



专用于国家职业技能鉴定

国家职业资格培训教程

金属热处理工

(初级技能 中级技能 高级技能)

JINSHU RECHULIGONG

劳动和社会保障部组织编写
中国就业培训技术指导中心

 中国劳动社会保障出版社

专用于国家职业技能鉴定

国家职业资格培训教程

金属热处理工

(初级技能 中级技能 高级技能)

劳动和社会保障部 组织编写
中国就业培训技术指导中心

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

金属热处理工. 初级技能、中级技能、高级技能/劳动和社会保障部中国就业培训技术指导中心组织编写. —北京: 中国劳动社会保障出版社, 2004

国家职业资格培训教程

ISBN 7-5045-4360-8

I. 金… II. 劳… III. 热处理—技术培训—教材 IV. TG156

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第044755号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街1号 邮政编码: 100029)

出版人: 张梦欣

*

北京市艺辉印刷有限公司印刷装订 新华书店经销

787毫米×1092毫米 16开本 16.5印张 409千字

2004年7月第1版 2004年7月第1次印刷

印数: 3200册

定价: 29.00元

读者服务部电话: 010-64929211

发行部电话: 010-64911190

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话: 010-64911344

国家职业资格培训教程

金属热处理工

编审委员会

主 任	陈 宇				
副主任	陈李翔	李 玲			
委 员	王宝金	陈 蕾	袁 芳	葛 玮	刘永澎
	沈照炳	应志梁	楼一光	秦克本	宋安祥
	马剑南	焦恒昌	吕一飞	徐文彦	陈寿龙
	朱庆敏	李智康	吴伟年	何春生	朱初沛
	张海英	吴以平	王一飞	应国强	

本书编审人员

主 编	李光瑾			
编 者	韩秀英	马 鸣	李光瑾	蔡 俞
主 审	裴凤琴			
审 稿	金 龙	左祥杰		

前 言

为推动金属热处理工职业培训和职业技能鉴定工作的开展,在金属热处理从业人员中推行国家职业资格证书制度,劳动和社会保障部中国就业培训技术指导中心在完成《国家职业标准——金属热处理工》(以下简称《标准》)制定工作的基础上,组织参加《标准》编写和审定的专家及其他有关专家,编写了《国家职业资格培训教程——金属热处理工》(以下简称《教程》)。

《教程》紧贴《标准》,内容上,力求体现“以职业活动为导向,以职业技能为核心”的指导思想,突出职业培训特色;结构上,针对金属热处理工职业活动的领域,按照模块化的方式,分初级、中级、高级、技师、高级技师5个级别进行编写。《教程》的基础知识部分内容涵盖《标准》的“基本要求”;技能部分的章对应于《标准》的“职业功能”,节对应于《标准》的“工作内容”,节中阐述的内容对应于《标准》的“技能要求”和“相关知识”。

《国家职业资格培训教程——金属热处理工(初级技能 中级技能 高级技能)》适用于对初级、中级、高级金属热处理工的培训,是职业技能鉴定的指定辅导用书。

本书由韩秀英、马鸣、李光瑾、蔡俞编写,李光瑾主编;裴凤琴、金龙、左祥杰审稿,裴凤琴主审。

由于时间仓促,不足之处在所难免,欢迎读者提出宝贵意见和建议。

劳动和社会保障部中国就业培训技术指导中心

目 录

第一部分 初级金属热处理工工作技能

第一章 工艺准备	(1)
第一节 识读热处理工艺文件	(1)
第二节 金属学基础知识	(2)
第三节 铁碳合金	(7)
第四节 金属热处理原理	(15)
第五节 热处理前的准备工作	(21)
第二章 热处理操作	(24)
第一节 钢的退火与正火	(24)
第二节 钢的淬火与回火	(31)
第三节 钢的表面淬火	(46)
第四节 钢的化学热处理	(55)
第五节 热处理零件的表面清理及防锈	(66)
第三章 检测工作及误差分析	(72)
第一节 硬度检测和金相检测	(72)
第二节 误差分析及预防措施	(76)
第四章 热处理设备及安全操作	(81)
第一节 热处理设备的操作	(81)
第二节 热处理安全操作	(85)

