

经济管理院校试用教材

机械制造概论

全国经济管理院校
工业技术学研究会 编

上海科学技术出版社

经济管理学院试用教材

机械制造概论

全国经济管理学院
工业技术学研究会^编

上海科学技术出版社

内 容 提 要

本书系统扼要地介绍了机械工业部门生产的基本规律;从管理学的角度论述了各基本生产过程的规律及其内在联系,侧重描叙各工艺过程、工艺方案与方法的技术经济分析及其应用;同时对技术发展方向作了一定的论述。

本书内容包括:金属材料及热处理、铸造生产、锻压生产、焊接生产、金属切削基础知识、金属切削机床、金属切削加工工艺装备、金属切削加工工艺规程、装配等九章。

本书可作为经济管理院校经济类各专业的教材,并可供工业及企业管理干部参考。

经济管理院校试用教材

机械制造概论

全国经济管理院校
工业技术学研究会 编

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

新华书店上海发行所发行 上海商务印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 17.5 字数 418,000

1985年11月第1版 1985年11月第1次印刷

印数: 1—25,700

统一书号: 15119·2453 定价: 3.15 元

前 言

经中央有关领导部门批准成立的全国经济管理院校工业技术学研究会,是经济管理院校从事工业技术学教学和科研工作者的全国性学术组织,其任务是统一组织从事工业技术学教学、科研工作者交流、研究该学科在教学和科研方面的经验和成果,推动学科的发展,促进课程的建设与改革。

经济管理院校开设工业技术学课程的专业很多,包括:工业经济,工业企业管理,管理工程,物资管理,基本建设经济,国民经济计划,工业统计,工业会计,财政,金融,物价,劳动经济,政治经济等。根据经济类专业的要求,工业技术学课程在课程设置、内容选择及教学法等各方面与工科专业有明显不同的特点,在总体上它要反映工业生产的一般或典型的规律,具体则要反映各有关工业部门生产技术的基本规律,包括:部门特点,生产过程及其组织,工艺方法、原理及其选择等。选材上特别强调要从组织、管理者的角度突出组织及经济分析的研究和论述,内容上既要有适合经济工作者需要的广度,又要求具有管理工作者的要求的一定深度。

尽管经济类各专业的教学计划在工业技术学课程设置的门数上有所不同,而在开设同一课程的学时分配上仍较接近。但从全国经济管理院校来说,至今尚缺乏一套适合于经济管理专业要求的统一教材,为了适应当前各类经济管理院校以及其他各种形式在职经济管理人员学习本课程的需求,一九八三年一月于江西南昌召开了全国经济管理院校工业技术学教材编写会议,统一研究并组织了四本教材即《机械制造概论》、《钢铁生产概论》、《电工电力概论》、《电子技术概论》的编写工作,并于同年五月至八月分别于南京、大连、成都和长春集中讨论制订了各课统一大纲,并确定各书的编写分工。

担任《机械制造概论》编写的有:南京大学冯禾毓、胡树椿,湖南财经学院杨渝程,中国人民大学杨国良、王思敦,内蒙古财经学院江涛,北京经济学院张仁侠,暨南大学张佩卿,四川财经学院刘惠蓉,天津财经学院王长年,辽宁财经学院顾德瑞,云南大学章永真,辽宁大学张步新,江西财经学院谌东荻,陕西财经学院张义文。

本书由中国人民大学杨国良主编,南京大学胡树椿、冯禾毓,天津财经学院王长年为编委,北京经济学院吴泰明主审。

参加本书大纲和初稿讨论的有:吉林工业大学陈联民,江西财经学院李振球,贵州财经学院王学锐,杭州电子工业学院曾晓华、王一云、郑光政,郑州航空工业管理专科学校来守正,河北经济管理干部学院祖培基,湖南财经学院周延鲸,陕西财经学院杨芝英,中国人民大学田威、蒋河。

由于我们水平有限,编写时间仓促,有不妥和错误之处,恳请读者批评指正。

全国经济管理院校
工业技术学研究会
一九八五年三月

目 录

绪论	1
第一章 金属材料 and 热处理	3
第一节 金属材料的性能和经济性	3
第二节 金属的晶体结构和结晶	8
第三节 铁碳合金	17
第四节 钢的热处理	26
第五节 常用材料	38
第二章 铸造生产	51
第一节 概述	51
第二节 造型材料	53
第三节 铸型制造	58
第四节 铸造合金和熔炼	71
第五节 铸件的落砂、清理和检验	83
第六节 特种铸造	84
第三章 锻压生产	92
第一节 金属的塑性变形	92
第二节 金属的加热	94
第三节 自由锻造	96
第四节 模型锻造	102
第五节 板料冲压	106
第六节 锻压新工艺及粉末冶金	110
第四章 焊接生产	115
第一节 概述	115
第二节 电弧焊	117
第三节 气焊与气割	124
第四节 其他焊接方法	127
第五节 常用金属材料的焊接性	131
第六节 焊接成本计算	132
第五章 金属切削基础知识	133
第一节 切削运动、切削用量和切削工时	133
第二节 车刀的几何形状和刀具材料	136
第三节 切削过程	141
第四节 加工精度和表面粗糙度	148
第六章 金属切削机床	153
第一节 概述	153

