

高等学校工程专科教材

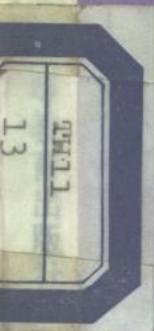
机械基础 上册

张绍甫 吴善元 主编



高等教育出版社

机械基础 上册
张绍甫 吴善元 主编



74111
13

高等学校工程专科教材

机 械 基 础

上 册

张绍甫 吴善元 主编



高等教育出版社

(京)112号

内 容 简 介

本教材是根据高等学校工程专科非机械类专业的《机械基础课程教学基本要求》编写的,已经高等学校工程专科机械原理及机械零件教材编审小组审查通过,同意作为高等学校工程专科教材出版。本书分上、下两册出版。上册的主要内容有:工程材料及金属热处理、工程力学、机械原理、机械零件、公差与配合。下册包括:液压传动、毛坯制造与选择、金属切削加工与机械装配。

本教材主要供需要具有一定机械设计与机械制造知识的电子、电气、化工、土建等工程类和管理类(包括财会、工业外贸等)学生使用,内容较全面,着力于对基本概念和基本知识作深入浅出的阐述,并力求“少而精”。各章配有一定数量的例题、复习思考题与习题。

本书可作高等工程专科、职工大学、广播电视大学、函授及自学教材,也可供工厂的技术和管理人员参考。

2260/33

高等学校工程专科教材

机 械 基 础

上 册

张绍甫 吴善元 主编

*

高等教育出版社出版

新华书店总店科技发行所发行
北京市通县兔子店印刷厂印装

*

开本 787×1092 1/16 印张 15.5 字数 380 000

1994年9月第1版 1994年9月第1次印刷

印数0001— 3 078

ISBN 7-04-004980-5/TH·370

定价 7.70元

前 言

本书是根据高等学校工程专科非机械类专业的《机械基础课程教学基本要求》编写的。尽管非机械类专业种类繁多，其对机械基础的知识要求不尽相同，但由于本书取材的覆盖面较大，在阐述机械设计与机械制造基本知识前，还提供了必要的基础知识，例如工程材料和工程力学方面的内容，因而对于不同的要求均能满足。

本书也适用于要求有一定机械基础知识的管理类专业（包括工业外贸、财会、计划统计等）。

本书编写时充分考虑了非机械类专业的特点，在引出抽象的定义和概念时，尽可能从常见的物理现象和工程实际出发，力求作到严格、严密和严谨。在列出定理、定律和公式时，主要着力于物理意义的阐述和作定性的分析，其数学推导过程则尽力简化或从略。

本书虽然仅介绍机械设计与机械制造的基本知识，但对机械设计与制造方面新的科技成果，尤其是代表其发展方向的成果，也作了适当反映。

本书采用了最新国家标准和法定计量单位。基本术语和图形符号，除了国标中某些定义过于专业化，不便于非机械类专业读者理解者外，基本上作到了标准化、规范化。教学内容和文字表达力求深入浅出，联系实际和便于自学。

本书由郑州工业高等专科学校张绍甫、南京机械高等专科学校吴善元主编。全书的编写分工为：张绍甫——绪论，第一、六章；孙继业（洛阳工业高等专科学校）——第二、三章；张莹（郑州工业高等专科学校）——第四、五章；王裕民（郑州工业高等专科学校）——第八章；吴善元——第七、九、十章。主审为郑州纺织工学院刘奇良教授和南京机械高等专科学校冯轩副研究员。

在编写过程中郑志祥教授和左健民、王德泉等同志对书稿提出了许多宝贵意见，编者在此表示衷心的感谢。

由于编者水平所限，错误和欠妥之处在所难免，热忱希望广大读者不吝批评指正。

编者

1994年3月

目 录

绪论	1
§ 0-1 机械的组成	1
§ 0-2 机械设计、机械制造 概述和课程内容	3
§ 0-3 本课程的性质、目的、任务和学习方法	5
第一章 机械常用工程材料及钢的 热处理	7
§ 1-1 金属材料的力学性能 及工艺性能	7
§ 1-2 金属及合金的结晶	10
§ 1-3 铁碳合金及状态图的 概念	14
§ 1-4 钢的热处理	18
§ 1-5 常用金属材料	21
§ 1-6 常用非金属材料简介	26
第二章 物体的受力分析与平衡	28
§ 2-1 物体的受力分析	28
§ 2-2 平面汇交力系	34
§ 2-3 力矩和平面力偶系	37
§ 2-4 平面一般力系(平面任意力 系)	40
§ 2-5 摩擦	49
第三章 杆件的变形及强度和刚度 计算	55
§ 3-1 概述	55
§ 3-2 轴向拉伸和压缩	56
§ 3-3 剪切	65
§ 3-4 扭转	69
§ 3-5 弯曲	77
§ 3-6 构件强度计算中的几个 问题	86

