

高职高专“十二五”规划教材

机械工程基础

JIXIE GONGCHENG JICHU

李纯彬 刘静香 主编

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



www.cmpedu.com

配 电 子 课 件

高职高专“十二五”规划教材

机械 工 程 基 础

主 编 李纯彬 刘静香
参 编 王 伟 程鹏飞 付 靖



机 械 工 业 出 版 社

本书是根据高职高专教育的特点,以生产实际所需的基本知识、基本理论、基本技能为基础,遵循“以应用为目的,以必需、够用为度”的原则而编写的。全书主要包括机械工程材料、工程力学、机械传动、公差与配合、液压传动、机械制造六部分内容,共12章。全书涉及内容广泛,但各章相互联系紧密,因而形成了一个有机的整体。

本书主要作为高职、高专及成人高校非机械类专业的机械工程基础教材,可供多数专业使用,也可供工厂技术管理人员参考。

本书配有电子课件,可登录机械工业出版社教材服务网 www.cmpedu.com 下载,或发送电子邮件至 cmpgaozhi@sina.com 索取。咨询电话:010-88379375。

图书在版编目(CIP)数据

机械工程基础/李纯彬,刘静香主编. —北京:
机械工业出版社,2013.4
高职高专“十二五”规划教材
ISBN 978-7-111-43239-5

I. ①机… II. ①李…②刘… III. ①机械工程-高等职业教育-教材 IV. ①TH

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第154518号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:王海峰 责任编辑:王海峰 安桂芳

版式设计:常天培 责任校对:陈秀丽

封面设计:鞠杨 责任印制:张楠

北京京丰印刷厂印刷

2013年9月第1版·第1次印刷

184mm×260mm·21印张·515千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-43239-5

定价:39.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是根据高等职业技术教育非机械类专业的“机械基础课程教学基本要求”而编写的。鉴于非机械类种类繁多，其对机械基础知识的内容要求也不尽相同，因此，本书取材范围较广，以便能够适应多数专业的需要。全书主要包括机械工程材料、工程力学、机械传动、公差与配合、液压传动、机械制造六部分内容，共12章。全书涉及内容广泛，但各章相互联系紧密，因而形成了一个有机的整体。

本书基于高等职业教育的特点，按照“以应用为目的，以必需、够用为度，以讲清概念、强化应用为教学特点”的原则，精选教学内容；在保证基本知识和基本理论的前提下，摒弃了比较繁琐的理论推导和复杂的计算；以简明为宗旨，结合工程应用实例，突出了实用性和综合性，注重对学生基本技能的训练和综合能力的培养。

本书采用最新颁布的国家标准和行业标准；充分重视了新材料、新工艺、新技术等方面的基本知识的引入，书中图文对照，插图多使用立体图、结构示意图，简明易懂；各章均附有习题，便于学生思考和练习，从而加深对课程内容的理解。

在本书编写过程中，参考了一些相关教材，学习、汲取了同行的教研成果，并从中引用了一些例题、习题和图表，在此表示衷心的感谢！

本书主要作为高职、高专及成人高校非机械类专业的机械工程基础教材，可供多数专业使用，也可供工厂技术管理人员参考。

本书由河南机电高等专科学校教师编写和审稿，李纯彬副教授、刘静香副教授担任主编并统稿；徐起贺教授任主审。

本书编写分工为：绪论、第一章、第十一章、第十二章由李纯彬编写，第二章、第三章、第四章由刘静香编写，第五章、第十章由王伟编写，第六章、第七章由程鹏飞编写，第八章、第九章由付靖编写。

限于编者的水平，书中难免有不当或错漏之处，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

前言		
绪论	1	
第一节 机械的概念与组成	1	
第二节 本课程的内容、性质和任务	3	
习题	4	
第一章 机械常用工程材料及钢的热处理	5	
第一节 金属材料的性能	5	
第二节 金属学基础	8	
第三节 钢的热处理	15	
第四节 常用金属材料	19	
第五节 常用非金属材料及复合材料	26	
习题	27	
第二章 静力学	29	
第一节 静力学基础	29	
第二节 力矩与平面力偶系	36	
第三节 平面力系的平衡	39	
第四节 考虑摩擦时物体的平衡问题	47	
习题	51	
第三章 杆件受力变形及其强度计算	55	
第一节 概述	55	
第二节 轴向拉伸与压缩	56	
第三节 剪切与挤压	65	
第四节 圆轴的扭转	70	
第五节 平面弯曲	76	
第六节 组合变形	84	
习题	84	
第四章 常用机构	88	
第一节 机构运动简图及自由度计算	88	
第二节 平面连杆机构	92	
第三节 凸轮机构	101	
第四节 间歇运动机构	108	
第五节 螺旋机构	112	
习题	114	
第五章 公差与配合	116	
第一节 概述	116	
第二节 极限与配合的基本术语及定义	117	
第三节 极限与配合国家标准简介	120	
第四节 几何公差	127	
第五节 表面粗糙度	137	
习题	140	
第六章 带传动和链传动	142	
第一节 带传动	142	
第二节 链传动	149	
习题	155	
第七章 齿轮传动	156	
第一节 齿轮传动的工作原理	156	
第二节 渐开线标准直齿圆柱齿轮传动	159	
第三节 斜齿圆柱齿轮传动	167	
第四节 直齿锥齿轮传动	170	
第五节 齿轮传动的失效形式、常用材料、结构及润滑	172	
第六节 蜗杆传动	176	
习题	181	
第八章 轮系	183	
第一节 轮系及其分类	183	
第二节 定轴轮系的传动比计算	184	
第三节 周转轮系的传动比计算	186	
第四节 轮系的功用	189	
习题	191	
第九章 轴系零部件和连接零件	193	
第一节 轴和轴毂连接	193	
第二节 滑动轴承	204	
第三节 滚动轴承	209	
第四节 联轴器和离合器	218	
第五节 螺纹连接	224	
习题	228	
第十章 液压传动	230	
第一节 液压传动概述	230	
第二节 液压泵、液压马达和液压缸	233	
第三节 液压控制阀	240	
第四节 液压辅件	250	