第二节 通用机床	171
第三节 特种加工机床	204
第四节 高效机床及自动线	207
第七章 金属切削加工工艺装备	217
第一节 概述	217
第二节 量具和量仪	218
第三节 机床夹具	221
第八章 金属切削加工工艺规程	230
第一节 概述	230
第二节 金属切削加工工艺过程的概念	231
第三节 金属切削加工工艺规程的制定	238
第四节 典型零件的工艺过程	253
第五节 成组技术	257
第六节 工艺方案技术经济分析	262
第九章 装配	269
第一节 概述	269
第二节 获得装配精度的方法	270
第三节 装配生产的组织形式	272

绪 论

一、机械制造业及其在国民经济中的地位

工业部门的内部结构按照工业生产的一般流程可以划分为：能源工业，材料工业和加工制造业。机械制造业属于其中的加工制造业，是比较典型和具有一定代表性的行业。

机械制造业通常简称机械工业，它是为国民经济各个部门包括工业、农业、交通运输业、商业以及国防、科学技术等各行各业提供技术装备的部门，它是各部门实现技术改造和进行现代化建设所不可缺少的重要支柱。

机械工业的任务是通过加工制造获得各种各样的技术装备，从广义上说它包括生产资料和生活资料。大至成套设备如成套火力发电设备、大型露天矿成套设备、钢铁联合企业成套设备等，小至仪器仪表、民用电器产品以及各种标准件等。

由于上述任务，机械工业在国民经济中占有极为重要的地位。按照产业结构的划分，其年生产总值占产业部门的第一位，按社会总产值计约占18%，按工农业总产值计约占24%，按工业总产值计则约占30%，为冶金工业的3倍，电力工业的8倍，轻纺工业的2~3倍。机械工业在实现现代化建设和工农业总产值高速增长的进程中肩负着为发展国民经济和提高人民生活水平提供适用的先进机械产品的艰巨任务。因此，机械工业要不断依靠技术进步，即通过技术开发、技术引进、技术推广和技术改造来提高技术水平；同时不断改善管理水平，通过改善产品质量、发展品种和提高经济效益来适应国民经济发展的需要和加快自身的发展。

二、课程的目的、任务和方法

本课程是经济类专业的技术基础课程，学习本课程的目的，一方面是为学习经济管理专业课建立必要的生产技术基础，另一方面又为今后工作实践的需要服务。通过本课程和其他工业生产技术课程的学习，使读者能够掌握研究一般生产技术问题的规律和思路，便于更容易地去掌握其他工业部门的生产技术知识。

本课程结合机械工业生产的特点，主要是研究由原材料经过制造完成机械产品的过程和方法的规律。尽管机械工业所服务的对象涉及到各行各业，其产品种类极其繁多，但从产品的整体而言，一般来说都遵循着共同的生产规律，即大都是经由原材料→毛坯制造→加工制造→装配等过程，上述过程的每一阶段又都存在着一系列相应的工艺方法，从经济管理者的角度来学习机械制造，一方面要掌握生产的一般规律，同时应该进一步研究掌握如何根据不同的生产条件来合理地选择不同的工艺方案和方法，以便使生产取得更大的技术经济效益。

本课程应按照上述目的和任务来组织教学，介绍机械工业部门生产的基本规律、各基本生产过程及其内在联系，对工艺方案、方法进行技术和经济的分析论证，对工艺结构或原理作必要的阐述。

根据上述要求,在有条件的情况下,应在课程之前安排认识性的教学实习1~2周,以建立必要的感性知识,教学实习可按照课程内容将重点和一般结合进行。教学中间要结合不同阶段的内容,进行必要的现场教学,使课堂知识与实践有机地结合,以提高教学效果。对课程中涉及到的某些现场不容易集中或较难解决的部分,如材料性能、组织以及某些新工艺,如特种铸造等,应创造条件利用校内外实验手段加以补充,同时应尽量利用实物、模型、电视教学片等进行教学,以期取得较好的效果。

第一章 金属材料和热处理

常用材料包括钢铁、有色金属、有机材料(高分子合成树脂,工程塑料等)、无机非金属材料(玻璃钢,耐蚀耐磨陶瓷等)和新型材料(功能材料,新型高分子材料等),它是机械工业、国防工业和科学技术发展所不可缺少的基础。

了解材料的性能、特点、应用及发展,对作好选材、用材、节材工作具有重大意义。

在常用材料中,金属材料(钢铁、有色金属)占有主要的地位。这是因为它具有良好的使用性能(物理性能、化学性能和机械性能)、工艺性能和经济性,而且金属材料的品种繁多,性能各异,便于广泛的选用。

随着科学技术的发展,各种金属材料的原始性能不能完全满足越来越高的要求,人们常用热处理的方法来改善和提高它的性能,使之较好的符合加工和使用的要求。热处理实际上是通过金属对金属材料采取不同的加热、保温和冷却的方法来改变其组织,从而使其性能发生变化的一种加工工艺。