第四章 常用机构	94
§ 4-1 机器和机构	94
§ 4-2 平面连杆机构	99
§ 4-3 凸轮机构	107
§ 4-4 其他常用机构	113
第五章 机械传动	122
§ 5-1 带传动	122
§ 5-2 链传动	133
§ 5-3 齿轮传动工作原理	138
§ 5-4 直齿圆柱齿轮传动	142
§ 5-5 斜齿圆柱齿轮传动	150
§ 5-6 直齿圆锥齿轮传动	155
§ 5-7 齿轮传动的失效形式、 常用材料及润滑	158
§ 5-8 圆柱齿轮的精度简介	160
§ 5-9 蜗杆传动	161
§ 5-10 轮系	167
* § 5-11 摩擦轮传动简介	175
第六章 轴系零部件和联接零件	180
§ 6-1 轴和轴毂联接	180
§ 6-2 滑动轴承	189
§ 6-3 滚动轴承	196
§ 6-4 联轴器和离合器	205
§ 6-5 螺纹联接	210
§ 6-6 弹簧	214
第七章 公差与配合	220
§ 7-1 概述	220
§ 7-2 公差配合的术语和定义	221
§ 7-3 尺寸公差与配合	223
§ 7-4 表面粗糙度	229
§ 7-5 形状与位置公差	233

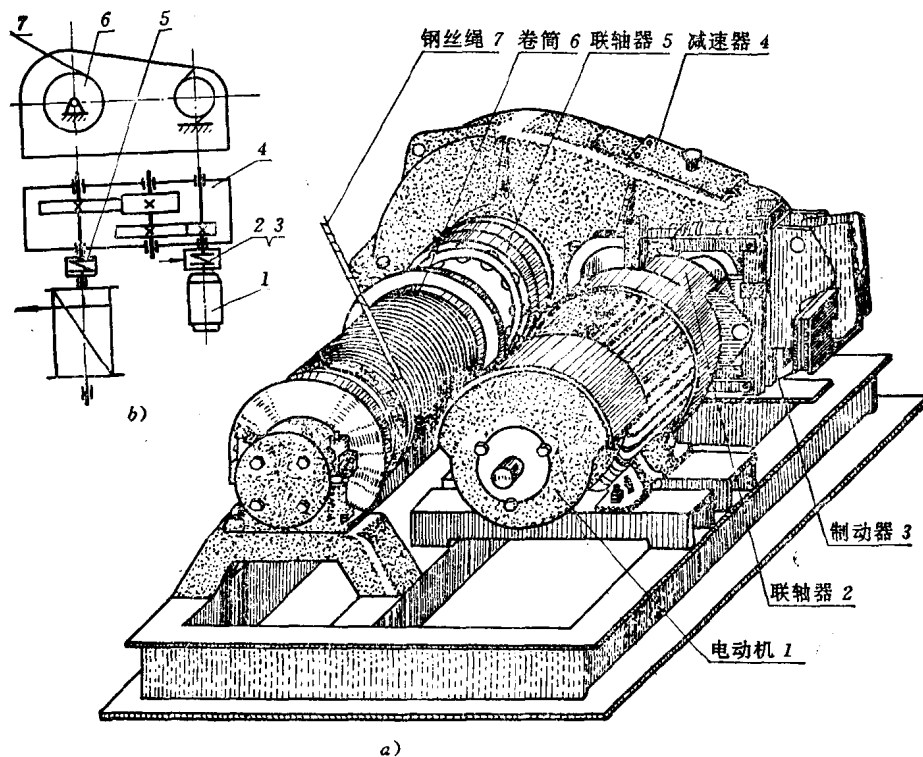
绪 论

§ 0-1 机械的组成

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，帮助人们创造更多的社会财富，极大地丰富人们的物质和文化生活。随着科学技术的飞速进步和生产的不断发展，机械必将会达到更高的水平。

我国古代劳动人民在机械方面有许多杰出的发明和创造，如指南车、记里鼓、候风地动仪等。明朝宋应星所著《天工开物》一书，内载有冶铁、铸钟、锻铁、淬火等各种金属加工方法，它是世界上有关金属工艺最早的科学著作之一。如今，要振兴中华，实现我国社会主义的现代化，机械的应用必将越来越多，因此要求各种专业的工程技术人员，都要具备一定的机械方面的基本知识，才能更好地为社会主义建设服务。

简单地说，机械是各种机器的通称。在生产和生活中使用着各式各样的机械，如汽车、拖拉机、摩托车、缝纫机、电风扇等。机械的种类繁多，其结构、性能和用途各异，但从机械的组成来分析，它们又有着共同之处，如图0-1所示的卷扬机，它由电动机1通过联轴器2

