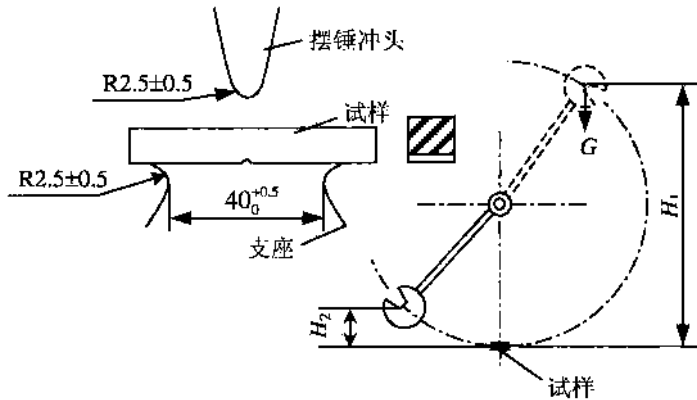


图 1-15 冲击试验

测试时试样放在摆锤冲击试验机的支座上, 将重量为 G 的摆锤举至 H_1 的高度, 然后释放落下, 冲断试样, 并摆过支座回升到 H_2 的高度, 其位能的损失即为冲断试样所作的功, 称冲击功 A_k 。

$$A_k = GH_1 - GH_2 \quad (\text{kJ})$$

A_k 值除以断口截面积 F , 即为冲击值 a_k

$$a_k = \frac{A_k}{F} = \frac{GH_1 - GH_2}{F} (\text{kJ}/\text{m}^2 \text{ 或 } \text{J}/\text{cm}^2)$$

式中冲击值 a_k 即为材料冲击韧性的指标。它作为材料抵抗冲击载荷的性能指标, 用来评定材料的韧性程度与金属零件在冲击载荷下使用时的可靠性。

复习思考题

1. 金属晶格的常见类型有哪 3 种? 试画出它们的晶胞示意图。

2. 试述纯金属的结晶过程。
3. 何谓过冷度，影响过冷度大小的因素是什么？
4. 固溶体有哪两种类型，碳溶入铁中形成的固溶体一般属于哪一类？
5. 绘出低碳钢力-伸长曲线，并指出拉伸时的几个阶段。
6. 何谓强度，强度的主要指标有哪几种？写出它们的符号和单位。
7. 何谓塑性，材料的塑性指标有哪几种？写出它们的符号。
8. 何谓硬度，硬度试验方法主要有哪几种？
9. 何谓冲击韧性？写出冲击韧性的符号及单位。
10. 简述提高金属强度的方法。

