

590103

577
10534;1
T.1

全国高等农业院校试用教材

金属工艺学

上册

北京农业机械化学院主编

农业机械化专业用



农业出版社

成都科学技术大学图书馆

基本馆藏

全国高等农业院校试用教材

金 属 工 艺 学

上 册

北京农业机械化学院主编

(农业机械化专业用)

农 业 出 版 社

全国高等农业院校试用教材

金属工艺学 上册

北京农业机械化学院主编

农业出版社出版 (北京朝内大街130号)

新华书店北京发行所发行 农业出版社印刷厂印刷

787×1092毫米16开本 17印张 364千字

1980年7月第1版 1980年7月北京第1次印刷

印数 1—7,000册

统一书号 15144·608 定价 1.75元

绪 言

金属工艺学是农业机械化专业及农机类其他专业的一门重要的技术基础课。金属工艺学是研究金属材料各主要加工方法的原理与工艺过程的一门技术科学，它不但为学习后继课打下基础，而且为今后从事农业机械的改进、设计、运用和修理工作提供必要的机械制造方面的基础知识。

金属材料的主要加工方法有铸造、锻压、焊接和切削加工等几种。在机械制造中，这些基本加工方法都是有机地联系在一起的。因为，零件和机器的制造，常常要综合利用上述各种加工方法方能完成，一种加工方法的改进，必然影响到另一种加工方法的工艺过程。如对于用精密铸造方法铸造的毛坯，可不经切削加工或只经少量切削加工即成零件等。因此，研究金属材料各种加工方法的原理和工艺过程，研究各种加工方法的工艺特点，研究影响各种加工方法加工质量的因素，就可以为合理地选择加工方法和工艺过程、制造出符合质量要求的毛坯和零件打下基础。

农机的修理和农机的制造有紧密的联系，如换件修理，其配件的生产本身就属于机械制造的范畴，对于农机零件的修复，除了要用到喷镀、振动堆焊等特种修复工艺外，还要用到车、铣、刨、磨等各种加工方法，而它们与在机械制造中单件小批时所用的基本相同。实践证明，在修复零件时如果考虑到该零件的原先的制造方法将是大有益处的。

农业机械的选、改、创工作也离不开设计工作，没有设计工作谈不上改和创，因此，农业机械化专业的学生应该具有机械设计的能力，而掌握机械制造的基本知识对于搞好设计工作是十分必要的，因为只有这样才能设计出符合各种加工方法工艺过程要求的零件和机器来。例如，锻压方法使金属组织致密，并可使零件有适当的纤维组织，故加工后零件强度较高，但锻压只适用于塑性材料且结构较简单的零件，对于结构复杂的零件，宜于采用铸造的方法，等等。因此，熟悉各种加工方法，方有可能使设计的零件和机器具有良好的结构工艺性，使机器容易制造，易于保证质量，便于获得高的生产率，从而降低机器制造的成本。

金属工艺学是一门实践性很强的技术科学。在学习本课程之前，应有金工实习以使学主具有必要的感性知识和初步的操作技能。搞好实践性环节的教学，是学好本课程的重要条件，为此，本书也编入了一部分在实践性环节中教学的内容。

由于农业机械化专业除本课程及金属材料与热处理课程外，在机械制造方面没有其他后继课程，因此，本书的内容根据专业的特点和要求是适当的扩大了。如比较明显的是增加并充实了机床夹具和机制工艺的基本知识，在其他各篇的内容取舍上也有类似的情况。

本书分上下两册出版，上册包括一至四篇，即金属材料基本知识和铸锻焊等热加工部分，下册包括五至八篇，即冷加工和机制工艺等部分。

各篇内容中，凡与实践环节有密切关系的部分，如钢的分类和牌号、机床作业、造型方法、手工电弧焊、自由锻工艺及设备，应尽量放在实践性环节中进行教学。最后两篇宜放在互换性原理与技术测量课及机械零件课之后进行教学，而且应配合以实习或课程设计等教学环节，以巩固和学会初步应用所学的知识。

