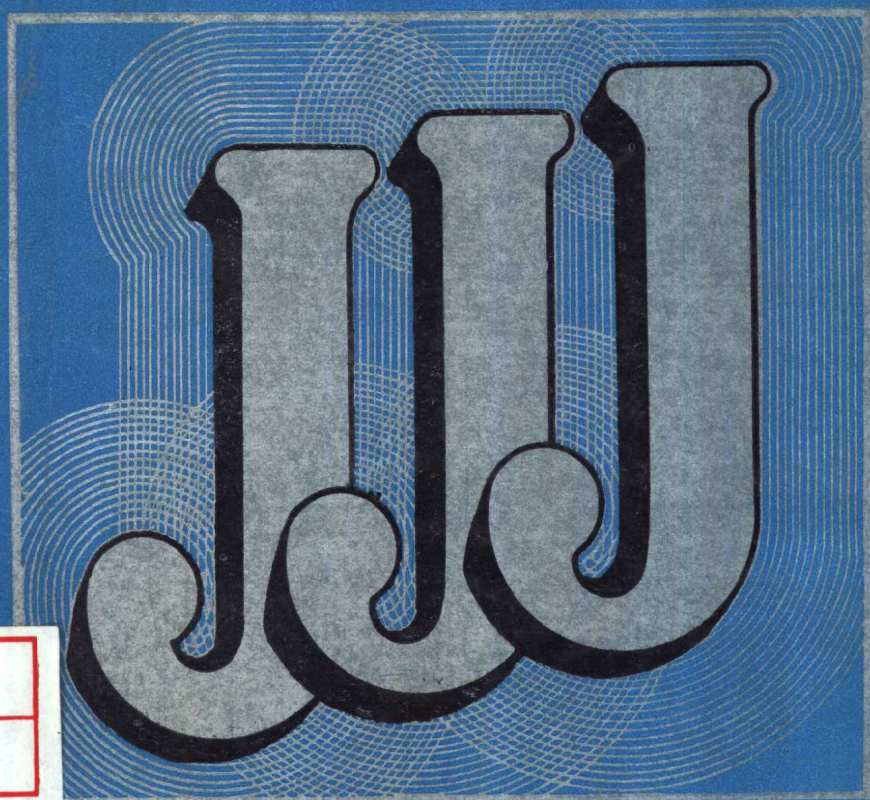


国家机械工业委员会统编

中级化铁工工艺学

机械工人技术理论培训教材

JIXIE GONGREN JISHULILUN PEIXUN JIAOCAI



243

98

机械工业出版社

机械工人技术理论培训教材

中级化铁工工艺学

国家机械工业委员会统编



机械工业出版社

本书是国家机械委统编的机械工人技术理论培训教材。它是根据原机械部颁发的《工人技术等级标准》和教学大纲编写的，适于化铁工种的中级技术工人培训用。本书内容以生产工艺技术为主，主要内容有金属学与铸铁方面的基本知识；各类炉料的作用及其对熔化过程的影响；熔化设备及工艺；工艺规程及管理的基本知识等。

本书由长江液压件厂杨堂德、成廷森编写，由四川省机械研究设计院张德纯、梁俊忠、吴蜀龙审稿。

中级化铁工工艺学

国家机械工业委员会统编

责任编辑：王明贤 责任校对：贾立萍
封面设计：林胜利 方芬 版式设计：张世琴

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

中国农业机械出版社印刷厂印刷

机械工业出版社发行·新华书店经销

开本 787×1092 1/32·印张6 1/8·字数134千字
1988年9月北京第一版·1988年9月北京第一次印刷
印数 00,001—13,200·定价：1.90元

ISBN 7-111-00845-6/TF·6

前 言

1981年，原第一机械工业部为贯彻、落实《中共中央、国务院关于加强职工教育工作的决定》，确定对机械工业系统的技术工人按照初、中、高三个阶段进行技术培训。为此，组织制定了30个通用技术工种的《工人初、中级技术理论教学计划、教学大纲（试行）》，编写了相应的教材，有力地推动了“六五”期间机械行业的工人培训工作，初步改变了十年动乱造成的工人队伍文化技术水平低下的状况，取得了比较显著的成绩。