第二部分 中级金属热处理工工作技能

第五章 工艺准备	(88)
第一节 合金钢基本知识	(88)
第二节 钢的火花鉴别	(97)
第三节 工艺编制与生产技术管理基本知识	(100)
第四节 热处理前的准备工作	(101)
第六章 热处理操作	(104)
第一节 调质钢的热处理	(104)
第二节 弹簧钢的热处理	(109)
第三节 滚动轴承钢的热处理	(116)
第四节 工具钢的热处理	(122)

第五节 高速钢的热处理	(130)
第六节 模具钢的热处理	(138)
第七节 铸铁的热处理	(148)
第八节 表面改性热处理	(158)
第七章 检测工作及误差分析	(172)
第一节 硬度检测	(172)
第二节 金相检测	(173)
第三节 误差分析	(177)
第八章 热处理设备的使用、维护与保养	(181)
第一节 热处理加热设备	(181)
第二节 控制气氛制备设备	(193)

第三部分 高级金属热处理工作技能

第九章 工艺准备	(197)
第一节 编制热处理工艺	(197)
第二节 热处理前的准备工作	(201)
第十章 热处理操作	(208)
第一节 正火、退火、淬火、回火操作	(208)
第二节 表面改性热处理	(214)
第三节 铝合金和铜合金的热处理	(218)
第四节 特殊钢的热处理	(222)
第五节 零件校直与矫正处理	(226)
第十一章 检测工作及误差分析	(229)
第一节 质量检测	(229)
第二节 误差分析及预防措施	(236)
第十二章 热处理设备的使用、维护与保养	(245)
第一节 电阻炉	(245)
第二节 真空热处理炉	(249)
第十三章 培训指导	(253)

第一部分 初级金属热处理工工作技能

第一章 工艺准备

学习目标：了解金属学基础知识和金属热处理原理，掌握 Fe-Fe₃C 相图中的有关知识和 Fe-Fe₃C 相图的实际应用；能识读热处理工艺文件，正确执行工艺操作。

第一节 识读热处理工艺文件

一、热处理工艺特点

1. 热处理是将零件放在一定的介质中加热、保温和冷却，通过改变金属材料表面或内部组织来控制其性能的工艺方法。

2. 热处理是零件制造过程中的中间工序，它受前后工序的制约，要求操作者必须了解零件热处理前后的加工工序即加工工艺流程。

3. 热处理是在高温下进行的，设备比较复杂，过程控制常常需要各种仪器仪表，因此，要求操作者必须遵守工艺纪律，正确执行热处理规程。

4. 影响热处理产品质量的因素多而且比较复杂，热处理产品质量不仅取决于设备、控制手段，还取决于操作者的责任心和技术水平。因此，操作者不仅能根据零件图的技术要求，合理选用设备、工装夹具和确定有关的热处理工艺参数，并且还能正确使用和维护热处理设备及测温控温装置；能合理、准确地选择冷却介质及零件的冷却方式；能通过目测火色判断炉温和正确掌握冷却时间等。

5. 热处理使用电、盐、油、气等，易发生触电、中毒、爆炸等事故，所以安全生产极为重要。

6. 热处理操作之前，必须识读工艺文件，进行核对，即核对零件的形状、尺寸、数量、材料、技术要求是否与工艺卡相符。严格按“三按”进行操作。

二、热处理工艺文件

1. 热处理工艺规程

热处理工艺规程是根据零件的技术要求制定的作业指导书。一般都是用表格的形式来表述的，其内容包含有：零件的热处理技术要求、材料牌号、形状、尺寸，操作程序，使用设

备, 工艺参数, 工时定额, 装夹方法, 检验方法等。

2. 工艺守则

工艺守则是通用性工艺文件, 对所有零件都适用, 是完成工艺要求所必须遵守的原则, 如热处理零件淬火操作守则、设备的操作守则、检验操作规程、安全操作守则等。

3. 热处理工艺卡片

热处理工艺卡片是每种零件进行生产的工艺操作程序文件。工艺卡片的内容有: 产品型号、零件名称、零件号、材料牌号、有效厚度、单件重量、零件简图、技术要求、加工程序、工序名称(工序号)、工艺参数(如设备、加热温度、保温时间, 冷却介质、冷却温度及时间等), 还有拟订、校对、审核、批准者的签名及日期。