主 编 北京农业机械化学院 束维钧 张政兴 黄 钦 尹长贵
副主编 西北农学院 侯介仁
福建农学院 林伟业
编写人 北京农业机械化学院 蒋弘彬 陈继武 周世康
西北农学院 房 武 樊相印 仇农学
东北农学院 叶次珊 李亦榕 王冠群
河南农学院 江受训
湖南农学院 杨忠汉
西南农学院 范会儒 陈有珊
华南农学院 苏国麟
广西农学院 黄时昭
青海工农学院 边维国

目 录

第一篇 金属材料的基本知识

第一章	金属材料的主要性能	1
第一节	金属材料的机械性能	1
第二节	金属的物理、化学性能和工艺性能	4
第二章	金属及合金的结晶	5
第一节	纯金属的晶体结构	5
第二节	金属的结晶过程	6
第三节	金属的同素异构转变	8
第四节	合金的晶体结构	9
第三章	铁碳合金和热处理概念	11
第一节	铁碳合金状态图	11
第二节	热处理的基本概念	17
第三节	钢的分类、编号和用途	20

第二篇 铸造生产

第四章	砂型制造	23
第一节	造型制芯	23
第二节	造型材料	36
第三节	浇注系统和冒口	42
第四节	铸造工艺图和模型	55
第五章	铸铁及其熔化	61
第一节	铸铁的基本概念	61
第二节	普通灰口铸铁的生产	67
第三节	可锻铸铁的生产	69
第四节	球墨铸铁的生产	71
第五节	耐磨铸铁	76
第六节	铸铁的熔化和浇注	77
第六章	钢和有色合金的铸造	85
第一节	铸钢	86
第二节	铸造铝合金	88
第三节	铸造铜合金	92
第七章	铸件的清理、缺陷和检验	95

第一节	铸件的落砂和清理	95
第二节	铸件的缺陷及其修补	96
第三节	铸件质量检验	98
第八章	特种铸造	99
第一节	金属型铸造	100
第二节	压力铸造	102
第三节	低压铸造	103
第四节	离心铸造	104
第五节	熔模铸造	105
第六节	磁型铸造	106
第七节	陶瓷型铸造	107
第八节	各种铸造方法的比较	108
第九章	铸件结构的工艺性	109
第一节	合金铸造性能对铸件结构的要求	109
第二节	造型工艺对铸件结构的要求	114
第三节	铸造方法对铸件结构的要求	118

第三篇 锻压生产

第十章	金属塑性变形的基本知识	122
第一节	金属塑性变形的实质及基本概念	122
第二节	塑性变形对金属组织和性能的影响	125
第三节	金属的可锻性及其影响因素	128
第四节	塑性变形时金属的流动规律	131
第十一章	锻造	133
第一节	锻件的加热	133
第二节	自由锻造	137
第三节	锤上模锻	146
第四节	胎模锻造	154
第五节	其他模锻方法	159
第十二章	冲压	163
第一节	冲压生产概述	163
第二节	冲裁	165
第三节	弯曲	172
第四节	拉延	178
第五节	其他变形工序	185
第六节	冲模	186
第十三章	其他锻压生产方法	192
第一节	冷挤压	192
第二节	轧制	199
第三节	锻压生产新工艺	201
第四节	锻压模具制造新工艺	206

第四篇 焊接生产

第十四章 手工电弧焊	211
第一节 手工电弧焊的焊接过程	211
第二节 焊接电弧	212
第三节 手工电弧焊设备	213
第四节 电弧焊的冶金过程特点及热影响区	218
第五节 电焊条	222
第六节 手工电弧焊工艺	225
第十五章 气焊与气割	232
第一节 气焊概述	232
第二节 气焊设备	233
第三节 气焊火焰	236
第四节 气焊工艺	237
第五节 氧气切割	239
第十六章 其他焊接方法	242
第一节 埋弧焊	242
第二节 气体保护电弧焊	244
第三节 接触焊	245
第四节 等离子弧焊 电子束焊 钎焊	247
第十七章 常用金属材料的焊接	249
第一节 钢的焊接	250
第二节 铸铁的补焊	251
第三节 有色金属的焊接	253
第十八章 焊接应力和焊缝质量检验	254
第一节 焊接应力和变形	254
第二节 减小焊接变形及变形焊件的矫正方法	256
第三节 焊接缺陷及其防止方法	258
第四节 焊接质量检验	260