在机械制造行业中,既要使材料能顺利地加工成为零件,又要保证零件在使用中安全可靠。为此,我们必须对导致材料性能差异的金属晶体结构及其变化规律加以研究,以便在生产实践中尽量经济合理地选用金属材料,以充分发挥其潜力,延长零件的使用寿命,并降低成本。

第一节 金属材料的性能和经济性

金属材料的性能分为物理性能、化学性能、机械性能和工艺性能。它们是选用材料和制订各种加工工艺的重要依据。

一、物理性能和化学性能

金属材料的物理性能是指密度、熔点、热膨胀性、导热性、导电性和磁性等。化学性能主要是指耐蚀性和耐酸性等。

由于机械零件的用途不同,对其物理性能的要求也有所不同。例如,飞机为了减轻自重,需要选用比重小的铝合金材料来制造零件。又如,熔点高的合金可用来制造耐热零件,而熔点低的合金则用来制造焊锡和保险丝等。物理性能对制订加工工艺亦有重要影响,如熔点是制定铸造、熔炼工艺的依据之一。

金属及合金抵抗周围介质(大气、水汽及各种电介质)侵蚀的能力叫做耐蚀性。在化工设备中,机械零件经常在腐蚀性介质中工作,因此防止腐蚀对于延长设备寿命、节约金属材料、降低成本具有重要的意义。一般可在钢中加入合金元素制成不锈钢或对钢表面进行化学热处理,以提高其耐蚀性,也可以用油漆、电镀等方法防腐蚀。

二、机械性能

由金属材料制成的各种零件或工具,在制造和使用过程中,都会受到各种形式的外力作

用,如轴类零件受弯曲力和扭力的作用等。

金属材料在外力作用下表现出来的特性称为机械性能,它可分为强度、硬度、塑性、冲击韧性等。

(一) 强度

金属材料在外力作用下,抵抗产生塑性变形和断裂的能力称为强度。

材料的强度越高,所能承受的外力也越大。根据外力作用的性质,材料强度可分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度等。工程上最常用的是抗拉强度。

测定金属材料的抗拉强度,普遍采用拉伸试验法。先将材料制成一定形状和尺寸的试样(图 1-1(a)),将它安装在拉伸试验机上,然后缓慢地对试样两端施加轴向拉力,观察并测定由所加外力引起的长度变化,直到试样拉断为止。如所测试样是低碳钢,其拉伸时拉伸试验机所测绘的外力与试样伸长量的对应关系曲线如图 1-2 所示,通常称其为拉伸曲线。

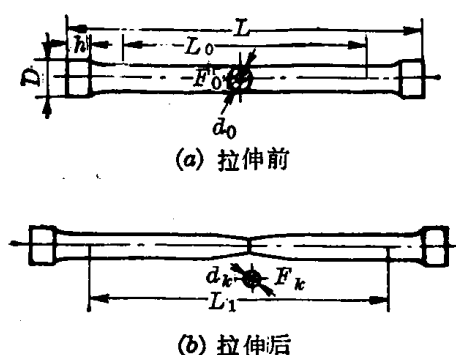


图 1-1 拉伸试样

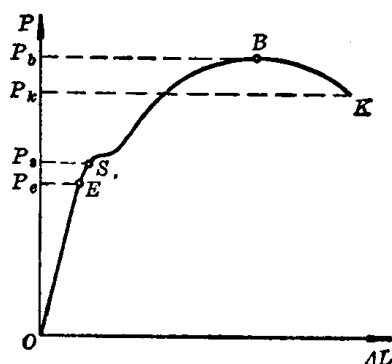


图 1-2 低碳钢拉伸曲线

从图 1-2 拉伸曲线中可以看到 OE 是直线,即在外力不超过 P_0 时,外力与变形量成正比。这时试样只产生弹性变形,在外力去除后其变形可完全恢复。

当外力超过 P_0 时,试样不但产生弹性变形,而且还产生塑性变形(永久变形),即在外力去除后,其变形不能得到完全的恢复,有一部分变形被保留下来。这种不能恢复的变形叫做塑性变形。如继续增加拉力,达到 P_s 时,即使外力不再增加,试样仍然继续伸长(表现在曲线上的水平线段),这种现象称为“屈服”。屈服后,试样开始产生较大的塑性变形。

外力继续增加到最大值 P_b 后,试样截面局部开始变细,产生了“缩颈”(图 1-1(b))。因为截面变小,继续变形所需的外力下降,变形伸长量迅速增大,至 K 点时试样在缩颈处断裂。

金属材料的强度指标用应力的形式来表示。当金属材料受外力作用时,其内部也产生抵抗力,单位截面积上的抵抗力称为应力 σ ,应力的单位为 MPa (兆帕)和 Pa (帕)(工程单位制的应力单位为 kgf/mm^2 (公斤力/毫米²), $1 \text{ kgf/mm}^2 \approx 10 \text{ MPa} = 10^7 \text{ Pa}$)。应力 σ 的计算公式为:

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

式中 P ——外力, N (牛顿);