这些工艺文件都是生产法规, 操作者必须严格按照规定进行操作, 检查人员按规定对产品质量进行检查。

第二节 金属学基础知识

一、金属的晶体结构

自然界中, 一切物质都是由原子组成的。按照原子在物质内部的排列方式, 可以把物质分为晶体和非晶体两大类。金属和合金属于晶体。

1. 晶体的特点

原子按一定几何形状有规则、有次序地排列的物质称为晶体。晶体的特点是: 有规则的外形; 有固定熔点; 具有各向异性。

2. 晶体结构

(1) 晶格

为了便于分析各种晶体中原子排列的规律可以用假想线将各原子的中心连接起来, 这样就构成了空间格子。这种用来描述晶体原子排列形成的空间格子叫做“晶格”。晶格中线与线的交点就是原子所在的正常位置。可以把每两个原子中心的连线想像成原子之间的结合力, 只要原子处于晶格中的正常位置, 它所受到的每一对力都正好相互抵消。

(2) 晶面和晶向

晶格是由一层层的原子堆砌而成, 晶格中各种方位的原子层叫“晶面”。

晶格中由原子组成的任一条直线, 它代表原子在晶体中的排列方向, 这些直线就叫做“晶向”。

(3) 晶胞

用晶格来描述晶体结构很不方便, 为了方便起见, 通常取晶格中的一个最基本的单元, 称之为“晶胞”。

二、金属晶体中最常见的晶格类型

1. 体心立方晶格

体心立方晶格的晶胞是一个立方体，在立方体的每一个角上和立方体的中心都有一个原子。如 α -铁、铬、钨、钼、钽等金属均具有这种晶格形式。

2. 面心立方晶格

面心立方晶格晶胞是一个立方体，在立方体的每一个角上（共 8 个角）和每一个面上（6 个面）的中心都有一个原子。具有这种晶格形式的金属有 γ -铁、铝、铜、镍等。

3. 密排六方晶格

密排六方晶格晶胞是一个六方柱体。在六方柱体的每一个角上和上下底面的中心各排列一个原子，在柱体中心还排列有三个原子。具有这种晶格形式的金属有镁、锌、钛等。

三、实际金属的晶格结构

以上所讲的晶体结构是理想状态下的晶体结构，实际上金属的晶体结构与理想的晶体结构相差很大。

1. 单晶体与多晶体

晶体分为单晶体和多晶体。晶胞都按相同方向排列的晶体称为单晶体。例如，单晶硅（制造半导体元件的材料）。由许多结晶方位不同的小晶体集合而成的晶体称为多晶体，如图 1—1 所示。大多数金属材料都是多晶体结构。

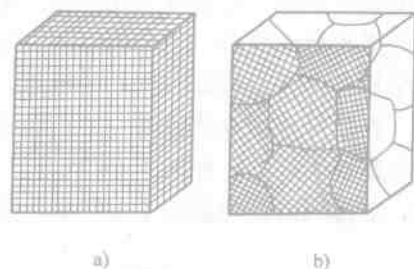


图 1—1 单晶体和多晶体结构示意图

a) 单晶体 b) 多晶体

2. 晶粒与晶界

金属结晶后形成外形大小不规则而内部晶格排列方向一致的每一个微小晶体称为晶粒。多晶体就是由许多大小不一、外形不规则的晶粒所组成。晶粒与晶粒之间的交界面称为晶界。

3. 实际金属的晶体缺陷

实际晶体结构是不完整的，这对金属材料的性能有显著的影响。实际晶体缺陷有三类。

(1) 空位和间隙原子

由于原子热振动的影响，在晶体中原子可能离开原来占有的位置而造成“空位”。而离开了原来位置的原子（或外来杂质原子）跑到晶格间隙中便形成了“间隙原子”，如图 1—2 所示。

空位和间隙原子的运动，是金属晶体中原子扩散运动的主要方式之一。它直接影响着金属的某些性能和在金属中发生的某些物理化学过程。例如，化学热处理过程的进行，就是依赖于原子的这一扩散运动。

(2) 位错

它是一种线性的晶体不完整性。实际上就是晶体中某处有一列或若干列原子发生了有规律的错排现象。这种错排的类型很多，其中最简单的一种形式为刃型位错，如图 1—3 所示。刃型位错是沿着某一个晶面插入了一个原子平面但没有插到底而形成的位错。

实际金属晶体中存在大量的位错，一般在—平方厘米面积上含有 10^8 个位错。经冷加工变形后位错数目可达到每平方厘米 10^{12} 个。由于位错密度增加，因而使金属强度大大提高了。