第一篇 金属材料的基本知识

凡具有高的导电性、导热性，良好的塑性及金属光泽的物质称为金属。在自然界中有三分之二以上的化学元素都是金属。在现代机械制造中较少使用纯金属，而广泛使用的是金属的合金，这是由于合金比纯金属具有更好的使用性能和工艺性能以及更低的生产成本。所谓合金是由两种或两种以上的化学元素（其中至少一种是金属元素）熔合而成的、具有金属性能的物质。如工业上应用最广泛的钢和铸铁就是铁和碳组成的合金。金属及金属的合金统称为金属材料。

在现代化的农业、工业、国防和科学技术等国民经济各个领域，广泛地采用金属材料来制造各种机器和设备。为了能够正确地、合理地选择和使用金属材料，必须了解和掌握各种金属材料的性能，而金属材料的性能主要取决于其化学成分和内部结构。本篇仅从选用金属材料和制定零件各种加工工艺的需要出发，简介金属材料及热处理的基本知识，为学习铸造、锻压、焊接、切削加工等各篇提供必要的基础理论知识。

第一章 金属材料的主要性能

金属材料的主要性能包括：使用性能（机械性能、物理性能、化学性能）、加工工艺性能和经济性。在机械制造中最主要的使用性能是机械性能，因此，本章重点介绍金属材料的机械性能。

第一节 金属材料的机械性能

一、载荷和应力

金属材料在加工成零件的过程中以及机械零件在使用过程中，都要承受外力的作用，通常把这种外力称为载荷。例如，压力加工时所施加的压力，切削加工时刀具作用在工件上的力以及机床、夹具对工件的夹紧力；又如，轴类零件在使用过程中，传递的扭矩及承受的各种轴向力和径向力等。

载荷有动载荷和静载荷。当载荷的大小和作用的方向不随时间而改变时，这种载荷称为静载荷；当载荷的大小或方向随时间而改变时，这种载荷则称为动载荷。例如，拖拉机

对机具的牵引力，常视为静载荷；内燃机的连杆、曲轴在工作过程中所承受的载荷则为动载荷。

金属材料在载荷作用下，所引起的尺寸或形状的变化称为变形。常见的有拉伸、压缩、弯曲、扭转和剪切等五种基本变形。金属材料的变形分为弹性变形和塑性变形。所谓弹性变形就是金属材料在外力作用下发生变形，当外力去除后，变形完全消失而恢复原状。所谓塑性变形则是金属材料在外力作用下发生变形，当外力去除后，变形不能完全消失而残留有永久变形。金属的变形总是先发生弹性变形，而后才出现塑性变形；在进行塑性变形时总是伴有弹性变形同时发生；在发生塑性变形后应力再增大，即发生断裂。

金属材料在受外力作用而不破坏的条件下，由于内部原子间的结合力，使其具有抵抗变形和断裂的能力，这种产生于金属内部，并与外力相平衡的力称为内力。单位横截面积上的内力称为应力。拉（压）时的应力用下式表示：

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

式中：P——外力，公斤（kg）〔注〕

F——横截面面积，毫米²（mm²）

σ ——应力，公斤/毫米²（kg/mm²）

二、金属材料的机械性能

金属材料在外力作用下所表现出来的特性称为机械性能。金属材料的主要机械性能有强度、硬度、塑性、韧性等。

（一）强度 强度是金属材料在外力作用下，抵抗产生塑性变形或断裂的能力，常用的强度指标有屈服强度（ σ_s ）和抗拉强度（ σ_b ）。

1. 屈服强度 金属材料在载荷作用下，开始出现塑性变形时的应力叫做屈服强度，用符号 σ_s 表示。它代表金属材料抵抗微量塑性变形的能力。对于某些材料（如合金钢、球墨铸铁等），因难以测定其开始产生塑性变形时的应力，故常规定以产生塑性变形0.2%时的应力值作为“条件屈服强度”，用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