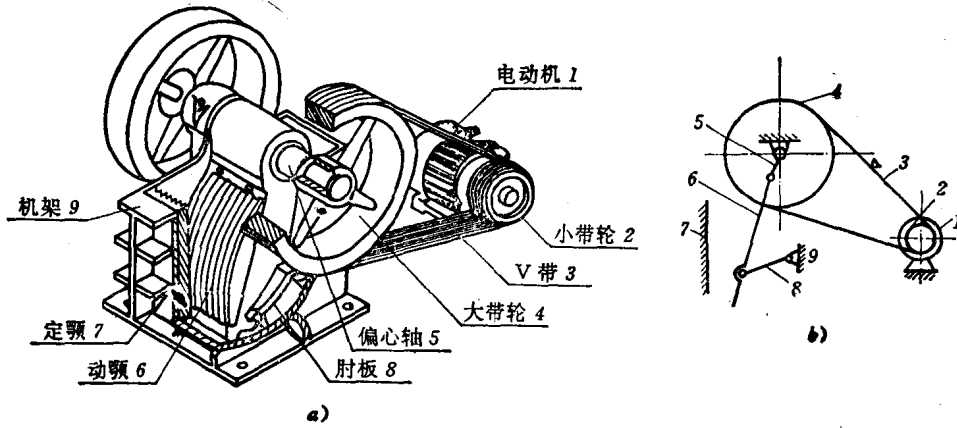


a) 立体图 (外形图) b) 传动示意图

图0-1 卷扬机

驱动减速器 4，减速器又通过联轴器 5 带动卷筒 6，卷筒的转动使钢丝绳完成升降、牵引重物的动作。这样一个机械系统主要是由电动机(原动机)、齿轮减速器(传动部分)、卷筒和钢丝绳(工作部分)等组成。

图0-2所示为颚式破碎机，在电动机 1 的轴上安装 V 带轮 2，通过 V 带 3 驱动大带轮 4，偏心轴 5 随之转动，使动颚 6 产生摆动(动颚连在肘板 8 上)，从而破碎置于动颚与定颚 7 之间的物料，完成有用的机械功。颚式破碎机广泛应用于矿山、建材和化工等工业中。



a) 立体图 b) 传动示意图

图0-2 颚式破碎机

由上述实例可知，任何一台完整的机器，通常都是由原动机、工作部分和传动部分所组成。

(1) 原动机 它是整个机器的动力部分，如实例中的电动机。除最常用的电动机外，尚有内燃机、蒸汽机等。原动机的作用是把其他形式的能转变为机械能，以驱动机器运动和作功。

(2) 工作部分(或工作机构) 它是直接完成工艺动作的部分，如颚式破碎机中的动颚和定颚。通常工作部分随机器的不同而不同，主要决定于工艺要求和工艺动作。

(3) 传动部分(传动机构) 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，主要作用有二：

1) 改变运动速度 在实际工作中，常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。如颚式破碎机要求动颚作复杂的运动，要把电动机的转动转换为动颚的摆动，这里采用了连杆机构。

通常把改变运动速度和转换运动形式的实物组合，称为常用机构或机械传动。

尽管在一台现代化的机器中，常包含有机械、电器、控制、监测、润滑和密封等部分，但是机器的主体是它的机械系统。机械系统总是由一些机构组成，而每个机构又是由许多构件(运动的单元体)组成。构件可能是一个零件(机器的制造单元体)，也可能是若干个零件的刚性组合体(详见第四章)。所以，机器的基本组成要素就是机械零件。

§ 0-2 机械设计、机械制造概述和课程内容

由前述可知, 机器通常都是由三大部分所组成, 其中原动机和工作部分将在有关课程中研究。传动部分所用的常用机构、液压传动和机械传动等零部件的设计和制造的基本知识、基本方法等, 则是本课程研究的主要内容。

一、机械设计概述

机械设计的任务, 就是要使所设计的机器和机械零件满足各项要求。机器应首先满足预定功能的要求, 即在预期寿命内能高效率地完成其全部职能。在此前提下, 机器还应满足经济性要求, 即设计和制造的成本低、重量轻、体积小、易加工等。此外, 机器必须安全可靠, 操作维修方便, 造型美观, 噪声低, 以改善劳动条件。

机械零件是组成机器的单元, 所以设计机械零件时, 应首先满足机器对零件的具体要求, 同时应使零件工作可靠和成本低廉。要使工作可靠, 零件就应具有足够的强度、刚度、寿命和振动稳定性等。要使成本低廉, 应正确选择材料, 赋予零件合理的尺寸及良好的工艺结构, 合理地确定精度等级和技术条件, 等等。

1. 机械零件的工作能力准则

机械零件由于某些原因而不能正常工作, 称为失效。其主要失效形式有: 断裂、过量变形、磨损、表面疲劳等。为防止零件产生各种可能的失效, 制定的计算该零件工作能力所应依据的基本原则, 称为工作能力准则或设计准则。机械零件常用的设计准则如下:

(1) 强度准则 强度是指零件在载荷(力)作用下, 抵抗断裂、塑性变形及表面破坏的能力。它是机械零件首先应满足的基本要求。强度准则为零件中单位面积上的力(即应力 σ)小于所允许的限度(即许用应力 $[\sigma]$), 其表达式为: $\sigma \leq [\sigma]$ 。

(2) 刚度准则 刚度是机械零件受载后抵抗弹性变形的能力。刚度准则为零件在载荷作用下产生的弹性变形量 γ , 小于或等于机器工作所允许的极限值, 即许用变形量 $[\gamma]$, 其表达式为: $\gamma \leq [\gamma]$ 。

(3) 寿命和可靠性准则 影响零件寿命的主要因素是磨损、腐蚀和疲劳。按磨损和腐蚀计算寿命, 目前尚无实用的计算方法和数据。关于疲劳寿命, 通常是求出使用寿命时的疲劳极限作为计算依据。