第五节 液压基本回路	252	第一节 切削运动与切削用量	286
第六节 液压传动系统实例	259	第二节 金属切削刀具	287
习题	261	第三节 金属切削过程的基本规律	291
第十一章 毛坯的生产与选择	264	第四节 金属切削机床的分类与型号	294
第一节 铸造成形	264	第五节 常用切削加工方法及设备	295
第二节 锻压成形	271	第六节 机械加工工艺过程和工艺文件	311
第三节 焊接成形	275	第七节 机床夹具	314
第四节 毛坯的选择	283	第八节 机械装配工艺基础	319
习题	284	第九节 现代制造技术简介	323
第十二章 金属切削加工与机械		习题	325
装配	286	参考文献	327

绪 论

第一节 机械的概念与组成

机械是人类在长期生产和生活实践中创造出来的重要劳动工具。它用以减轻人的劳动强度，改善劳动条件，提高劳动生产率和产品质量，帮助人类创造更多的社会财富，丰富人类的物质文化生活。随着科学技术的飞速发展，使用机械进行生产的水平已经成为衡量一个国家技术水平和现代化程度的重要标志之一。

机械是机器和机构的总称。机器的种类很多，在生产中，常见的机器有汽车、内燃机、电动机、各种机床、机器人等；在日常生活中，常用的机器有缝纫机、洗衣机、电风扇等。虽然它们的结构和用途各不相同，但却有共同的特征。

一、机器的特征

图 0-1 所示为单缸四冲程内燃机，它由气缸体 1、曲轴 2、连杆 3、活塞 4、进气阀 5、排气阀 6、推杆 7、凸轮 8 和齿轮 9、10 组成。当燃气推动活塞 4 作往复移动时，通过连杆 3 使曲轴 2 作连续转动，从而将燃气产生的热能转换为曲柄转动的机械能。齿轮、凸轮和推杆的作用是按一定的运动规律按时开闭阀门，以吸入燃气和排出废气。

图 0-2 所示为颚式破碎机，它由电动机 1、带轮 2 和 4、V 带 3、偏心轴 5、动颚 6、定颚 7、肘板 8 及机架 9 等组成。当电动机通过 V 带驱动带轮转动时，偏心轴则绕轴线转动，使动颚作平面运动，轧碎动颚与定颚之间的物料，从而做有用的机械功。

由以上两个实例可以看出，机器具有以下共同的特征：

- 1) 它们都是人为的多个实物组合体。
- 2) 组成机器的各部分之间具有确定的相对运动。
- 3) 它们被用来代替或减轻人的劳动强度，完成机械功或转换机械能。

凡同时具有以上三个特征的实物组合体称为机器。仅具有前两个特征的称为机构。

机器通常由若干个机构所组成。在内燃机中，就有曲柄滑块机构、齿轮机构、凸轮机构等。最简单的机器只含有一个机构，如电动机和鼓风机。从运动的观点看，机器与机构并无差异，其区别仅在于机构只能用来传递运动和动力或改变运动形式，而机器却能完成有用的