屈服强度是许多零件选用金属材料的重要依据之一，例如汽车、拖拉机的缸盖螺栓，为了保证气缸体与气缸盖之间的密封性，是不允许出现塑性变形的，因此，设计时所选用材料的屈服强度 σ_s 应不小于其最大工作应力。

2. 抗拉强度 金属材料在外力作用下，从开始加载到断裂时止所能达到的最大应力值叫做强度极限，简称强度。当金属材料承受拉力作用时，其强度极限称为抗拉强度，用符号 σ_b 表示。

抗拉强度也是设计零件或构件时选用材料的重要依据之一。设计时必须保证零（构）件的最大工作应力不得超过金属材料的抗拉强度 σ_b ，以免发生破坏。

注 因我国现有标准和规范多采用公制单位，故本书仍沿用公制单位制。

(二) 硬度 硬度是金属材料抵抗比它更硬的物体压入其表面的能力, 也可以说是金属材料对局部塑性变形的抗力。在一般情况下, 金属材料的硬度越高, 耐磨性能就越好, 而且硬度与强度之间有一定的关系, 根据硬度的大小可以大致估算材料的抗拉强度, 因此, 硬度是金属材料最重要的机械性能之一。

常用的硬度指标有布氏硬度 (HB) 和洛氏硬度 (HRC)。

布氏硬度是用一定的载荷 P , 将一定直径的淬火钢球压入被测金属材料的表面, 然后测量压痕的表面积 F 。根据所用载荷和所测得的压痕表面积计算出单位球面积上的压力, 则得布氏硬度值, 用符号 HB 表示。即:

$$HB = \frac{P}{F} \text{ (公斤/毫米}^2\text{)}$$

在实际测定中, 由于硬度计的钢球直径和载荷大小均已固定, 因此, 只要测出压痕直径, 即可由表查出硬度值来。

根据经验, 布氏硬度与抗拉强度有如下的近似关系:

低碳钢 $\sigma_b = 0.36HB$

高碳钢 $\sigma_b = 0.34HB$

调质合金钢 $\sigma_b = 0.325HB$

布氏硬度试验由于受淬火钢球硬度的限制, 只能测量硬度不太高 ($HB < 450$) 的材料, 常用于测定退火、正火及调质处理的零件。

洛氏硬度是用一定载荷, 将顶角为 120° 的金刚石圆锥体压头 (HRA、HRC) 或淬火钢球 (HRB) 压入零件表面, 然后测量压痕深度。用压痕深度来表示硬度值, 金属材料越硬, 则压痕深度越小。最常用的是用 150 公斤载荷、锥顶角为 120° 的金刚石压头测量的洛氏硬度, 用 HRC 表示。HRC 洛氏硬度在热处理质量检验中广泛应用, 它可以测量硬度较高的金属材料, 如淬火或淬火后低温回火的钢。其有效范围为 $HRC = 20-67$ 。

HRC 与 HB 可以通过查表互相换算。

由于测定硬度的方法简便易行, 且可直接在产品零件上进行而又不损坏零件, 因此, 在零件技术条件中常标注硬度, 在生产现场也常用硬度试验来检查和控制热处理质量。

(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叫做塑性。

金属试样承受拉力作用后, 其塑性变形表现为: 试样长度伸长、断面缩小、局部产生缩颈, 直至断裂。因此, 常用延伸率和断面收缩率作为金属材料的塑性指标。

1. 延伸率 是试样拉断后的总伸长量与原始长度之比值的百分率, 用符号 δ 表示。即:

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

式中: L_0 ——试样的原始长度, 毫米

L_1 ——试样拉断后的长度, 毫米

2. 断面收缩率 是试样拉断后, 断口横截面面积的缩减量与原始截面积之比值的百分率, 用符号 ψ 表示。即:

$$\psi = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \times 100\%$$

式中： F_0 ——试样的原始截面积，毫米²

F_1 ——试样断裂处的截面积，毫米²

一般来说塑性材料的 δ 和 ψ 较大，脆性材料的 δ 和 ψ 较小。但 δ 值的大小与试样尺寸有关。为了便于比较，在实用中作了统一规定：当试样的计算长度为其直径的5倍时，所测得的延伸率用 δ_5 表示；当试样的计算长度为其直径的10倍时，所测得的延伸率用 δ_{10} 表示，通常只写成 δ 。