鉴于原机械工业部1985年对《工人技术等级标准（通用部分）》进行了全面修订，原教学计划、教学大纲已不适应新《标准》的要求，而且缺少高级部分；编写的教材，由于时间仓促、经验不足，在内容上存在着偏深、偏多、偏难等脱离实际的问题。为此，原机械工业部根据新《标准》，重新制定了33个通用技术工种的《机械工人技术理论培训计划、培训大纲》（初、中、高级），于1987年3月由国家机械工业委员会颁发，并根据培训计划、大纲的要求，编写了配套教材148种。

这套新教材的编写，体现了《国家教育委员会关于改革和发展成人教育的决定》中对“技术工人要按岗位要求开展技术等级培训”的有关精神，坚持了文化课为技术基础课服务，技术基础课为专业课服务，专业课为提高操作技能和分解解决生产实际问题的能力服务的原则。在内容上，力求以基本概念和原理为主，突出针对性和实用性，着重讲授基本

KAP 71/105

知识，注重能力培养，并从当前机械行业工人队伍素质的实际情况出发，努力做到理论联系实际，通俗易懂，具有工人培训教材的特色，同时注意了初、中、高三级之间合理的衔接，便于在职技术工人学习运用。

这套教材是国家机械工业委员会委托上海、江苏、四川、沈阳等地机械工业管理部门和上海材料研究所、湘潭电机厂，长春第一汽车制造厂、济南第二机床厂等单位，组织了200多个企业、院校和科研单位的近千名从事职工教育的同志、工程技术人员、教师、科技工作者及富有生产经验的老工人，在调查研究和认真汲取“六五”期间工人教材建设工作经验教训的基础上编写的。在新教材行将出版之际，谨向为此付出艰辛劳动的全体编、审人员，各地的组织领导者，以及积极支持教材编审出版并予以通力合作的各有关单位和机械工业出版社致以深切的谢意！

编好、出好这套教材不容易；教好、学好这些课程更需要广大职教工作者和技术工人的奋发努力。新教材仍难免存在某些缺点和错误，我们恳切地希望同志们在教和学的过程中发现问题，及时提出批评和指正，以便再版时修订，使其更完善，更好地发挥为振兴机械工业服务的作用。

国家机械工业委员会
技工培训教材编审组

1987年11月

目 录

第一章 金属学基本知识	1
第一节 金属的晶体结构	1
第二节 金属的结晶	5
第三节 合金的构造	9
第四节 铁碳合金相图	12
复习题	27
第二章 常见铸造缺陷	29
第一节 常见铸造缺陷产生的原因及防止方法	29
第二节 熔化、浇注与铸造缺陷的关系	35
复习题	38
第三章 铸铁	39
第一节 常用铸铁的生产	39
第二节 特种铸铁简介	61
第三节 常用铸铁的金相组织	74
第四节 铸铁中的主要元素	83
复习题	89
第四章 熔化设备	90
第一节 常用冲天炉的构造及熔化特点	90
第二节 工频感应电炉的构造及熔化特点	99
第三节 冲天炉炉型对熔化的影响	109
第四节 冲天炉主要结构参数对熔化的影响	112
第五节 常用加料设备	116
复习题	120
第五章 炉料	122
第一节 金属炉料	122

第二节	熔剂	130
第三节	燃料	131
复习题		137
第六章	熔化工艺	139
第一节	常用铸铁的熔化工艺	139
✓ 第二节	冲天炉交界铁水的控制	157
✓ 第三节	炉况判断	158
✓ 第四节	铁水温度的控制	164
第五节	常见故障及处理	173
复习题		177
第七章	工艺规程及管理基本知识	178
第一节	工艺规程的基本知识	178
第二节	生产、技术管理基本知识	179
复习题		190