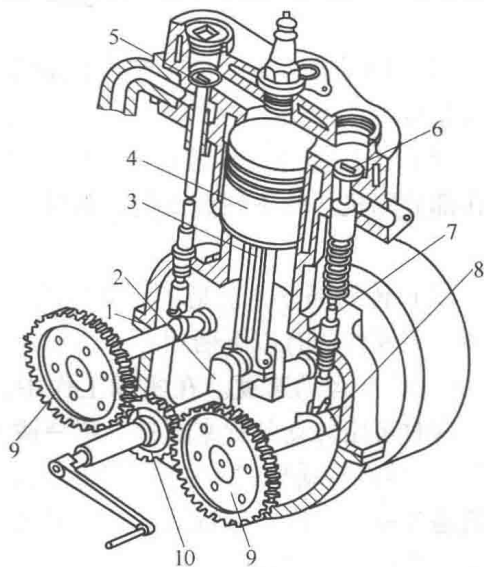


图 0-1 单缸四冲程内燃机

1—气缸体 2—曲轴 3—连杆 4—活塞
5—进气阀 6—排气阀 7—推杆 8—凸轮
9、10—齿轮

机械功或能量转换。

二、机器的组成

按照机器各部分实物功能的不同，一部完整的机器，通常都是由原动机、工作部分、传动部分三个主要部分以及辅助系统和控制系统组成的。

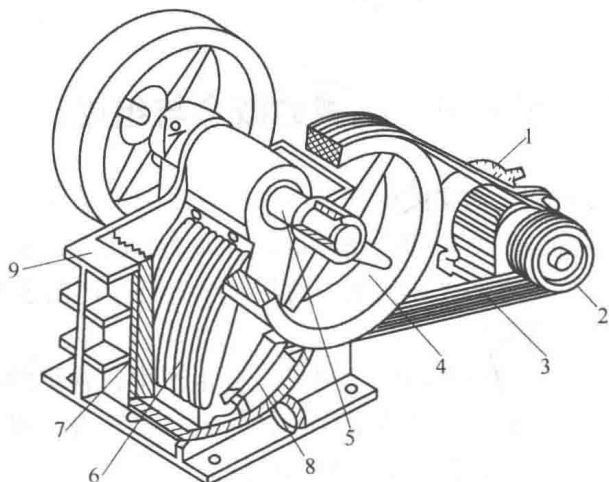


图 0-2 颞式破碎机

1—电动机 2、4—带轮 3—V带 5—偏心轴
6—动颞 7—定颞 8—肘板 9—机架

(1) 原动机 它是驱动整个机器完成预定功能的动力源，如图 0-1、图 0-2 中的内燃机、电动机等。

(2) 工作部分 它是直接完成工艺动作的部分，如颞式破碎机中的动颞和定颞。通常工作部分随机器的不同而不同，其外形、性能、结构和尺寸等主要取决于工艺要求和工艺动作。

(3) 传动部分 它是将原动机的运动和动力传递给工作部分的中间环节。在传递运动方面，主要作用有以下两项：

1) 改变运动速度。在实际工作中，常存在着工作部分和原动机之间的速度不协调现象，这时可用传动装置来减速、增速或变速。

2) 转换运动形式。原动机的输出运动一般是转动，而工作部分的运动形式根据工艺要求则是多种多样的。如颞式破碎机要求动颞作复杂的运动，要把电动机的转动转换为动颞的摆动，这里采用了连杆机构。

常用的传动部分有机械传动、电气传动、液压传动，其中机械传动应用最为广泛。机械传动通常由各种机构（如齿轮机构、连杆机构、凸轮机构等）和各种零件（如带—带轮、链—链轮、轴—轴承等）组成。

三、构件和零件

所谓构件是指机构的基本运动单元。构件可以是一个零件，如图 0-3a 所示的曲轴；也可由若干相互无相对运动的零件所组成，如图 0-3b 所示的内燃机连杆，它是由连杆体、连杆盖、螺栓、螺母等多个零件所组成的。

零件是制造单元。机械中的零件可以分为两类，一类称为通用零件，它在各类机械中都

能遇到,如齿轮、螺栓、螺母、轴等;另一类称为专用零件,仅在某些专门行业中才用到的零件,如内燃机的活塞与曲轴、汽轮机的叶片、机床的床身等。

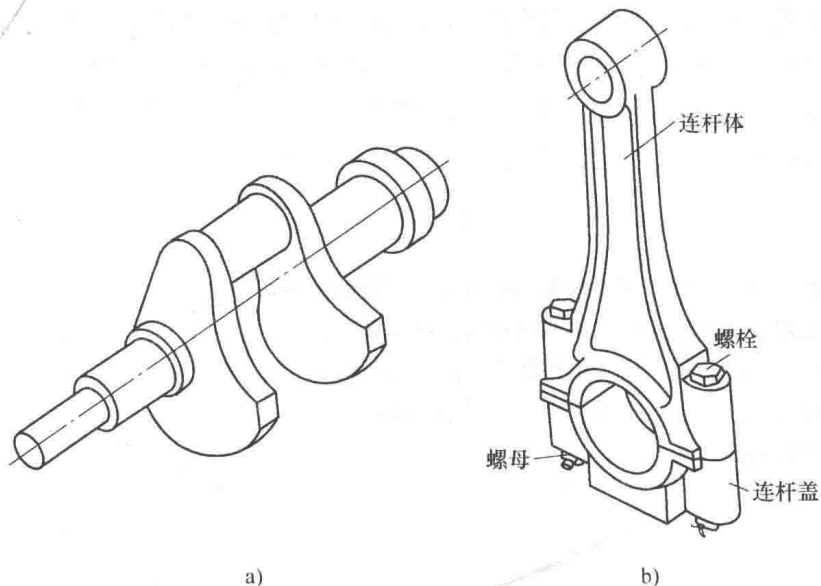


图 0-3 构件与零件

a) 曲轴 b) 内燃机连杆

第二节 本课程的内容、性质和任务

一、本课程的内容

本课程的主要内容分为以下六部分。

第一部分: 主要介绍机械常用工程材料的力学性能和工艺性能; 钢的常用热处理方法及其应用; 钢铁材料; 非铁金属与粉末冶金材料; 非金属材料。

第二部分: 主要介绍构件的受力分析、力系的简化和构件的平衡条件, 以及构件在外力作用下的变形、受力和破坏规律, 强度 (抵抗破坏能力) 和刚度 (抵抗变形能力) 计算的方法。

第三部分: 主要介绍常用机构、机械传动的工作原理、特点、应用, 以及连接与轴系零部件的结构、特点、标准及其应用。

第四部分: 主要介绍光滑圆柱形结合的公差与配合, 几何公差, 表面粗糙度的基本知识及其应用。

第五部分: 主要介绍液压传动常用元件及典型基本回路的工作原理、特点及应用。

第六部分: 主要介绍毛坯的生产与选择、金属切削加工与机械装配的方法和特点及应用。

二、本课程的性质和任务

本课程是一门重要的专业基础课, 理论性、实践性比较强, 是后续专业课程学习的重要技术基础, 是近机类、非机类专业的主干基础课程之一。本课程在教学中具有承上启下的作用, 是工程技术人员的必修课程。