金属材料塑性的好坏，对零件的加工和使用都具有重要的意义。如塑性好的金属材料容易进行锻压、焊接，且工艺过程简单，质量容易保证；塑性好的金属零件在使用时，万一超载，也能由于塑性变形而避免突然断裂，故在静载荷下使用的机械零件要求一定的塑性是更安全的。一般 δ 达5%或 ψ 达10%就能满足绝大多数零件在使用时的要求，过高的塑性是没有必要的。

(四) 冲击韧性 有的机械零件在工作过程中所承受的载荷是瞬时作用的、突然加上去的，这种载荷称为冲击载荷。例如，内燃机中的活塞、连杆、曲轴等，在气体爆炸时要受到冲击载荷的作用；锻锤的锤杆、冲床的冲头等均在冲击载荷作用下工作。

金属材料抵抗冲击载荷而不破坏的能力称为冲击韧性。用符号 α_K 表示。

$$\alpha_K = \frac{A_K}{F} \quad (\text{公斤} \cdot \text{米} / \text{厘米}^2)$$

式中： A_K ——折断试样所消耗的冲击功，公斤·米

F ——试样断口处的截面积，厘米²

上述 α_K 值仅表示材料承受一次大能量冲击载荷的能力，但实际上，许多零件在工作过程中所承受的冲击载荷却是属于小能量的多次重复冲击载荷。例如，采用球墨铸铁制造柴油机的曲轴，其冲击值 α_K 虽然只有1.5公斤·米/厘米²左右，但运转结果却很满意。根据研究的结果表明：在能量不太大的情况下，材料承受多次重复冲击的能力，主要决定于其强度，而不是冲击韧性。因此，在选用零件材料时，必须合理地确定其 α_K 值，片面地单纯追求过高的冲击韧性并没有什么必要，而主要应该具有足够的强度。

第二节 金属的物理、化学性能和工艺性能

一、金属的物理性能和化学性能

在机械制造中，绝大多数机械零件都是以机械性能作为设计和选用材料的主要依据，但有的机械设备或机械零件除要求应具备一定的机械性能外，还要求具备某些特殊的物理性能或化学性能。例如，飞机零件要选用比重小的铝合金；导电元件则要采用导电性好的铜或铜合金；内燃机的排气门应选用耐热性好的金属材料；某些化工设备的零件则要求耐

蚀性等等。

金属材料的主要物理性能有比重、熔点、热膨胀系数、导热性和导电性等。所谓化学性能是金属材料在常温或高温时抵抗各种化学介质作用的能力，如耐蚀性和耐酸性等。

金属材料的有些物理性能，对热加工工艺也有一定的影响。例如，高速钢的导热性较差，锻造和热处理时都必须用较低的速度进行加热，否则会产生裂纹。又如铸钢和铸铁，由于熔点不同，因此它们的熔炼和浇注工艺也不相同。

二、工艺性能

金属材料的工艺性能是保证容易高速地、经济地获得优质制件的必要条件，它是金属的物理、化学和机械性能的综合。按工艺方法不同可分为铸造性能、可锻性、可焊性和切削加工性等。这些性能将在以后的有关章节中分别介绍。

第二章 金属及合金的结晶

金属材料的性能取决于其化学成分及内部的结构。本章主要介绍金属材料的内部结构及其变化规律，以及它与性能之间的关系。

第一节 纯金属的晶体结构

一切固态物质按其内部结构可分为非晶体与晶体两大类。凡是内部原子作无规则排列的固态物质，均称为非晶体，如塑料、玻璃、松香、沥青等。凡内部原子按一定的次序作有规则排列的固态物质，则称为晶体，如金刚石、石墨和一切固态金属都属于晶体。