第一章 金属学基本知识

金属材料的化学成分不同其性能也不同。但在化学成分相同的条件下，若生产工艺条件不同，也会影响金属材料的性能，这是由于金属和合金的内部结构不同而导致性能差异的。

金属和合金的内部结构主要指晶体结构和显微组织。晶体结构是指原子的结合方式及其在金属和合金内部排列的形式。显微组织是指用显微镜观察放大30倍以上的金属和合金的各种组成相的不同形式、大小、数量以及它们之间的分布样式。

第一节 金属的晶体结构

一、基本概念

1. 晶体与非晶体 固体物质通常分为晶体和非晶体两大类，二者的根本区别是原子的排列是否有规律。

(1) 晶体 凡原子作有规则排列的物质称为晶体，例如冰、盐、石墨及所有的固态金属和合金等都属于晶体。

晶体的特点是：

① 有一定的熔化温度。例如铁的熔点为 1538°C 。这说明要想破坏晶体中原子排列的规则性，必需将其加热到一定的温度才行；

② 具有各向异性。指在晶体内各个方向上，具有不同的机械性能。这是由于内部晶格方位一致，因而在不同方向上原子排列密度不同、结合力不同的缘故。不过，实际金属

材料都是多晶体，单个晶体的各向异性相互抵消，所以一般并不显示各向异性的特征；

③ 具有规则的外形。每一种晶体都有自己规则的外形。

(2) 非晶体 凡是原子作散乱无序堆积的物质称为非晶体，例如普通玻璃、松香等都属于非晶体。

非晶体具有完全不同于晶体的特点：

- ① 没有固定的熔化温度；
- ② 具有各向同性；
- ③ 外形不规则。

2. 晶格与晶胞

(1) 晶格 实际晶体中的原子都是紧密地堆积在一起的，如图1-1所示。为了容易看清楚晶体中原子的不同的空间排列方式，一般用假想的线条将各原子的中心连接起来，这样就构成了一个假想的空间格架，每个原子都位于该假想空间格子的各结点上。这种用以描绘原子在晶体中排列形式的空间格架叫做“结晶格子”，简称“晶格”，如图1-2所示。

(2) 晶胞 为方便起见，通常取晶格中一个能代表原子在空间排列规则的最小基本单元来描述晶体结构，这一基本单元称为“晶胞”。晶胞的形状和大小足以代表整个晶格

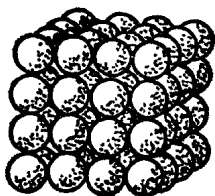


图1-1 实际晶体中原子的排列

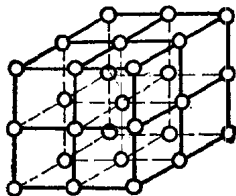


图1-2 金属的晶格

的结构特征。

二、金属晶格的基本类型

金属中最常见的晶格有三种：体心立方晶格、面心立方晶格、密排六方晶格。

1. 体心立方晶格 其特征是晶胞是一个正立方体，在立方体的八个角上和中心处各有一个原子，如图 1-3 所示。属于这一类型的金属有： α 铁、铬、钼、钒、钨等。

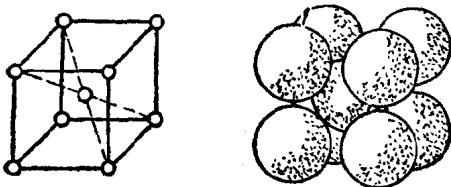


图1-3 体心立方晶格

2. 面心立方晶格 其特征是晶胞是一个正立方体，在立方体的八个顶角和立方体六个面的中心各有一个原子，如图 1-4 所示。属于这一类的金属有： γ 铁、铜、镍、金、银、铝等。