F ——截面积, mm^2 。

常用的强度指标有弹性极限、屈服极限和强度极限。

1. 弹性极限 金属材料能保持弹性变形时的最大应力,以 σ_e 表示,其计算公式为:

$$\sigma_e = \frac{P_e}{F_0} (\text{MPa})$$

式中 P_e ——弹性极限外力, N;
 F_0 ——试样原始截面积, mm^2 。

2. 屈服极限(屈服强度) 金属材料开始产生屈服时的应力, 以 σ_s 表示。其计算公式为:

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

式中 P_s ——屈服极限外力, N。

金属材料中只有低碳钢和中碳钢等少数金属有屈服现象, 大多数金属材料都没有明显的屈服点。因此, 对这些金属材料, 规定以产生 0.2% 塑性变形时的应力作为屈服强度, 以 $\sigma_{0.2}$ 表示。

屈服强度是绝大多数机械零件设计时的重要依据, 所以它是最重要的机械性能指标之一。

灰口铸铁等脆性材料拉伸时几乎不发生塑性变形, 它是突然发生断裂的, 其最大外力就是断裂外力。

3. 强度极限(抗拉强度) 金属材料在拉断前所能承受的最大应力, 以 σ_b 表示, 其计算公式为:

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F_0} (\text{MPa})$$

式中 P_b ——试样断裂前的最大外力, N。

抗拉强度也是设计机械零件和选择金属材料的主要依据之一, 所以它也是金属材料的主要机械性能指标。

(二) 硬度

金属材料抵抗硬物压入其表面的能力称为硬度。常用的硬度试验方法有布氏硬度试验法和洛氏硬度试验法两种。

1. 布氏硬度试验法

用一定的载荷 P , 将直径为 D 的淬火钢球压入被测金属表面(图 1-3), 然后用压痕的表面积去除 P 来确定金属材料的硬度, 所得的商称为布氏硬度值, 用符号 HB 表示, 其计算公式为:

$$\text{HB} = \frac{P}{F_H} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

式中 P ——载荷, N;
 F_H ——压痕表面积, mm^2 ;
 D ——钢球直径, mm;
 d ——压痕直径, mm。

由于载荷 P 和直径 D 都是定值, 因此通常是先测得压痕的直径 d , 再根据 d 查表确定 HB 的值。

布氏硬度试验法所得压痕面积较大, 其试验结果比较准确, 但不适宜测试太薄的试样和 HB 大于 450 的材料。

2. 洛氏硬度试验法

用一定的载荷 P , 将顶角为 120° 的金刚石圆锥体或 $\phi 1.59 \text{ mm}$ 的淬火钢球压入被测

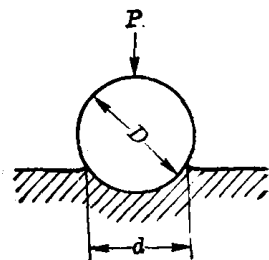


图 1-3 布氏硬度试验示意图

金属表面,然后根据压痕的深度确定被测金属材料的硬度值。一般洛氏硬度计不需直接测量压痕深度,其值可由刻度盘上的指针指示出来。

根据所加载荷的大小和压头的不同,洛氏硬度有三种标度,分别以 HRA、HRB、HRC 表示。

洛氏硬度试验法的优点是操作迅速简便,压痕小,可测薄试样和硬材料,但不如布氏硬度试验法准确。一般生产中,以 HRC(用 120° 金刚石圆锥体作压头,载荷为 1500 N)用得最多。

当 $HB > 220$ 时, HRC 与 HB 的关系约为 1:10。

硬度也是金属材料的一项重要机械性能指标,它影响到材料的耐磨性,一般硬度高,耐磨性也好。

通过试验发现,一些金属材料的布氏硬度值 HB 与强度极限 σ_b 之间有近似关系。例如,普通碳素钢、普通低合金钢和调质结构钢,其近似关系为: $\sigma_b \approx 0.35 HB$ 。

(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。常用的塑性指标有延伸率 δ 和断面收缩率 ψ 。

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%$$
$$\psi = \frac{F_0 - F_k}{F_0} \times 100\%$$

式中 L_0 ——试样的原始长度, mm, (图 1-1(a));
 L_1 ——试样拉断时的长度, mm, (图 1-1(b));
 F_0 ——试样的原始截面积, mm^2 , (图 1-1(a));
 F_k ——试样断裂处的截面积, mm^2 , (图 1-1(b))。

δ 和 ψ 的数值越大,表示金属材料的塑性越好。一般把 $\delta > 5\%$ 的材料称为塑性材料,如低碳钢; $\delta < 5\%$ 的材料称为脆性材料,如灰口铸铁。良好的塑性既能保证压力加工的顺利进行,又能保证零件工作时的安全可靠。

(四) 冲击韧性

金属材料抵抗冲击载荷的能力称为冲击韧性,简称为韧性。

不少机器零件如火车挂钩、锻锤的锤头和锤杆、冲床的连杆和曲轴、锻模、冲模等,在工作时要承受冲击载荷,如果仍只用强度极限这静载荷作用下的指标来进行设计计算,就不能保证零件工作时的安全性,必须同时考虑金属材料的韧性。目前,工程上一般用摆锤冲击试验来测定金属材料的韧性值 a_k 。