通过本课程的学习, 学生应了解金属材料的性能、钢的常用热处理的基本知识、工业常

用材料及其选择；掌握物体的受力分析与平衡条件及计算，掌握物体在承载的情况下，其基本变形的强度和刚度计算；了解互换性、尺寸公差与配合、几何公差、表面粗糙度等基本知识及其应用；熟悉机械传动中各种常用机构和通用零部件的基本结构原理及应用；初步掌握液压传动中常用元件及典型回路的工作原理、特点及应用，具备阅读一般液压系统图的能力；了解和掌握毛坯生产的基本方法、特点及应用；熟悉金属切削加工方法的工艺特点，熟悉几种典型通用切削机床的用途、组成、运动和传动系统；了解机械装配的基本方法。

习 题

- 0-1 一部完整的机器一般由哪些部分所组成？各部分的作用是什么？
- 0-2 什么是机器？什么是机构？机器和机构的区别是什么？
- 0-3 什么是构件？什么是零件？构件和零件的区别是什么？
- 0-4 什么是通用零件？什么是专用零件？试举例说明。
- 0-5 学习本课程的目的是什么？

第一章 机械常用工程材料及钢的热处理

第一节 金属材料的性能

金属材料是现代工业中最重要的一种工程材料，广泛用于工农业和国防工业等部门。为了合理地使用金属材料，必须了解和熟悉金属材料的性能。金属材料的性能包括使用性能和工艺性能，使用性能是指金属材料在使用过程中所表现出来的性能，包括力学性能、物理性能、化学性能；工艺性能是指金属材料在各种加工过程中所表现出来的性能，包括铸造性能、锻造性能、热处理性能和切削性能等。选用金属材料时通常是以力学性能的指标作为主要依据。

一、金属材料的力学性能

金属材料抵抗不同性质载荷的能力称为金属材料的力学性能，过去常称为机械性能。它的主要指标是强度、塑性、硬度、冲击吸收能量和疲劳强度等。上述指标既是选用材料的重要依据，又是控制、检验材料质量的重要参数。

1. 强度和塑性

强度是指材料在载荷（外力）作用下抵抗塑性变形和破坏的能力。抵抗外力的能力越大，则强度越高。根据受力情况不同，材料的强度可分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗扭强度和抗剪强度等。常用的强度指标为静拉伸试验条件下，材料抵抗塑性变形能力的屈服强度 R_{eH} 、 R_{eL} 和抵抗破坏能力的抗拉强度 R_m 。

塑性是材料产生塑性变形的能力，其指标为伸长率 A 和断面收缩率 Z 。 A 和 Z 值越大，材料的塑性越好。伸长率 A 是指材料受拉断裂时，一定长度的绝对伸长量与原有长度的百分比。详见第三章第二节的相关内容。

2. 硬度

硬度是指金属材料抵抗比它更硬物体压入其表面的能力，即抵抗局部塑性变形的能力。它是金属材料的重要性能之一，也是检验工模具和机械零件质量的一项重要指标。由于测定硬度的试验设备比较简单，操作方便、迅速，又属无损检验，故在生产上和科研中应用都十分广泛。

测定硬度的方法比较多，常用的方法是压入法，它是用一定的静载荷（压力）把压头压在金属表面上，然后通过测定压痕的面积或深度来确定其硬度。常用硬度试验方法有布氏硬度和洛氏硬度。

（1）布氏硬度 布氏硬度试验法是用一定直径为 D 的硬质合金球，在规定试验力 F 的作用下，压入被测试金属的表面（图 1-1），停留一定时间后卸除载荷，测量被测金属表面上所形成的压痕直径 d ，由此计算压痕的球缺面积 S ，然后再求出压痕

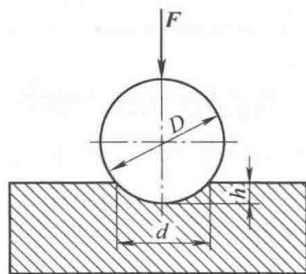


图 1-1 布氏硬度试验原理示意图

的单位面积所承受的平均压力 (F/S)，以此作为被测试金属的布氏硬度值。

布氏硬度用符号 HBW 表示，习惯上只写硬度的数值而不标出单位。一般硬度符号 HBW 前面的数值为硬度值，符号后面数值表示试验条件的指标，依次表示球体直径、试验力大小及试验力保持时间（保持时间为 10 ~ 15s 时不标注）。例如，600HBW1/30/20 表示用直径 1mm 的硬质合金球，在 294N (30kgf = 294N) 试验力作用下保持 20s，测得的布氏硬度值为 600。

当试验力 F 与球体直径 D 选定时，硬度值只与压痕直径 d 有关。 d 越大，则布氏硬度值越小；反之， d 越小，硬度值越大。实际测试时，用刻度放大镜测出压痕直径 d ，然后根据 d 值查表，即可求得所测的硬度值。

布氏硬度多适用于测定未经淬火的各种钢、灰铸铁和非铁金属及合金的硬度。对于硬度 > 650HBW 的金属材料不适用。由于布氏硬度试验法压痕面积大，故测量精度较高且试验数据稳定，但不宜用于较薄的零件及成品零件的硬度检查。