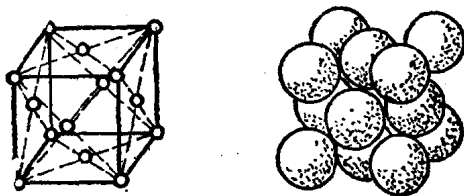


图1-4 面心立方晶格

3. 密排六方晶格 其特征是晶胞是一个六棱柱体，在六棱柱体的十二个角上及两个端面的中心各有一个原子，除此

之外，在六棱柱体的中心还有三个匀布的原子，如图 1-5 所示。属于这一类的金属有：镁、钛、锌、铍等。

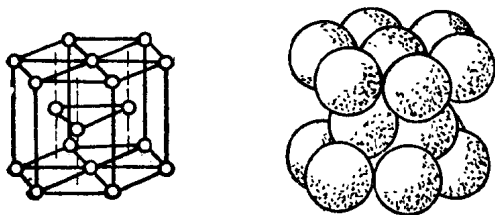


图1-5 密排六方晶格

从上述三种晶格类型可知：不同晶格类型的原子的排列规则和紧密程度是不一样的，这就使不同金属的塑性、强度、热处理及合金化效果以及其它物理、化学性能有明显的不同。

三、实际金属的晶体结构

实际金属都是多晶体。在显微镜下观察，工业上实际使用的金属都是由许多小晶体组成的，如图 1-6 所示。这些小晶体称为“晶粒”。每个晶粒是由许多位向相同的晶胞堆积而成的。晶粒与晶粒之间由于结晶方位的不同，便呈现出一定的交界线，这种晶粒之间的交界线称为晶界。金相显微镜看到的金属或合金的组织称为显微组织或金相组织。

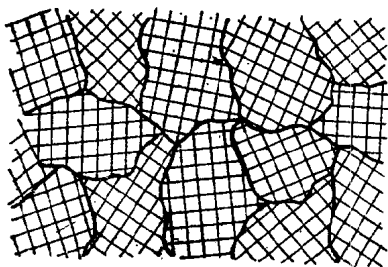


图1-6 多晶体示意图

第二节 金属的结晶

一、结晶概念

液态金属是由许多类似晶体结构的原子小集团所组成，其原子仅在由几个或几十个原子组成的小集团内部作规则排列，并且这种近程范围内的规则排列还时刻处于忽聚忽散的动荡不定的状态中。而固态金属原子则是在几百到几千个原子范围内作规则的并带有永久性的晶格排列。因此，结晶就是金属原子由不太规则堆积的液体状态转变为作规则排列的晶体状态的过程。

各种金属由液态转变为固态是在一定的结晶（相变）温度下进行的。例如铁的结晶温度是 1538°C 。在缓慢冷却和加热的平衡条件下，金属的结晶温度与它的熔化温度相当，这个平衡结晶温度用 T_0 来表示。

实际上，液态金属温度下降到 T_0 时并未开始结晶，而总是要在低于 T_0 的某一温度时才开始结晶，即实际的结晶温度 T_1 比 T_0 低。这样，就会出现当温度低于熔点时，金属仍然保持液态的现象，这种现象称为过冷现象。这种熔融金属平衡状态下的相变温度与实际相变温度的差值称为过冷度。过冷度的大小，以温度（ $^{\circ}\text{C}$ ）表示。

过冷度与冷却速度有关。冷却速度越大，则金属结晶的过冷度也越大；冷却速度越小，则过冷度也越小。

二、金属结晶的一般过程

金属的结晶过程由以下两个基本过程组成：产生微细的晶核（简称生核）和晶核成长（简称核生长）。

一般说来，金属的结晶过程如图1-7所示：a为某些部位的原子集团先后按晶格类型排列成微细的晶核；b为各晶核

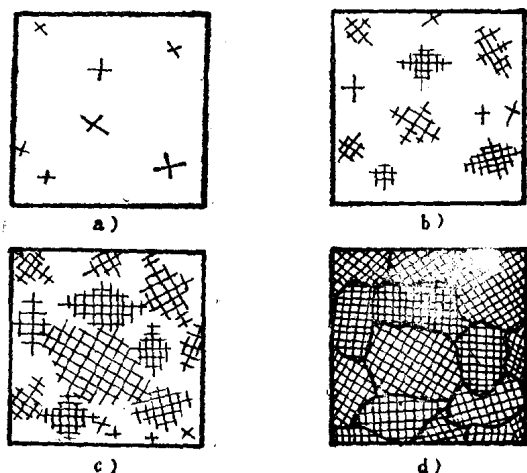


图1-7 液态金属结晶过程示意图

沿着不同方向按树枝长大的方式结晶成长；c为当成长的枝晶与相邻晶体的枝晶互相接触时，彼此阻碍成长；d为晶体向着尚未凝固的部位长大，直到枝晶间的液体金属全部凝固为止，最后得到树枝晶架被枝晶充实的晶粒。