在研究晶体内部原子排列的规律时，常用线条将各原子的中心连接起来，构成一个空间格子，如图 2—1a 所示。这种用来描述晶体中原子排列形式的空间格子称为“晶格”。晶格中各种不同方位的原子平面叫做“晶面”。因此也可以认为晶格是由层层晶面堆积而成的。通常把能代表晶格特征的最小基本单元称为晶胞，如图 2—1b 所示。同样可以认为晶格是由若干晶胞重复堆砌而成的。晶胞的各边尺寸则称为晶格常数，其单位

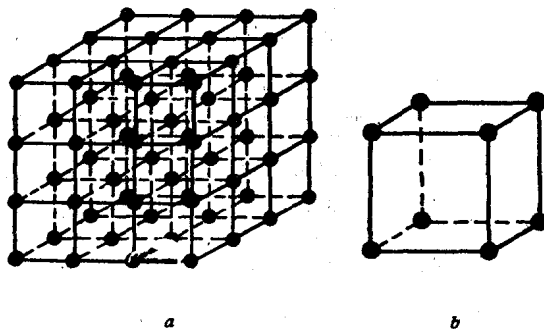


图 2—1 简单立方晶格与晶胞的示意图

a. 晶格 b. 晶胞

为埃 ($\text{\AA}$), $1 \text{ 埃} = 10^{-8} \text{ 厘米}$ 。

最常见的金属晶格有体心立方晶格和面心立方晶格两种形式 (图 2—2)。

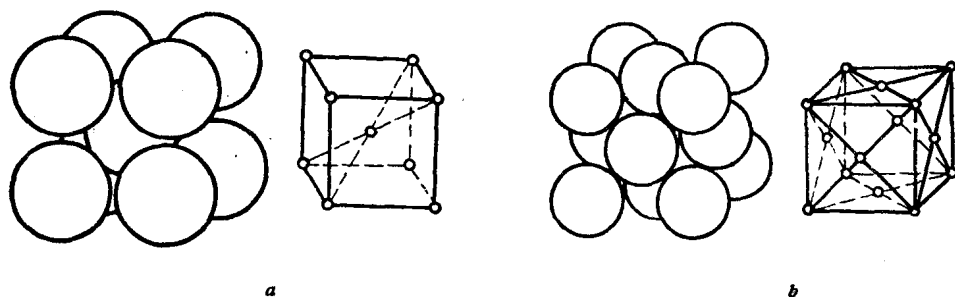


图 2—2 常见金属晶格的晶胞

a. 体心立方晶胞 b. 面心立方晶胞

体心立方晶格：其晶胞的几何形状是一个立方体，立方体的八个顶角处各有一个原子，此外，立方体的中心还有一个原子，如图 2—2a 所示。属于这类晶格的金属有 α -Fe、Cr、W、Mo、V 等。

面心立方晶格：除立方体八个顶角处各有一个原子外，组成立方体的六个面的中心也各有一个原子，如图 2—2b 所示。属于这类晶格的金属有 γ -Fe、Al、Cu、Ni 等。

金属的晶格形式和晶格常数大小是影响金属的物理、机械性能的重要因素之一，例如具有面心立方晶格的金属材料比体心立方晶格的金属材料具有更高的塑性。又如在晶格结点上作轻微振动的金属原子，随着温度的增高，振动的范围增大，因而晶格常数增大，这就是金属热胀冷缩的原因。

第二节 金属的结晶过程

金属由液态转变成固态，即金属的原子由不规则排列过渡到有规则排列的过程叫做金属的结晶过程。这个过程可用温度与时间的关系曲线——冷却曲线来表示。

图 2—3a 为纯铁在极其缓慢冷却时的冷却曲线。当液态纯铁从高温冷却至某一温度时，便开始结晶，直到液体全部结晶成固体，温度才继续下降。结晶时由于放出“结晶潜热”补偿了热量的散失，因此使温度保持不变，在冷却曲线上便出现了一个水平台，平台对应的温度即为纯铁的结晶温度。这种在极其缓慢冷却时所测得的结晶温度称为“理论结晶温度” (T_0)。但在实际生产中，液态金属的冷却不可能作到无限缓慢，而是以一定的冷却速度进行的，有时冷却速度甚至较大，因而使其结晶过程发生滞后，结晶过程进行的温度称为“实际结晶温度” (T_1)，如图 2—3b 所示。实际结晶温度 (T_1) 低于理论结晶温度 (T_0) 的现象称为“过冷”。理论结晶温度与实际结晶温度之差 ($T_0 - T_1$) 称为过冷度。液态金属的冷却速度越大，则实际结晶温度便越低，即过冷度便越大。