先将被测的金属材料制成一定形状和尺寸的试样(图 1-4a),安放在冲击试验机上,把具有一定重量 G 的摆锤提到 H 高度,此时摆锤位能为 GH ,然后使摆锤下落(图 1-4b),冲断试样,冲断后剩余的能量为 Gh ,摆锤对试样所做的功 $A_k = G(H - h)$ (J)。冲击韧性 a_k 可从下式求得:

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

式中 a_k ——冲击韧性, J/cm^2 (焦/厘米²);
 A_k ——冲击功, J (焦);

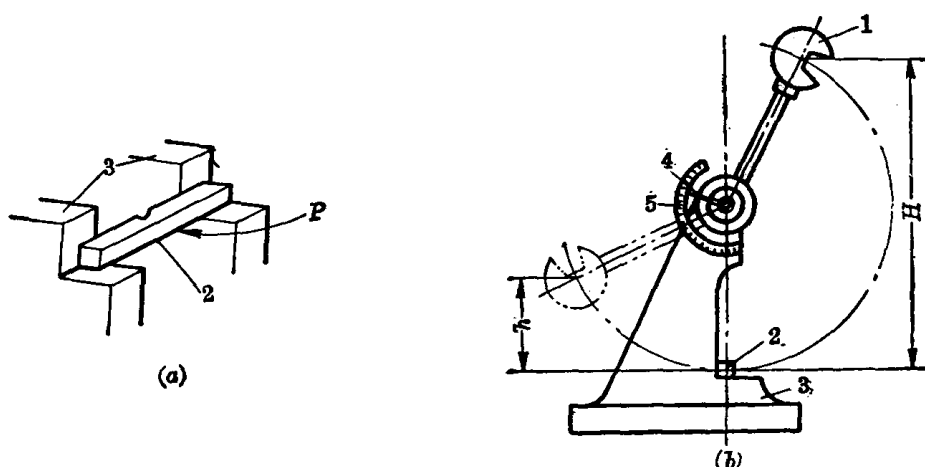


图 1-4 冲击试验示意图

1—摆锤； 2—试样； 3—试验机； 4—指针； 5—刻度盘

F ——试样断口处截面积 cm^2 (厘米²)。

$1\text{J} = 1\text{N} \cdot \text{m}$ (牛顿·米) $= 0.1\text{kgf} \cdot \text{m}$ (千克力·米)

a_k 值越大, 金属材料的韧性越好。对于重要零件, 要求 $a_k > 50\text{J}/\text{cm}^2$ 。

实践中往往是零件要经过小能量多次重复冲击才被冲断, 因此 a_k 值一般只作为设计计算的参考。

(五) 疲劳强度

金属材料抵抗无数次重复交变外力作用而不破坏的能力, 称为疲劳强度。

有些重要的零件如传动齿轮、轴、弹簧等在工作过程中其表面受到方向、大小反复变化的交变应力的长期作用, 会在远小于强度极限 σ_s , 甚至远小于屈服极限 σ_s 的应力作用下断裂, 这种断裂称为疲劳断裂。无论是塑性材料还是脆性材料, 断裂时都不产生明显的塑性变形, 而且是突然发生的, 因此具有很大的危险性。实践证明, 在承受交变应力作用的零件中, 多数是由于疲劳而损坏的, 对此必须引起足够的重视。

当循环应力逐渐降至某一定值后, 应力循环无限次增加仍不发生疲劳断裂, 此应力就是疲劳强度或疲劳极限。对于钢铁材料, 应力循环次数 N 达到 10^7 而零件仍不断裂, 此应力就可以确定为疲劳极限。不同的金属材料 N 值是不同的。当应力循环对称时, 疲劳强度以 σ_{-1} 表示。

(六) 蠕变强度

金属材料在不变载荷作用下, 变形量随时间而缓慢增加的现象称为蠕变。

如汽轮机、燃气轮机和锅炉中的某些零件, 在高温下工作时, 虽然所受的应力远比屈服极限 σ_s 低, 但也能产生连续的塑性变形(蠕变)。蠕变后, 零件的形状和尺寸都发生变化, 使其在破坏之前就不能使用。因此凡在高温下工作的零件, 必须考虑其蠕变强度。

在规定的温度和时间(如 100000h)内, 试样所产生的蠕变变形量不超过规定值(如 1%)时的最大应力称为蠕变强度。如果温度升高, 材料的蠕变强度就会大大降低。

普通钢材在温度为 350°C 以上工作时就能观察到蠕变现象。在 400°C 时蠕变强度为 800MPa , 在 500°C 时降为 200MPa 。至于温度、时间和变形量的数值, 应根据零件的工作条件来规定。

三、工艺性能

用金属材料制造零件时的基本加工方法,通常有铸造、锻压、焊接和切削加工等。热处理是作为改善切削加工性能和使零件得到所要求的性能而安排在有关工序之间的。工艺性能是指金属材料在冷加工或热加工过程中应具备的性能,它包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、切削加工性能等。这些性能将在以后各章中分别叙述。