(2) 洛氏硬度 洛氏硬度试验与布氏硬度试验一样，也是一种压入硬度试验。但它不是测量压痕面积，而是测量压痕深度，以深度大小表示材料的硬度值。

洛氏硬度试验原理如图 1-2 所示，它是以圆锥角为 120° 的金刚石圆锥体或一定直径的钢球或硬质合金球为压头，在规定试验力作用下压入被测金属材料的表面，由压头在金属表面所形成的压痕深度来确定其硬度值。在相同的试验条件下，压痕深度越小，则材料的硬度值越高。

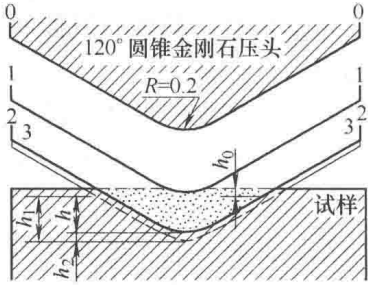


图 1-2 洛氏硬度实验原理图

实际测量时，为了减少因材料（试样）表面不平引起的误差，应先加初载荷，后加主载荷，并可在洛氏硬度试验机的刻度盘上，直接读出硬度值。

根据被测材料，选用的压头类型和载荷的不同，常用的洛氏硬度有 HRA、HRB、HRC 三种，它们的试验条件和应用范围见表 1-1。其中以 HRC 应用最广。

表 1-1 常用洛氏硬度的试验条件和应用范围

硬度符号	所用压头	测量范围 (硬度)	总试验力 /N	应用举例
HRA	金刚石圆锥	20 ~ 88	588.4	碳化物、硬质合金、淬火工具钢、深层表面硬化钢
HRB	直径为 1.587 5mm 钢球	20 ~ 100	980.7	软钢、铜合金、铝合金
HRC	金刚石圆锥	20 ~ 70	1 471	淬火钢、调质钢、深层表面硬化钢

洛氏硬度试验操作简单迅速，可直接从表盘上读出硬度值。它没有单位，测量范围大，试件表面压痕小；可直接测量成品或较薄工件的硬度。但由于压痕较小，对内部组织和硬度不均匀的材料，测量结果不够准确，故需在试件不同部位测定三点取其算术平均值来作为测量结果。

3. 冲击吸收能量

以上讨论的是静载荷下的力学性能指标，但机械设备中有很多零件要承受冲击载荷，如突然吃刀时的加工零件、压力机的冲头、锻锤的锤杆等。对于这些承受冲击载荷的零件，不

仅要求有高的强度和一定的塑性，而且还要求有足够的冲击吸收能量。

冲击吸收能量是指在冲击载荷作用下，金属材料抵抗破坏的能力。为了评定金属材料的冲击吸收能量，需进行一次冲击试验，应用最普遍的是一次冲击试验。

一次冲击试验通常是在摆锤式冲击试验机上进行的，为了使试验结果有相互比较，所用试样必须标准化。按 GB/T 229—2007 规定，冲击试验标准试样有夏比 U 型缺口试样和夏比 V 型缺口试样两种。试验时，将按规定制作的标准冲击试样的缺口背向摆锤方向放在冲击试验机上支座 C 处（图 1-3），把质量为 m 的摆锤抬到 h_1 高度，使摆锤具有位能 mgh_1 （ g 为重力加速度）。然后释放摆锤，将试样冲断，并向另一方向升高到 h_2 高度，这时摆锤具有位能为 mgh_2 。故摆锤冲断试样失去的位能为 $(mgh_1 - mgh_2)$ ，这就是试样变形和断裂所消耗的功，称为冲击吸收能量 K 。即

$$K = mg(h_1 - h_2) \quad (1-1)$$

根据两种试样缺口形状不同，冲击吸收能量分别用 KU 和 KV 表示，单位为焦耳（J）。冲击吸收能量的值可从试验机的刻度盘上直接读得。

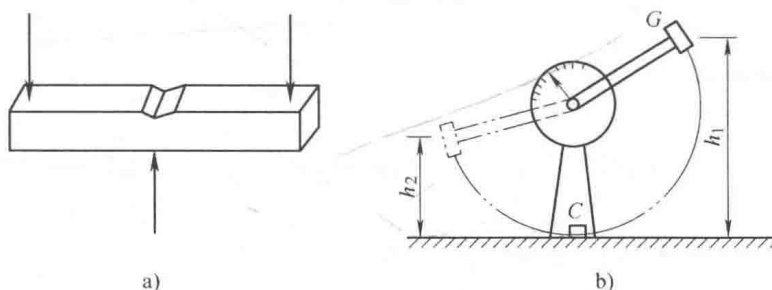


图 1-3 冲击试验原理图

a) 冲击试样 b) 冲击试验示意图

一般把冲击吸收能量值低的材料称为脆性材料，冲击吸收能量值高的材料称为韧性材料。脆性材料在断裂前无明显塑性变形，断口较平整、呈晶状或瓷状，有金属光泽；韧性材料在断裂前有明显的塑性变形，断口呈纤维状、无光泽。

4. 疲劳强度

许多机械零件（如轴、齿轮、连杆、弹簧等）都是在交变应力（指大小和方向随时间作周期性变化）下工作的，零件工作时所承受的应力通常都低于材料的屈服强度。零件在这种交变载荷作用下，经过长时间工作也会发生破坏，通常这种破坏现象称为金属的疲劳断裂。