可靠性是保证机器或零件正常工作的关键。可靠性的定量尺度是可靠度, 它是指机器或零件在规定的条件下和规定的时间内, 无故障地完成规定功能的概率。

(4) 振动稳定性准则 零件发生周期性变形的现象称为振动。当机器或零件的自振频率与周期性干扰力的频率相等或成整倍数关系时, 就要发生共振, 它不仅影响机器的运转质量和工作精度, 甚至会造成事故。通常称这种共振现象为失去振动稳定性。所谓振动稳定性, 就是在设计时必须使自振频率远离干扰力频率, 以避免产生共振。为此, 可用增加或减少零件的刚度、增添弹性零件等办法解决。

此外, 还有经济性和工艺性准则等。零件的经济性, 就是要用最低的成本和最少的工时, 制造出满足技术要求的零件。它与材料选择、零件的结构工艺性和标准化有着密切的关系。

2. 机械零件的结构工艺性

零件的良好结构工艺性,是指在既定的生产条件下能方便而经济地生产出来,并便于装配成机器的特性。关于工艺性的基本要求是:

(1) 合理选择零件的毛坯种类 零件的毛坯种类主要有轧制型材、铸件、锻件、冲压件和焊接件等。毛坯选择合理与否,对零件的工作能力和经济性有很大影响。毛坯的选择与对零件的要求及生产条件有关,可根据生产批量、零件的尺寸和形状、材料性能和加工可能性等进行选择。

(2) 零件的结构要简单合理 零件的毛坯种类确定后,就必须按毛坯特点进行结构设计。同时,还应考虑采用最简单表面及其组合,尽量减少加工表面的数量和加工面积等,以减少比较昂贵的切削加工量。此外,零件的结构应便于装拆和调整。

(3) 规定合理的精度及表面粗糙度 随着零件加工精度的提高,加工费用将相应地增加,高精度时尤甚。因此,在没有充分的技术理由时,不应盲目规定高的精度。同样,零件表面粗糙度也应根据配合表面的实际需要,作出适当的规定。

3. 机械零件的标准化

所谓标准,就是由一定的权威组织,对经济、技术和科学中重复出现的技术语言和技术事项,以及产品的品种、质量、度量、方法等方面,规定出来的统一技术准则。它是各方面必须共同遵守的技术依据。标准化就是制定标准和使用标准。在我国,标准分为国家标准(GB)、部颁标准(专业标准)、企业标准等三级。我国已是国际标准化组织成员,可借鉴国际标准化组织(ISO)标准,出口产品应采用国际标准。标准化是我国很重要的一项技术经济政策,如无特殊需要,设计和生产必须采用各种标准。

按规定标准生产的零件,称为标准零件,如螺纹联接件、键、滚动轴承等,否则称为非标准零件。

标准化的重要意义为: 1) 便于采用先进工艺进行专业化大量生产,以提高产品质量并降低成本。2) 采用标准件将大大减少设计和制造工作量,缩短设计和制造周期。3) 标准零件具有互换性,可减少储备和便于更换损坏的零件。4) 技术条件与检验方法的标准化,可提高零件的质量和可靠性。

4. 机械零件设计的一般步骤

机械零件的设计常按下列步骤进行: 1) 根据零件的使用要求,选择零件的类型和结构。2) 拟定零件的计算简图,计算作用在零件上的载荷。3) 根据零件的工作条件,选择适当的材料和热处理方法。4) 根据零件可能的失效形式确定计算准则,根据计算准则进行计算,确定出零件的基本尺寸。5) 根据工艺性及标准化等原则,进行零件的结构设计。6) 绘制零件工作图,写出计算说明书。

因此,围绕机械的设计,本课程安排了工程材料及热处理、力和应力分析、常用机构、机械传动、轴系零部件和联接零件、公差与配合、液压传动等内容。

二、机械制造概述

将设计好的机器和机械零件,经过试制和全面的技术经济分析鉴定后,投入生产进行制造。其制造过程通常是先用铸造、压力加工或焊接等工艺方法,制成毛坯,再进行切削加工,得到所需的零件。为了改善零件的某些性能,在零件制造过程中,常需进行热处理。最后将制成的各种零件加以装配和试验,即成为机器。所以,任何一种机械产品的生产过程,

大都可分为毛坯制造、零件的机械加工和装配试验三个阶段。

用各种工艺方法获得的毛坯仅具有零件的雏形,而零件的最后形状和技术要求一般需经机械加工而获得,所以机械加工工艺是获得一定形状、尺寸和精度的零件的主要手段。在一般情况下,它是各种机械生产过程的中心问题和决定性环节。

由于零件制造工艺过程的复杂性,所以必须在了解材料性能、热处理方法、公差与配合、毛坯制造工艺和金属加工方法等知识的基础上,对金属切削加工原理及切削加工过程的工艺方法,所用刀具、夹具和机床(即制造机器的机器)等方面的基本知识,进行必要的介绍,以便对机械制造有比较全面的认识和理解。