由分析结晶过程可以看出：金属中的每颗晶粒是由一个晶核成长形成的；晶粒外形不规则，但晶粒内部的晶格位向大体相同；各晶粒之间的晶格位向因晶核成长的方向不同而异；晶界是由不同位向的晶粒在成长时互相接触而形成的，晶界比晶粒本身凝固稍后，因而晶界上总是容易富集低熔点的杂质。

晶核的形成有两种方式，即自发成核与非自发成核。熔融金属仅因过冷产生晶核的成核过程称为自发成核。熔融金属内原有的或加入的质点作为晶核的成核过程称为非自发成

核。

由于液态金属不可能绝对的纯净，其中总是或多或少含有某些固态杂质，因此，实际金属的结晶大都是非自发成核。在实际生产中，常常在液态金属中有意地加入一些能够促进非自发成核的物质，使晶核数目大为增加，从而获得细晶粒组织。这种以少量材料加入熔融金属，促进成核，以改善其组织和性能的方法称为孕育。所加入的材料称为孕育剂。例如孕育铸铁就是用硅铁或硅钙等作为孕育剂对铁水进行孕育处理而得到的。

三、晶粒大小及其控制

晶粒大小是影响金属机械性能的重要组织指标之一，与粗晶粒金属相比，细晶粒金属在常温时具有较高的强度、硬度、塑性和韧性。所以，控制晶粒的大小是提高铸件质量的一项重要措施。在单位体积内，形核数量越多，则晶粒越细，而促使成核的方法主要是增大过冷度和增加非自发成核的机会。因此生产上细化晶粒的方法主要是加快冷却速度和进行孕育处理。

1. 增加过冷度 当增大过冷度时，液态金属的实际结晶温度降低，其形核机会便增加，因此生成的晶核就越多，晶粒也就变细了。

由于过冷度与冷却速度有关：冷却速度越大，过冷度也越大，因此，加快冷却速度有利于获得细晶粒组织。生产中，常采用降低铸型温度和采用热导率大的铸型材料的办法来加快冷却速度。

2. 孕育处理 如果在液态金属中加入孕育剂，这些孕育剂会在液体中产生大量的固体微粒，这些固体微粒即成为外来晶核，使液体中晶粒数量迅速增加，因而显著细化了晶

粒。如在铁水中加入硅铁或硅钙合金能细化石墨，使石墨呈细片状均匀地分布在金属基体上，从而提高铸铁的强度。

实际生产中，采用孕育处理的方法来控制晶粒大小比采用增加过冷度的方法更具有实际意义。因为对于体积较大的铸件来说，单凭用加速冷却的方法促使其晶粒变细，这在生产工艺上是很困难的，并且效果也是有限的。如果利用非自发成核的方法，就能在大断面上有效地控制晶粒的大小。

四、纯铁的同素异晶转变

大多数金属结晶完成后晶格不再发生变化，但也有少数的金属，在结晶成固态后继续冷却时，还会发生晶格的变化，即从一种晶格转变为另一种晶格。固态金属在不同的温度下具有不同的晶体结构的属性称为同素异晶性。

例如铁就具有同素异晶性。它有两种晶格：当温度低于 912°C 或在 $1394\sim 1538^{\circ}\text{C}$ 范围内，呈体心立方晶格，称为 α 铁（阿尔法铁）；在 $912\sim 1394^{\circ}\text{C}$ 范围内呈面心立方晶格，称为 γ 铁（伽马铁）。有时也把高温的 α 铁称做 δ 铁（得耳塔铁）。如图1-8所示。金属在固态下的这种晶格变化称为同素异晶转变。