疲劳断裂与缓慢加载时破坏不同，无论是脆性材料，还是塑性材料，疲劳断裂时都不产生明显的塑性变形，断裂是突然发生的。因此，疲劳断裂具有很大的危险性，常造成严重事故。据统计，在损坏的机械零件中，大部分是由于疲劳断裂造成的。

工程上规定，材料经受无数次应力循环而不产生断裂的最大应力称为疲劳强度。通过试验可测得材料承受的交变应力 σ 和断裂前应力循环次数 N 之间的关系曲线，如图 1-4 所示。从曲线上可以看出，应力值越低，断裂前的应力循环次数越多，当应力降低到某一定值后，曲线与横坐标轴平行。这表明，当应力低于此值时，材料可经受无数次应力循环而不断裂。对称循环应力的疲劳强度用 σ_{-1} 表示。实践证明，当钢铁材料的应力循环次数达到 10^7 次

时,零件仍不断裂,则可将此时的最大应力作为它的疲劳强度。对于非铁合金和某些超高强度钢,工程上规定应力循环次数为 10^8 次时的最大应力作为它们的疲劳强度。

为提高零件的疲劳强度,可采取改善零件的结构形状、降低零件的表面粗糙度、提高表面加工质量和应用化学热处理、淬火等各种表面强化处理的方法。

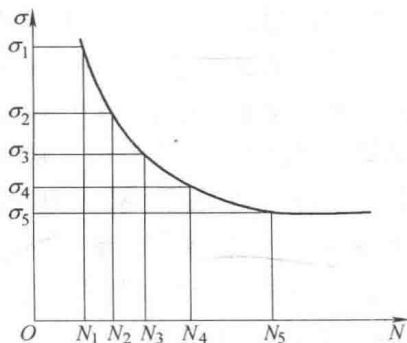


图 1-4 疲劳曲线

二、金属材料的工艺性能

金属材料的工艺性能是指金属材料所具有的能够适应各种加工工艺要求的能力。工艺性能实质上是力学、物理、化学性能的综合表现。金属材料常用铸造、塑性加工、焊接和切削加工等方法制造成零件。各种加工方法对材料提出了不同的要求。

1. 铸造性能

铸造性能是指浇注铸件时,金属材料易于成形并获得优质铸件的性能。流动性、收缩率、偏析倾向是表示铸造性能好坏的指标。在常用的金属材料中,灰铸铁与青铜具有良好的铸造性能,而铸钢的铸造性能较差。

2. 锻造性能

锻造性能一般用材料的可锻性来衡量。金属材料的可锻性是指材料在压力加工时,能改变形状而不产生裂纹的性能。它实质上是材料塑性好坏的表现。钢能承受锻造、轧制、冷拉和挤压等变形加工,表现出良好的可锻性。钢的可锻性与化学成分有关,低碳钢的可锻性好,碳钢的可锻性一般较合金钢好,铸铁则没有可锻性。

3. 焊接性能

金属材料的焊接性是指材料在通常的焊接方法和焊接工艺条件下,能获得质量良好焊缝的性能。焊接性好的材料,易于用一般的焊接方法和加工工艺进行焊接,焊缝中不易产生气孔、夹渣或裂纹等缺陷,其强度与母材相近。焊接性差的材料要用特殊的方法和工艺进行焊接。因此,焊接性能影响金属材料的应用。在常用金属材料中,低碳钢具有良好的焊接性,高碳钢和铸铁的焊接性较差。

4. 切削加工性能

切削加工性能是指对工件材料进行切削加工的难易程度。金属材料的切削加工性能不仅与材料本身的化学成分、金相组织有关,还与刀具的几何形状等有关。通常,可根据材料的硬度和韧性,对材料的切削加工性作大致的判断。硬度过高或过低,韧性过大的材料,其切削性能较差。碳钢硬度为 $150 \sim 250\text{HBW}$ 时,有较好的切削加工性。硬度过高,刀具寿命短甚至不能切削加工;硬度过低,不易断屑,容易粘刀,加工后的表面粗糙。灰铸铁具有良好的切削加工性能。

第二节 金属学基础

金属的性能主要取决于材料的化学成分和组织结构,化学成分不同其性能也不相同,即使相同成分的材料,当采用不同的热加工工艺或热处理后,由于其内部结构和组织状态的改变,性能也会有很大差异。因此,研究金属材料的结构及其组织状态,对生产、加工、使用

现有材料和发展新型材料具有重要的意义。

一、金属及其合金的晶体结构与结晶

1. 纯金属的实际晶体结构

在自然界,除了少数固体物质属于非晶体外,大多数固态物质都是晶体。晶体是指其内部原子按一定几何规律作有规则的周期性排列的物质,如金刚石、石墨及一切固态的金属和合金。而非晶体内部的原子是无规则地堆积在一起,如松香、沥青、普通玻璃等。非晶体没有固定熔点,且具有各向同性。

当晶体内部原子排列的位向完全一致时称为单晶体(图1-5a)。而实际金属都是由许多结晶位向不同的单晶体组成的聚合体,称为多晶体,如图1-5b所示。每个小的单晶体称为晶粒,晶粒与晶粒之间的界面称为晶界。单晶体具有各向异性的特征,多晶体的性能是各不同方位单晶体的统计平均性能,因而显示出各向同性。