§ 0-3 本课程的性质、目的、任务和学习方法

一、本课程的性质、目的和任务

机械基础是一门技术基础课。它在培养非机械类专业,如化工、土建、电子等各种工程技术人才掌握机械的基本知识方面,起着一定的作用,是必不可少的课程。

随着社会主义建设事业的蓬勃发展,生产过程机械化、自动化水平不断提高,机械设备在各个行业中得到了广泛的应用。对于从事各方面工作的工程技术人员来说,在生产管理中,必然会遇到机械设备的管理问题;在生产过程中,必然会遇到机械设备的正确使用、维护和充分发挥其效能的问题;在技术革新和改造中,也必然要相应地解决有关机械设备方面的问题;从现代技术发展看,学科的相互渗透越益频繁越益重要。总之,为了保证生产的正常进行、不断地改进工艺和提高技术水平,各种专业的工程技术人员,都必须掌握有关机械方面的基本知识。

本课程的任务和要求是:

- (1) 了解机械常用工程材料和热处理的基本知识。
- (2) 掌握物体的受力分析与平衡条件、了解杆件基本变形和应力分析的基本概念和方法。
- (3) 掌握机械传动中常用机构和主要通用零部件的类型、工作原理、特点、应用及简单计算,并具有运用和分析简单传动装置的能力。
- (4) 了解液压传动中常用液压元件及典型基本回路的工作原理、特点和应用,并具有阅读简单液压系统图的初步能力。
- (5) 了解公差配合与互换性的有关基本概念。了解常用金属切削加工方法及所用设备、工艺装备的工作原理、结构和应用;了解简单零件的毛坯和机械加工工艺过程的概况。

二、本课程的学习方法介绍

要学好本课程,首先要给予必要的重视,提高学习本课程的兴趣。

“机械基础”是关于机械设计和机械制造的一门综合性课程。它涉及知识面很广,应用和实践性极强,重要的是如何将诸多知识综合运用,提高分析问题、解决问题的能力。所以学习时要勤于观察各种机械和零件,结合课程内容多思考,主动地理论联系实际,增加感性知识,以有助于本课程的学习。在学习过程中,要多做练习和简单设计,加深对所学内容的

理解。

此外,本课程理论性强,且计算较多。学习时要注意逐步培养抽象思维能力和计算思维方法。例如,一般机械的组成和结构都较复杂,在分析运动时常撇开复杂的外形和结构,将其抽象化为运动简图或液压系统图,在进行力分析时则抽象化为简单的力学模型等。

复习思考题与习题

- 0-1 一般机器主要由哪些部分组成?各部分的作用是什么?试举例分析说明。
- 0-2 试简述机械零件的几种主要失效形式和设计准则。
- 0-3 何谓标准化,标准化的意义是什么?
- 0-4 学习本课程的目的要求是什么?

第一章 机械常用工程材料及钢的热处理

材料是人类社会发展的重要物质基础，它是现代科学技术和生产发展的重要支柱之一。工程材料通常可分为金属材料、陶瓷材料和高分子材料三大类。在现代工业中，特别是在各种机械设备中，目前应用最多、最广的仍然是金属材料，约占整个用材的80%~90%。

材料的使用性能与其成分、组织及加工工艺密切相关，尤其是金属材料，可通过不同的热处理方法来改变金属的表面成分和内部组织结构，以获得不同的性能，从而满足不同的使用要求。因此，机械设计和制造的重要任务之一，就是合理地选用材料和正确制定材料的加工工艺。

§ 1-1 金属材料的力学性能及工艺性能

工业上使用的金属材料主要是合金，而纯金属应用较少（价贵且强度较低）。所谓合金，是指由两种或两种以上的元素（其中至少有一种是金属元素）所组成的具有金属性质的物质。如碳钢是由铁和碳组成的合金；黄铜是铜和锌的合金等。金属与合金统称为金属材料。

金属材料的性能包括使用性能和工艺性能两大类。使用性能包括力学性能、物理性能和化学性能等；工艺性能是指铸造性、锻造性、焊接性、热处理性能和切削加工性等。

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，通常又称为机械性能。它的主要指标是强度、塑性、韧性、硬度和疲劳强度等。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

前已述及，强度是指材料在载荷（外力）作用下抵抗变形和破坏的能力。抵抗外力的能力越大，则强度越高。根据受力情况的不同，材料的强度可分为抗拉、抗压、抗弯曲、抗扭转和抗剪切等强度。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极限 σ_s 和抵抗破坏能力的强度极限 σ_B 。

塑性就是材料塑性变形的能力，其指标为伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 。 δ 和 ψ 值愈大，材料的塑性愈好。伸长率 δ 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（%）。

要测定材料的强度和塑性，通常是将材料制成标准试样（GB 228—76），在材料万能试验机上进行测定。关于强度、塑性及其测定将在第三章中进一步深入研究。

2. 硬度

硬度是材料抵抗其他更硬物体压入其表面的能力，它是衡量金属材料软硬的指标。材料的硬度值与强度值之间有一定的经验关系，如对钢 $\sigma_B \approx 0.35 \times \text{HBS}(\text{MPa})$ 。此外，硬度还与材料的耐磨性和某些工艺性能有关。因此，它是表征金属材料力学性能的一个很重要的指标。