四、材料的经济性

选用零件材料时,除应满足使用性能、工艺性能外,还应注意降低零件的总成本。零件的总成本包括材料的成本和与生产有关的其它一切费用。

在金属材料中,碳钢和铸铁的价格是比较低廉的,因此在满足零件机械性能的条件下,应尽量选用碳钢和铸铁,特别是球墨铸铁。它们既具有优良的机械性能,又具有较好的加工工艺性能,还可降低成本。

此外,在选材时还应考虑国家的资源、生产和供应等情况。

第二节 金属的晶体结构和结晶

一、金属的晶体结构

(一)晶体与非晶体

金属及合金的性能是由其成分及内部结构决定的。一切固态物质按其结构可分为晶体和非晶体二类。

食盐、冰、石墨、所有固态金属及其合金等都是晶体,而玻璃、松香、沥青等是非晶体。

晶体与非晶体的区别不在外形,而在其内部的原子排列。在晶体中,组成该晶体的原子按一定的规律排列得很整齐。这一点在十八世纪,当矿物学家观察到天然晶体有规则的外形时就已推测过,1912年又用X光衍射方法证实了这一点。而非晶体的原子则是无规则的分布着。由于晶体与非晶体的原子排列不同,因而性能也不同。

(二)晶体结构的基本知识

晶体中的原子在空间按一定规律排列成的几何空间格架,称为“结晶格子”,简称“晶格”,如图1-5(b)所示。

在晶格中,取出一个能代表这个晶格特征的基本单元,称为“晶胞”。如图1-5(c)所示。

通常,晶体的结构用晶胞来描述。图示晶格中原子间的连线是假想的,实际情况如图1-5(a)所示。

在已知的八十多种金属元素中,除少数十几种金属具有较复杂的晶格结构外,大多数的

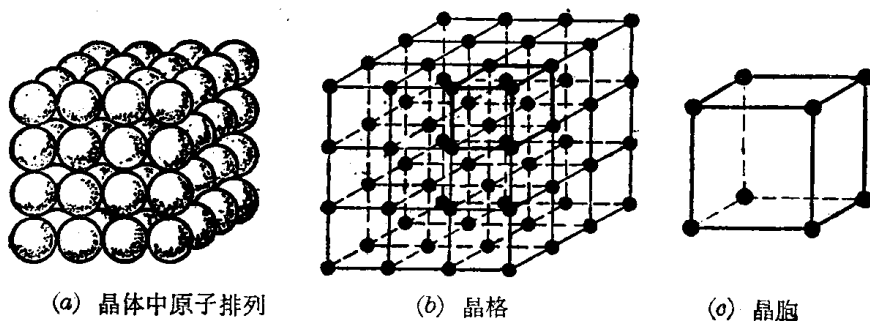


图 1-5 晶格与晶胞示意图

金属都具有比较简单的晶体结构。其中最常见的有三种,即体心立方晶格、面心立方晶格和密排六方晶格。

1. 体心立方晶格 如图 1-6 所示,晶胞是一个立方体,在立方体的八个顶角上和立方体中心处各有一个原子,属于这种晶格的金属有 α -铁(铁在 910°C 以下称 α -铁)、铬、钨、钼、钒等。

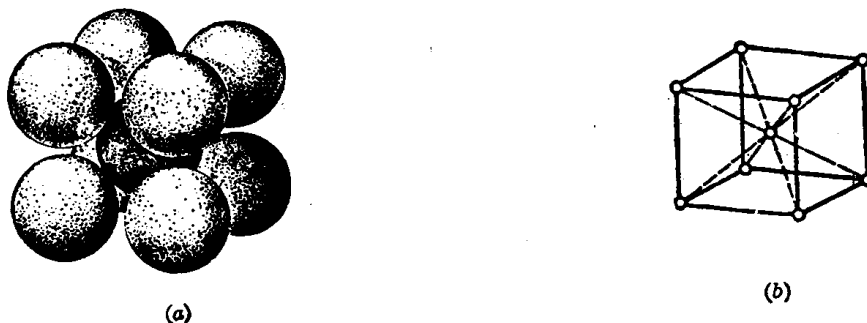


图 1-6 体心立方晶胞

2. 面心立方晶格 如图 1-7 所示,晶胞仍是一个立方体,在立方体的八个顶角上和立方体六个面的中心处各有一个原子,属于这种晶格的金属有 γ -铁(铁在 $910\sim 1390^{\circ}\text{C}$ 时称 γ -铁)、铜、铝、金、银、铅、镍等。