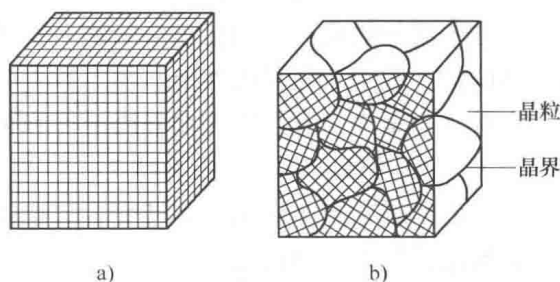


图1-5 单晶体与多晶体结构

a) 单晶体 b) 多晶体

金属晶体中的晶体缺陷、杂质、晶界等,对金属的性能往往有重大影响,如晶界的耐蚀性差、熔点低等。

2. 合金的晶体结构

纯金属一般都具有优良的导电性和导热性,但由于纯金属强度、硬度较低,无法满足生产中对金属材料的一些高性能要求,且纯金属提炼困难,价格较贵,所以在应用上受到一定的限制。因此,在实际生产中大量使用的金属材料,都是根据需要配制成的各种不同成分的合金,如碳钢、铸铁、合金钢、黄铜、硬铝等。

(1) 合金的基本概念 合金是指由两种或两种以上的金属元素(或金属与非金属元素)组成的、具有金属特性的物质。例如,碳钢和铸铁是由铁和碳两种元素组成的合金;黄铜是由铜和锌组成的合金;硬铝是由铝、铜、镁等元素组成的合金等。

组成合金的最基本的、独立的物质称为组元。组元通常是纯元素,但也可以是稳定的化合物。根据组成合金组元数目的不同,合金可以分为二元合金、三元合金和多元合金等。例如,钢是由铁和碳组成的二元合金,黄铜是由铜和锌组成的二元合金等。

在合金中,把同一化学成分、同一晶体结构和物理性能相同,并与其他部分以界面分开的均匀组成部分称为相。不同相之间有明显的界面。越过界面,结构和性质会发生突变。组成合金的各组元相互作用而形成多种相,并以不同的数量、大小、形状互相搭配构成合金组织。合金的性能取决于它的组织,而组织的性能又首先取决于其组成相的性能,因此,由不同相组成的组织,具有不同的性能。为了了解合金的组织与性能,有必要首先了解构成合金组织的相及其性能。

(2) 合金的相结构

1) 固溶体。合金各组元在固态时具有互相溶解的能力,形成与某组元晶格类型相同的合金,称为固溶体。例如,钢中的铁素体就是碳在 α -Fe中的固溶体;黄铜就是锌(溶质)原子溶于铜(溶剂)的晶格中而形成的固溶体。

固溶体虽然仍保持溶剂金属的晶格类型,但由于溶质与溶剂原子尺寸的差别,会造成晶

格畸变(变形),从而提高合金的硬度和强度。通过溶入溶质元素,使固溶体的强度、硬度增高的现象,称为固溶强化。固溶强化是提高材料力学性能的重要途径之一。

2) 金属化合物。金属化合物是合金的组元间相互作用而形成的具有明显金属特性的化合物,其晶格类型和性能完全不同于任一组元,而且其组成可用分子式表示。

金属化合物一般具有复杂的晶体结构,熔点高,硬而脆。它能提高合金的强度、硬度和耐磨性,但会降低塑性。金属化合物是合金钢、硬质合金和许多非铁合金的重要组成相。

3) 机械混合物。组成合金的各组元在固态下既不溶解,也不形成化合物,而以混合形式组合在一起的物质,称为机械混合物。其各相仍保持原来的晶格结构和性能。因此,机械混合物的性能取决于各相的性能、相对数量、形状、大小及分布情况。

在常用合金中,其组织大多是固溶体和金属化合物的机械混合物。

3. 纯金属的结晶与同素异构转变

金属的结晶是指金属由液态转变为固态的过程,也就是原子由不规则排列的液体状态逐步过渡到原子规则排列的晶体状态的过程,金属的晶体结构是在结晶过程中逐步形成的。

(1) 冷却曲线和过冷现象 纯金属的结晶是在一定温度下进行的。它的结晶过程可用图 1-6 所示的冷却曲线来描述。由图可见,冷却曲线上有一水平线段,这就是实际结晶温度 T_n 。因为结晶时有大量潜热放出,补偿了散失在空气中的热量,使温度不随冷却时间的增长而下降,所以线段是水平的。从图中还可以看到,金属的实际结晶温度 T_n 低于理论结晶温度 T_0 ,此现象称为过冷。理论结晶温度与实际结晶温度之差称为过冷度,用 ΔT 表示,即 $\Delta T = T_0 - T_n$ 。

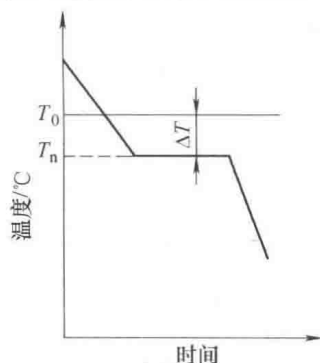


图 1-6 纯金属冷却曲线

金属结晶时过冷度不是一个恒定值。液体金属的冷却速度越快,实际结晶温度就越低,即过冷度越大。实践证明,金属总是在一定的过冷度下结晶的,所以过冷是金属结晶的必要条件。