测定金属材料硬度的方法很多，常用的是布氏硬度试验和洛氏硬度试验。

(1) 布氏硬度及其测定 布氏硬度的测定是在布氏硬度试验机上进行的，测定方法见图1-1。用直径为 D 的硬球体，以规定载荷 F 压入被测材料的表面，保持一定时间后卸除载荷，测定压痕直径，求出压痕球形的表面积，计算出单位面积上所受的壓力值作为布氏硬度值，即

$$\text{布氏硬度 HBS} = \frac{F}{A} = \frac{F}{\pi D h} = 0.102 \times \frac{2 F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1-1)$$

式中 F ——所加载荷(N)；

A ——压痕球形表面积(mm^2)；

D ——球形压头直径(mm)；

d ——压痕直径(mm)；

h ——压痕深度(mm)，根据几何关系， $h = \frac{D}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{D^2 - d^2}$ 。

由上式可知，当试验载荷和球体直径一定时，压痕直径 d 越小，则布氏硬度值越大，即材料的硬度越高。在实际应用中，只要测出压痕直径 d ，就可在专用的表中查出相应的布氏硬度值。

布氏硬度多适用于测定未经淬火的各種鋼、灰鑄鐵和有色金屬的硬度。對於硬度 $> 450 \text{ HBS}$ 的金屬材料不適用。由於布氏硬度壓痕面積大，故測量精度較高且試驗數據穩定。但不宜用於較薄的零件及成品零件的硬度檢驗。

(2) 洛氏硬度及其測定 洛氏硬度的測定是在洛氏試驗機上進行的。它是以錐頂角為 120° 的金刚石圓錐體，或直徑為 $1.5875 \text{ mm} \left(\frac{1}{16} \right)$ 的淬火鋼球為壓頭，以一定的

載荷壓入被測金屬材料的表面層，然後根據壓痕的深度確定洛氏硬度值。測試原理見圖1-2。在相同的試驗條件下，壓痕深度越小，則材料的硬度值越高。

實際測量時，為了減少因材料（試樣）表面不平而引起的誤差，應先加初載荷，後加主載荷，並可在洛氏硬度試驗機的刻度盤上，直接讀出硬度值。

根據被測材料、選用的壓頭類型和載荷的不同，常用的洛氏硬度有 HRA、HRB 和 HRC 三種，它們的試驗條件和應用範圍見表1-1。其中以 HRC 應用最廣。

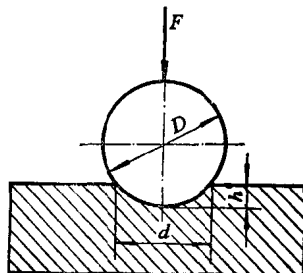


圖1-1 布氏硬度試驗原理示意圖

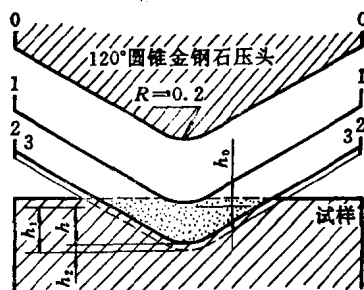


圖1-2 洛氏硬度試驗原理圖

表1-1 常用洛氏硬度的試驗條件和應用範圍

硬度符號	所用壓頭	測量範圍 (硬度)	總載荷(N)	應 用 舉 例
HRA	金刚石圓錐	70~85	588.4(60kgf)	碳化物、硬質合金、淬火工具鋼、淺層表面硬化鋼
HRB	$\phi 1.5875 \text{ mm}$ 鋼球	25~100	980.7(100kgf)	軟鋼、銅合金、鋁合金
HRC	金刚石圓錐	20~67	1471.1(150kgf)	淬火鋼、調質鋼、深層表面硬化鋼

与布氏硬度相比,洛氏硬度试验操作简单、方便、迅速,且压痕较小,所以可在零件表面和较薄的金属上进行检验。选用不同的压头和载荷,可测出从软到硬不同材料的硬度。通常多用于测定较硬材料的硬度。

洛氏硬度与布氏硬度 ($>220\text{HBS}$ 时) 有如下近似关系:

$$1\text{HRC} \approx 10\text{HBS}$$

3. 韧性和疲劳强度

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或周期性有规律的变载荷。这些载荷比静载荷的破坏能力要大得多,所以不能用金属材料在静载荷下的性能,来衡量材料抵抗冲击和变化载荷的能力。因此,常用韧性和疲劳强度分别表示材料抵抗冲击载荷和变化载荷的能力。

(1) 韧性 在冲击载荷作用下,金属材料抵抗破坏的能力。常用试样破坏时所消耗的功来表示。

冲击韧性测定方法(图1-3)是:将待测材料制成标准缺口试样(图1-3a)。把试样放入试验机支座c处,使一定

重量G的摆锤自高度 h_1 自由落下,冲断试样后摆锤升到高度 h_2 ,则冲断试样所消耗的冲击功 $W_k = G(h_1 - h_2)$ 。这可由冲击试验机的刻度盘上指示出来。