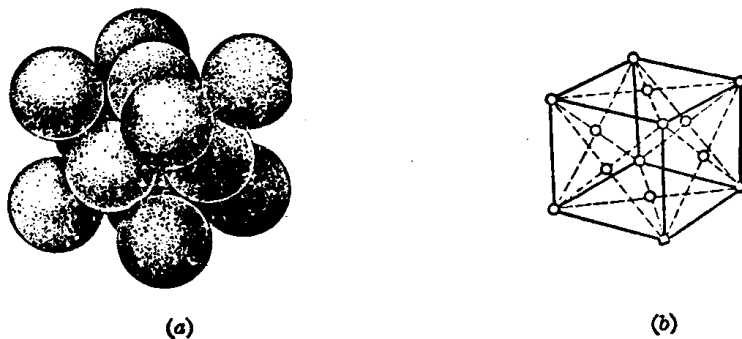


图 1-7 面心立方晶胞

3. 密排六方晶格 如图 1-8 所示,晶胞是一个正六方柱体,在正六方柱体上下两个面的中间还有三个原子。属于这种晶格的金属有锌、镁、铍等。

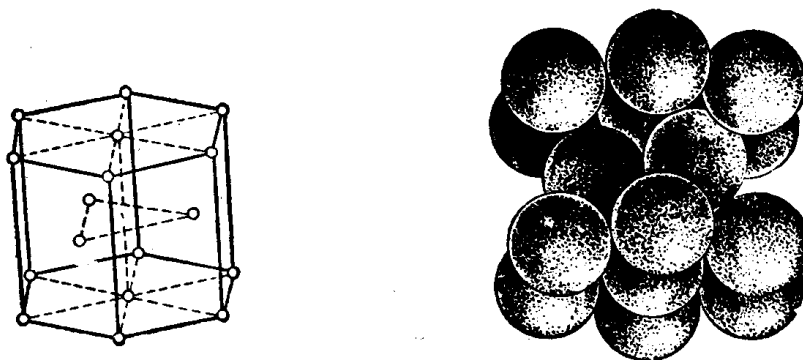


图 1-8 密排六方晶胞

晶胞的大小用其棱边长——晶格常数来表示,单位为 $\text{\AA}$ (埃), $1\text{\AA}=10^{-8}\text{cm}$ 。立方晶格只需一个晶格常数(立方体边长,其值通常在 $2.5\sim 5\text{\AA}$ 之间)。密排六方晶格需二个晶格常数(一个是柱体高度,另一个是上下底面六边形的边长)。

(三)金属键结合

原子是由带正电的原子核与带负电的核外电子所组成。每个电子都是在原子核外的轨道上高速运动着,形成一层层的电子层。

金属与非金属的原子结构的不同之处,在于金属原子的最外层电子数目很少,一般只有 $1\sim 2$ 个,而且这些最外层电子与原子核的结合力较弱,很容易脱离原子核的轨道而变成自由电子。因此,金属原子很容易失去外层电子而变成正离子,金属的晶格实际上就是由这样一些正离子排列而成的。在正离子之间存在着脱离了原来原子核的自由电子,它们在正离子之间运动着,不属于某一个原子核,而为整个金属中的正离子所共有,通常称之为“电子气”或“电子云”。因此可以把金属原子的结合看成是带正电荷的正离子和带负电荷的电子气之间的引力构成的,金属晶体的这种结合方式称为“金属键”。

理解了金属键的本质,就可以很好地理解金属的许多特性。例如:金属有良好的导电性,这是因为金属内存在有大量的自由电子,在外加电场的作用下自由电子能沿着一定的方向运动,形成电流。同样,金属的导热性好是因为金属不仅依靠正离子的振动来传递热能,而且还依靠自由电子的运动来传递热能。金属具有良好的塑性,也是因为塑性变形时金属正离子始终被包围在电子气中,因而保持着金属键的缘故。

二、金属的结晶

(一)结晶过程

一切物质由液态转变为固态的过程称为“凝固”,通过凝固能形成晶体结构的过程称为“结晶”。金属在液态时,原子的排列比较紊乱,在结晶过程中便按一定的规律排列起来,它的这种转变不是瞬时能完成的,需要有一个过程。这个过程是:在冷却到某一温度时,液态金属中生成一些极微小的晶体(称为晶核),然后以它为核心不断长大,与此同时液态金属中又

继续产生新的晶核并长大,直到液体全部消失为止。所以,金属的结晶过程也就是不断形成晶核与晶核不断长大的过程。如图1-9所示。

(二)过冷度与冷却曲线

纯金属的结晶过程是在一定的温度下进行的,每一种金属都有一定的结晶温度,如铜在 1083°C 时结晶。这个结晶温度称为理论结晶温度(T_0)。从宏观范围看,这时金属既不熔化,也不结晶。实际上这时液体中的原子结晶到晶体上的速度与晶体上的原子熔入液体中的速度相等,此时固态和液态处于平衡状态,因而理论结晶温度 T_0 也称平衡结晶温度。若要有效地进行结晶,一定要冷却到 T_0 以下某个温度 T_n 时,液态金属才开始结晶,温度 T_n 称为实际结晶温度。两者之差(T_0-T_n)称为过冷度 ΔT 。