液态金属的结晶是先自金属液体中形成一批结晶中心（或称晶核），然后这些晶核吸附周围液体中的金属原子而成长（或称长大），在它们成长的过程中，同时还会有新的晶核不断从液态金属中形成和成长，直至全部液态金属转变成固体为止。金属的结晶过程如图2—4所示。

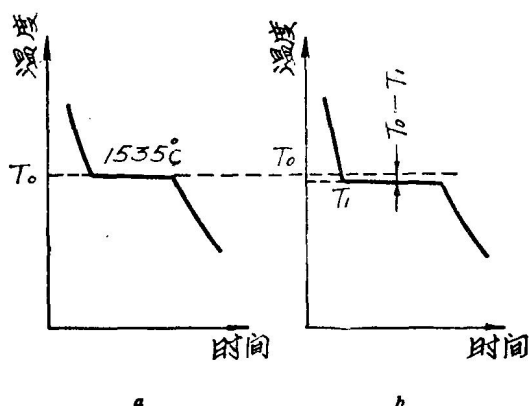


图 2—3 纯金属结晶时的冷却曲线
a. 理想冷却曲线 b. 实际冷却曲线

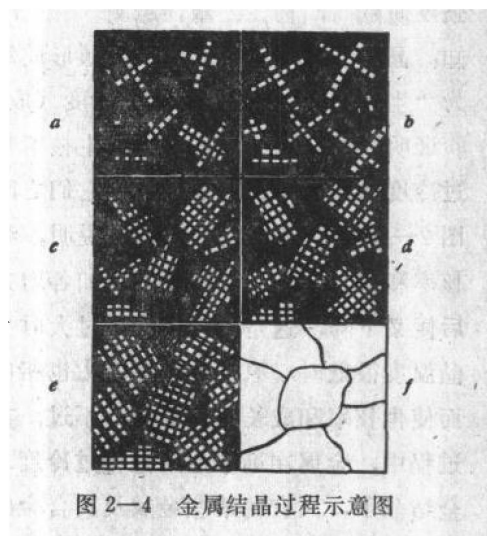


图 2—4 金属结晶过程示意图

由上可知：液态金属的结晶过程是由晶核的形成和晶核的成长两个基本过程所组成，并且这两个过程是同时并进的。一切金属的结晶过程都遵循这一基本规律。

结晶过程中，晶核的形成可能来自两个方面，一是在过冷的液态金属中的某些个别微小体积内，原子自发地、有规则地排列起来，形成结晶的核心，这种晶核称为自发晶核；另一方面是在液态金属中外来的难熔固态质点成为结晶的核心，这种晶核称为非自发晶核。在实际金属中总含有一定数量的杂质，在液态金属中形成非自发晶核，对金属的结晶过程影响很大。

在实际金属结晶过程中，由于冷却速度较大，因此，晶核以“枝晶”的方式进行长大，即首先在晶体棱角处以最大的成长线速度长大，形成“晶轴”，而后晶轴继续长大，并在其上又按一定的方向长出许多小晶轴，由小晶轴再生许多新的小晶轴，这样逐步发展成为树枝形状，即所谓“枝晶”（图2—5）。在枝晶生长的后期，各晶轴之间的空隙被完全填满，枝干之间的界线不再明显，因此，在金属结晶后的组织中，往往看不到枝晶构造。

结晶完后，金属的内部组织是由许多结晶方位不同、外形极不规则的小晶体所组成，每一个小晶体都叫做晶粒。晶粒与晶粒的交界处称为晶界（图2—4）。晶界是两种结晶方位不同的晶体的过渡区，在该处原子排列