常用的冲击韧性值 a_k 是试样缺口处单位面积A所消耗的冲击功,即

$$a_k = W_k / A \quad (1-2)$$

a_k 值越大,表示材料的韧性越好,在受到冲击时越不容易断裂。

(2) 疲劳强度 在规律性变化应力的长期作用下,材料抵抗破坏的能力。显然,材料的疲劳强度的大小与应力的变化次数有关。

疲劳强度用 σ_{-1} 表示,它与强度极限大致有如下的经验关系,钢: $\sigma_{-1} \approx 0.5\sigma_B$; 铸铁: $\sigma_{-1} \approx 0.4\sigma_B$; 有色金属: $\sigma_{-1} \approx (0.3 \sim 0.4)\sigma_B$ 。

二、金属材料的工艺性能

金属材料的工艺性能,系指金属材料所具有的能够适应各种加工工艺要求的能力。工艺性能实质上是机械、物理、化学性能的综合表现。金属材料常用铸造、压力加工、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

铸造是将熔融金属浇注、压射或吸入铸型型腔中,待其凝固后而得到一定形状和性能铸件的方法。由此可知,铸造性能是指浇注时液态金属的流动性、凝固时的收缩性和偏析倾向等。流动性好的金属材料有良好的充满铸型的能力,能够铸出大而薄的铸件。收缩是指液态金属凝固时体积收缩和凝固后的线收缩,收缩小可提高液态金属的利用率,减小铸件产生变形或裂纹的可能性。偏析是指铸件凝固后各处化学成分的不均匀,若偏析严重,将使铸件的

力学性能变坏。在常用的金属材料中，灰铸铁和青铜有良好的铸造性能。

2. 锻造性

金属材料的锻造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、挤压等形变加工，表现出良好的锻造性。钢的锻造性与化学成分有关，低碳钢的锻造性好，碳钢的锻造性一般较合金钢好。铸铁则没有锻造性。

3. 焊接性

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，能否获得质量良好焊缝的性能。焊接性能好的材料，易于用一般的焊接方法和工艺进行焊接，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。焊接性能差的材料要用特殊的方法和工艺进行焊接。因此，焊接性影响金属材料的应用。

通常，可从材料的化学成分估计其焊接性能。在常用金属材料中，低碳钢有良好的焊接性、高碳钢和铸铁焊接性较差。

4. 切削加工性

切削加工性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，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150~250HBS时，有较好的切削加工性。硬度过高，刀具寿命短或甚至不能切削加工；硬度过低，不易断屑，容易粘刀，加工后的表面粗糙。灰口铸铁具有良好的切削加工性。

§ 1-2 金属及合金的结晶

金属材料的性能不仅决定于它们的化学成分，而且还决定于它们的内部组织结构。例如，含碳量不同的钢，强度、硬度、塑性各异。即使化学成分相同，组织结构不同时其性能也会有很大的差别。例如，含碳量为0.8%的高碳钢加热到一定温度后，在炉中缓慢冷却，硬度很低，约为150HBS；在水中冷却，硬度则高达HRC60~62。这种性能的差别是由于两种冷却方法所获得的组织不同所造成。可见，要正确选择和使用材料，必须了解金属材料的组织结构及其对性能的影响。

一、金属材料的晶体结构

1. 晶体、晶格、晶胞的概念

固体物质中原子排列有两种情况：一是原子呈周期性有规则的排列，这种物质称为晶体。二是原子呈不规则的排列，这种物质称为非晶体。固态金属及合金一般都是晶体，如图1-4a所示。为了便于分析各种晶体中原子排列的规律性，可用一些假想的线条将各原子中心连接起来，使之构成一个空间格子，此空间格子称为晶格。晶体中每个原子都处于空间格子的结点上(图1-4b)。取晶格中一个最基本的几何单元来表明原子排列的规律性(晶格形式特征)称为晶胞，如图1-4c所示。

2. 常见的金属晶格

(1) 体心立方晶格 体心立方晶格的晶胞是一个立方体(图1-5a)，在立方体的八个

顶角上和立方体的中心处各有一个原子。具有这种晶格的金属有 α -Fe、Cr、W、Mo、V 等。

(2) 面心立方晶格 面心立方晶胞也是一个立方体，在立方体的八个顶角和六个面的中心各有一个原子（图1-5 b）。具有面心立方晶格的金属有 Al、Cu、 γ -Fe、Ag、Au、Ni 等。

显然，面心立方晶格较体心立方晶格的原子排列紧密。各种晶体物质，由于原子结构和原子间结合力不同，其晶格形式不同，因而物理、化学和机械性能也各异。

3. 实际金属的组织结构

晶体内部晶格方位完全一致的晶体，称为单晶体，它具有各

向异性的特征。前面所述的晶体结构是理想的单晶体结构，而金属材料大都属于多晶体，它是由许多方位各不相同的单晶体块组成的，如图 1-6 所示。每个单晶体的外形为不规则的颗粒状，通常把它称为“晶粒”。晶粒之间的分界面叫晶界。多晶体的性能是各不同方位单晶块的统计平均性能，因而显示出各向同性。