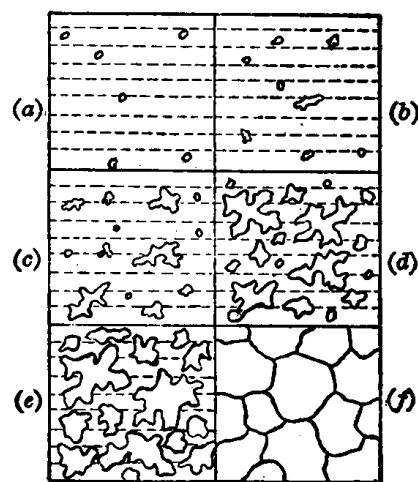


图1-9 金属结晶过程示意图

两者之差(T_0-T_n)称为过冷度 ΔT 。

金属的结晶温度可用热分析法加以测定,其装置如图1-10所示。将某一纯金属放在坩埚电炉中加热至熔化状态,然后以极其缓慢的速度进行冷却,在冷却过程中每间隔一定时间

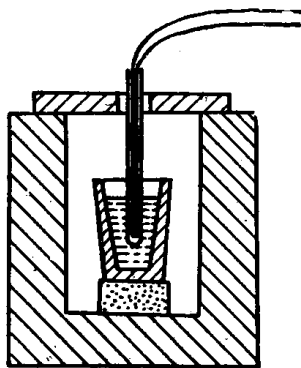


图 1-10 热分析法加热装置示意图

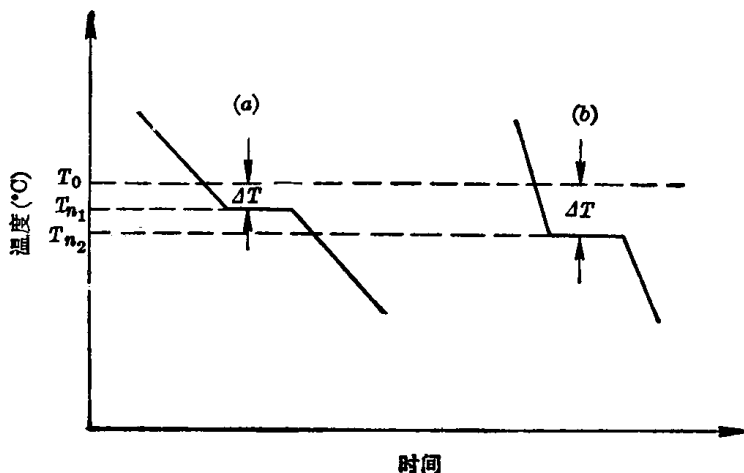


图 1-11 纯金属结晶的冷却曲线

测量一次温度，将测得的结果绘制成温度随时间变化的曲线，称为冷却曲线(图 1-11)。冷却曲线上的水平段表示温度保持不变，这是因为金属在开始结晶时(T_n)放出结晶潜热，补偿了向外界散失的热量。

过冷度 ΔT 的大小与冷却速度有关，冷却速度快，过冷度大，如图 1-11 曲线(b)所示。冷却速度慢时，过冷度减小，由曲线(a)可见，当然，若冷却速度无限慢(即散热无限慢)时，平衡结晶温度与实际结晶温度可趋于一致。

(三) 晶粒大小及其影响因素

在结晶时，每个晶核长成的晶体叫“晶粒”，晶粒与晶粒之间的接触面叫“晶界”。显然，每个晶粒的外形是不规则的，依其与别的晶粒相互抵触的条件而定。因此，金属也可以说是由许多大小，形状和晶格方位各不相同的晶粒而组成的多晶体，如图 1-12 所示。

金属晶粒的大小对其性能影响很大，因为当晶粒细小时，晶界就多，而晶界处晶格排列方向各不相同，这就使晶界处塑性变形的阻力增大(塑性变形的实质就是在外力作用下晶面与晶面之间产生相对滑移的结果)，因而强度、硬度增高，同时塑性也变好(因为晶粒细，可以滑移的晶粒就多，变形就可以分散在更多的晶粒内进行，总的滑移变形量就会增多，塑性也就变好)。所以，金属晶粒愈细，机械性能愈好，因此工程上所用的金属材料通常是希望得到细的晶粒。

在结晶过程中，凡是能促进形成晶核、抑制晶核长大的因素，都能达到细化晶粒的目的。在工业生产中，为了获得细晶粒的组织，采用的方法主要有二种：

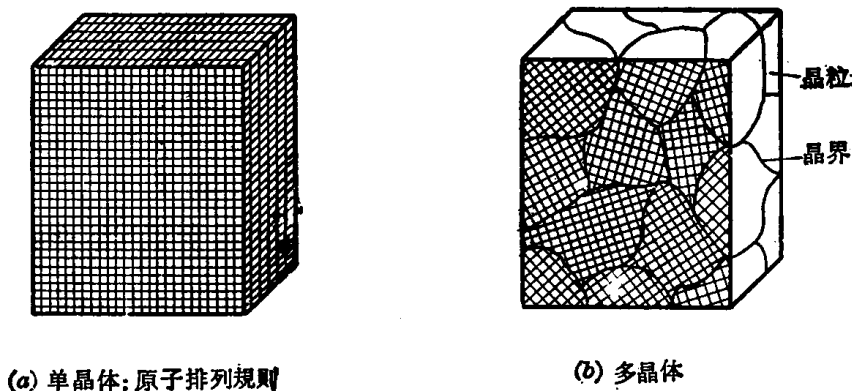


图 1-12 多晶体示意图