(2) 纯金属的结晶过程 纯金属的结晶过程是在冷却曲线上水平线段内发生的,是晶核的不断形成和长大的过程。

在液态金属中的小范围内,总是存在着类似晶体中原子规则排列的小集团,但在结晶温度以上,这些原子集团是不稳定的,瞬间出现又会瞬间消失。当低于结晶温度时,原子集团变得比较稳定,不再消失,而成为结晶核心(即晶核)。这些晶核在结晶过程中不断吸附周围液体中的原子而长大。与此同时,在液体中又会不断产生出新的晶核并且长大,直至全部液体金属都转变为固体,最后形成由许多外形不规则、位向各不相同的小晶体(晶粒)组成的多晶体结构,如图 1-7 所示。

(3) 金属晶粒大小与控制 金属晶粒的大小可以用单位体积内晶粒的数目来表示。晶粒大小对金属材料的力学性能有很大影响,一般情况下晶粒数目越多,晶粒越细小,常温下金属的强度、塑性和韧性越高。

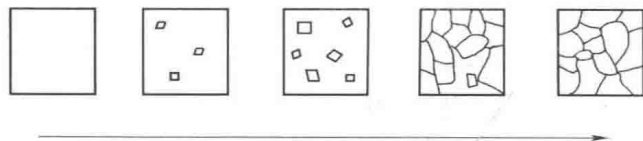


图 1-7 结晶过程示意图

由上述可知,晶粒大小决定于晶核数目的多少和晶核长大的速率。晶核越多,每个晶核

长大的余地就越小，长成的晶粒就越细；若晶核长大的速率小，长成的晶粒尺寸就小。反之则晶粒粗大。因此，凡是能促进晶核生成和抑制晶粒长大的因素都能细化晶粒。过冷度和难溶杂质是影响晶粒大小的两个主要因素。提高冷却速率，增大过冷度，可使晶粒变细。难溶杂质对细化晶粒的作用十分明显。因此，在生产实践中，常用向液态金属加入难溶固态物质的方法，增加晶核数目，细化晶粒。难溶的固态物质称为孕育剂，这种处理方法称为孕育处理或变质处理。

(4) 金属的同素异构转变 为了便于分析、比较各种晶体内部原子的排列规则，通常将每个原子视为一个几何质点，并用一些假想的几何线条将各质点连接起来，形成一个空间几何格架，此格架称为晶格。在金属材料中，最常见的晶格有体心立方晶格和面心立方晶格。

大多数金属在结晶后晶格类型不再变化，但有些金属（如铁、锰、钛等）在结晶成固体后继续冷却时，其晶格类型还会发生一定的变化。金属在固态下发生晶格变化的过程，称为金属的同素异构转变。

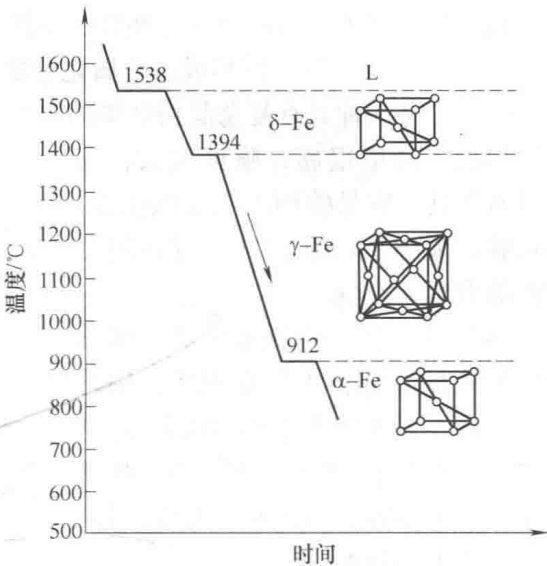
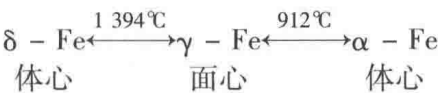


图 1-8 纯铁的冷却曲线及晶体结构变化

图 1-8 所示为纯铁的冷却曲线及晶体结构变化，由图可知，液态纯铁在 1 538℃ 进行结晶，得到具有体心立方晶格的 δ-Fe；继续冷却到 1 394℃ 时发生同素异构转变，δ-Fe 转变为面心立方晶格的 γ-Fe；再继续冷却到 912℃ 时又发生同素异构转变，γ-Fe 转变为体心立方晶格的 α-Fe；再继续冷却到室温，晶格类型不再发生变化。这些转变可以用下式表示



二、铁碳合金及其相图

钢铁材料是现代工业生产中应用最广泛的金属材料，其基本组元是铁和碳两种元素，故称为铁碳合金。不同成分的铁碳合金，在不同的温度下，具有不同的组织，因而表现出不同的性能。学习和掌握铁碳合金相图，对于了解钢铁材料的性能，采取正确的热加工工艺具有十分重要的意义。

1. 铁碳合金的基本组织和性能

在铁碳合金中，铁和碳的结合方式为：在液态时，铁和碳可以无限互溶；在固态时，碳可溶解在铁中形成固溶体，或与铁形成化合物。此外，还可以形成由固溶体和化合物组成的混合物。固态下出现的基本组织如下：

(1) 铁素体 碳溶于 α-Fe 中形成的间隙固溶体称为铁素体，用符号 F 表示。铁素体保持 α-Fe 的体心立方晶格。

铁素体溶解碳的能力很小，在 727℃ 时可达最大溶碳量 $w_c = 0.021\,8\%$ 。由于铁素体溶碳量很低，因此，其性能与纯铁相似，强度、硬度不高，塑性、韧性很好。