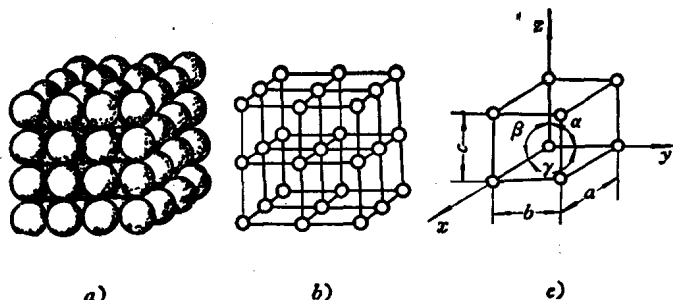


图1-4 晶体的模型

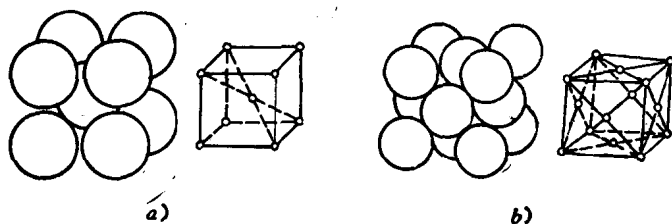


图1-5 立方晶格

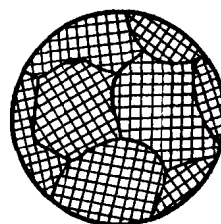


图1-6 金属多晶体的示意图

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。如晶界的抗腐蚀性差、熔点低等。

二、金属的结晶过程

液态金属冷却到凝固温度时，原子由无序状态变为按一定的几何形状作有序排列。金属由液态转变为固态而形成晶体的整个过程，称为结晶。

1. 金属的冷却曲线与过冷度

纯金属的结晶是在一定温度下进行的，这个温度称为结晶温度。每种金属都有一定的理论结晶温度，常用 T_0 表示。金属的结晶过程可用冷却曲线（图1-7）表示。纯金属的冷却曲线有一水平段，对应的温度为实际结晶温度 T_s 。由于结晶潜热的释放使结晶温度保持不变，直至全部结晶成固态金属为止，温度才继续下降。实验证明，纯金属的实际结晶温度总是低于理论结晶温度，这一现象称为“过冷”。过冷度 $\Delta T = T_0 - T_s$ 。

过冷是金属结晶的必要条件，但结晶时的过冷度不是一个恒定值，它与冷却速度有关。冷却速度越大，结晶时的过冷度也越大。一般工业金属的过冷度不超过 $10 \sim 30^\circ\text{C}$ 。

2. 结晶过程

大量的实验证明, 结晶是由三个密切联系的基本过程实现的, 即 (1) 孕育: 在金属液体内部形成与固体结构相同的小晶胚; (2) 生核: 在过冷金属液体中一定尺寸的晶胚成为结晶的核心——晶核 (有规则排列的原子集团); (3) 长大: 每一晶核吸收其周围的原子呈有规则排列而逐步长大为一小晶体, 直至全部晶体扩大到相互接触, 液体金属完全消失, 结晶即告完毕。最后形成许多大小不一, 外形不规则的晶体。图 1-8 为结晶示意图。但要注意, 结晶的三个基本过程是同时进行的, 主要是晶核不断生成和不断长大的过程。

3. 影响晶粒大小的因素

由前述可知, 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。过冷度和难熔杂质是影响晶粒大小的两个主要因素。提高冷却速度, 增大过冷度, 可使晶粒变细。难熔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熔固态物质的方法, 增加晶核数目, 细化晶粒。难熔的固态物质称为“孕育剂”, 这种处理方法称为“孕育处理”或“变质处理”。

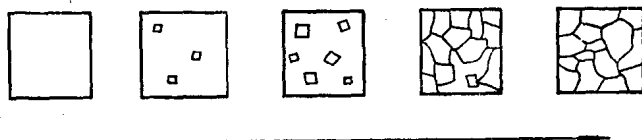


图1-8 结晶过程示意图

4. 晶粒大小与力学性能的关系

晶粒大小对金属材料的力学性能有很大影响。晶粒细小, 强度、硬度较高, 塑性、韧性较好。晶粒粗大, 则力学性能明显下降。

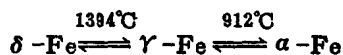
三、金属的同素异构转变

多数金属结晶后的晶格类型都保持不变, 但有些金属 (铁、锰等) 在固态下晶格结构会随温度的变化而发生改变。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。

金属的同素异构转变是原子重新排列的过程, 实际上是一个重新结晶的过程, 亦应遵守前述结晶的一般规律。

铁是具有同素异构转变的金属。固态的铁有两种晶格, 出现在不同的温度范围内。由图 1-9 所示铁的冷却曲线中可知, 在 $1538 \sim 1394^{\circ}\text{C}$ 之间具有体心立方晶格, 称为 $\delta\text{-Fe}$; 在 $1394 \sim 912^{\circ}\text{C}$ 之间具有面心立方晶格, 称为 $\gamma\text{-Fe}$; 912°C 以下为体心立方晶格, 称为 $\alpha\text{-Fe}$ 。

同素异构转变过程是可逆的, 故可将纯铁的同素异构转变概括如下:



正是由于纯铁能够发生同素异构转变, 生产中才有可能用热处理的方法来改变钢和铸铁的组织 and 性能。