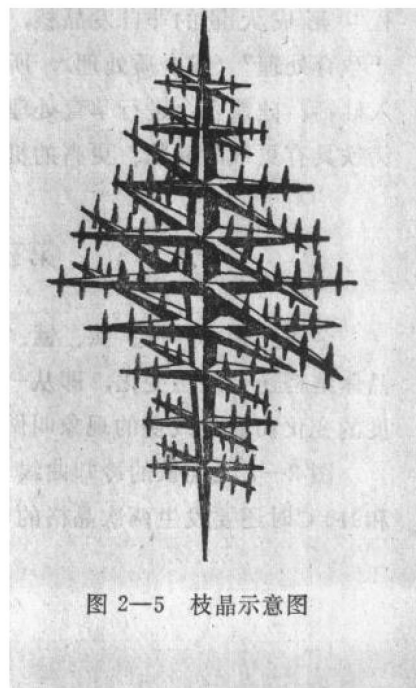


图 2—5 枝晶示意图

不整齐，并有杂质汇集。

金属组织中，晶粒尺寸的大小（晶粒度），对金属的机械性能影响很大，晶粒越细，则金属的强度便越高，韧性、塑性越好。由结晶过程可知：晶粒的大小主要取决于晶核形成的速度（称为“生核率”）和晶核长大的速度（成长率）。实验证明：在金属结晶过程中，生核率与成长率随过冷度的增大而显著地增加，它们之间的关系如图 2—6 所示。图中的虚线部分说明，结晶时的生核率和成长率随着过冷度的增加各增大至最大值后便又下降，这是由于过冷度过大时（即实际结晶温度很低时），原子的扩散能力也相应降低，因而使生核率和成长率都降低。不过，在实际结晶过程中，金属在远未达到这种过冷度之前便已完全结晶了，只有在某些金属及其合金的固态转变中才会出现这种情况。

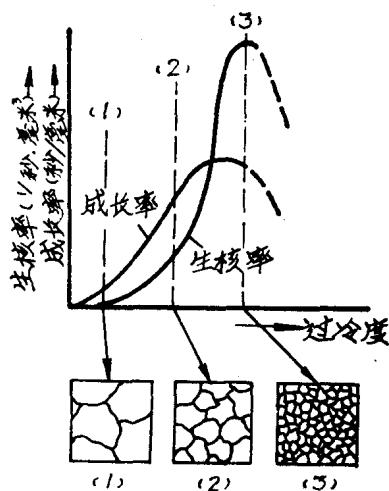


图 2—6 金属结晶时的生核率和成长率与过冷度的关系

由图 2—6 可见：生核率随过冷度的增大而增加的速率比成长率增加速率更大，因而过冷度越大，不但结晶速度越大，而且结晶后的晶粒越细。因此，生产上常用增大冷却速度的方法来细化晶粒，改善金属的质量（如金属型铸造）。但因冷却速度较难控制，且其增大也有一定的限度；另一方面冷却速度过大，不仅给铸造生产带来困难，而且会引起金属中的铸造应力增大，往往给铸件带来缺陷。所以，在近代工业中常用“孕育处理”来细化晶粒。即向金属液体中加入某些能形成高熔点的固体质点的物质，使其在金属液体的结晶过程中形成大量的非自发晶核，以达到细化晶粒、提高金属性能的目的。这种方法称为“孕育处理”（或变质处理），所加物质称为“孕育剂”（或变质剂）。例如，在铸铁液中加入硅钙、硅铁合金进行孕育处理，所得铸铁称为“孕育铸铁”（或变质铸铁），它比普通灰铸铁具有更细的晶粒、更高的机械性能。

第三节 金属的同素异构转变

金属元素中，铁、钛、锰、锡等少数几种金属，在结晶成固体后，继续冷却时，内部晶体结构还会发生变化，即从一种晶格转变成另一种晶格。这种在固态下金属的晶格随温度的变化而发生变化的现象叫做“同素异构转变”。

图 2—7 是纯铁的冷却曲线。由图可见：纯铁在凝固后的继续冷却过程中，在 1390℃ 和 910℃ 时还要发生两次晶格的转变，其转变过程如下：