同素异晶转变必须通过原子的重新排列来完成，这和液相结晶时原子的重新排列是相似的，因此，实质上同素异晶转变也是一个结晶过程。为了和液相结晶过程相区别，通常把它称为重结晶。同素异晶转变也遵守结晶的一般规律：即有一定的转变温度；转变时需要过冷（或过热）；转变也包括生核和长大这两个过程。

铁的同素异晶性是铁极为重要的一种属性，铸造、锻造和热处理工艺都与这一属性有关。例如，原子在面心立方晶格的 γ 铁中排列的紧密程度要比体心立方晶格的 α 铁大，因

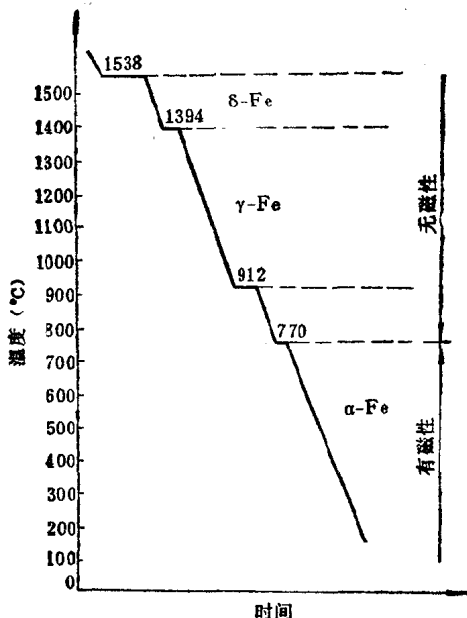


图1-8 铁的同素异晶转变

此当 γ 铁转变为 α 铁时，铁的体积要膨胀约1%。在较低的温度下，金属材料塑性较差，少量的体积变化，就可能引起明显的内应力，从而导致变形破裂。又如，两种晶格的铁溶解碳的能力是不一样的， γ 铁是面心立方晶格，原子间空隙较大，而 α 铁是体心立方晶格，原子间空隙很小，故 γ 铁溶解的碳量比 α 铁大得多，这就是为什么奥氏体转变为铁素体时有大量的石墨或碳化物析出的原因。因此，铁的同素异晶性具有很大的实际意义，它使钢铁热处理具有可能性，并是钢铁合金化的基础。

第三节 合金的构造

前面讲的主要是纯金属的组织结构，实际生产中大量使

用的都是合金。所谓合金，就是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。例如普通黄铜是铜和锌组成的合金，普通铸铁是铁与碳组成的合金。组成合金最基本的、独立的物质叫做组元，简称元。一般说来，组元就是组成合金的元素。例如铁碳合金的组元就是铁和碳。

合金中化学成分、晶体结构及性能相同的组成部分称为相。相与相之间具有明显的界面。例如铁在熔化后成为液相，结晶期间为液相和固相共存，结晶终了后则为单一的固相。

合金的结构比纯金属要复杂得多，由于构成合金的各组元之间相互作用的不同（如溶解、化合或混合），可以分为固溶体、金属化合物和机械混合物等三种类型的合金。

一、固溶体

当食盐（溶质）溶解于水（溶剂）则成为液溶体。固溶体的含意与液溶体相似，但它是在固态下一种组元以原子形式溶解在另一组元中而形成的固态溶体。因此固溶体就是溶质原子溶入溶剂的晶格中而仍保持溶剂晶格类型的一种金属固相。如灰铸铁结晶时析出的奥氏体固相就是碳原子溶解在 γ 铁的晶格中构成的固溶体。保持原有晶格的组元（铁）称为溶剂，晶体结构消失的组元（碳）称为溶质。

根据溶质原子在溶剂晶格中的分布情况，固溶体又有置换固溶体和间隙固溶体两种基本类型。

1. 置换固溶体 溶质原子占据了部分溶剂晶格结点的位置而形成的固溶体叫置换固溶体，如图 1-9 所示为硅溶于 α 铁的置换固溶体晶格。当两组元的化学性质相近，且原子直径相差不大时有利于形成置换固溶体。