(3) 晶界与亚结构

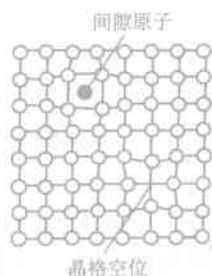


图 1—2 晶体中空位和间隙原子示意图

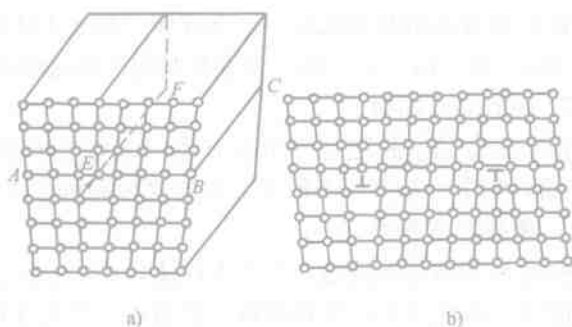


图 1—3 刃型位错示意图

a) 立体图 b) 平面图

多晶体金属中，晶界处原子排列不规则，并常有杂质存在，这是金属材料中存在的一种很普遍的缺陷，它会使金属晶格产生畸变，图 1—4 所示为晶界的过渡结构示意图。所以晶界处无论化学成分、结构和性能都与晶体内部有所差别。如抗蚀性晶界比晶粒内部差；细晶粒金属（由于晶界面积大）的硬度、强度比粗晶粒金属的高。

在实际金属晶体的每一个晶粒内部，都是由许多位向差很小的小晶块相互镶嵌而成，这些小晶块叫亚晶，如图 1—5 所示。亚晶与亚晶之间的分界称为亚晶界，它的作用与晶界相似，对金属的性能起着重要影响。亚结构的细化，可使金属强度提高。

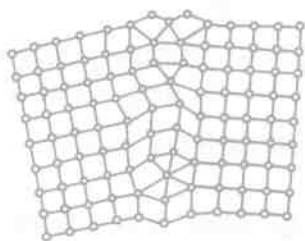


图 1—4 晶界的过渡结构示意图

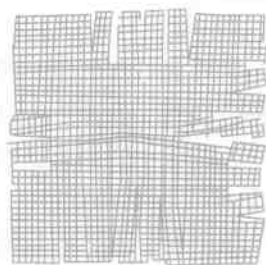


图 1—5 亚晶结构示意图

四、纯铁的性能与同素异构转变

1. 纯铁的性能

- (1) 杂质：不超过 0.01%。
- (2) 熔点：1 538℃。
- (3) 力学性能：硬度 HB80。

2. 同素异构转变

(1) 同素异构转变

金属在固态下随温度的改变，由一种晶格转变为另一种晶格的现象称为金属的同素异构转变。具有同素异构转变的金属只有铁、锰、锡、钛等少数金属，而多数金属结晶以后的晶体结构不再发生变化。

(2) 铁的同素异构转变

纯铁的冷却曲线如图 1—6 所示。由图可知液态纯铁在 1 538℃时进行结晶，得到具有体

心立方晶格的 $\delta\text{-Fe}$ ，继续冷却到 1394°C 时，发生同素异构转变，转变为具有面心立方晶格的 $\gamma\text{-Fe}$ ，继续冷却到 912°C 时，又发生同素异构转变，转变为具有体心立方晶格的 $\alpha\text{-Fe}$ 。如果再继续冷却，晶格类型不再发生转变。纯铁的同素异构转变可用下式表示：



(3) 铁的同素异构转变特点

铁的同素异构转变是铁原子由一种晶格形式向另一种晶格形式的过渡。这种过渡必然伴随着原子排列形式的重新组合，而这种组合实际上是一种结晶过程。不过它不是从液态向固态的转变，而是由一种固态晶格向另一种固态晶格形式的转变。这种结晶过程与液态金属的结晶过程有相似之处，即有一定的转变温度，同样遵循晶核的形成和长大的结晶规律，伴有放热或吸热现象。

由于同素异构转变是在固态下发生的，与液态金属结晶相比又具有不同之处。例如， $\gamma\text{-Fe}$ （面心立方）原子排列密度较大而体积较小，冷却到 912°C 时，转变为原子排列密度小而体积大的 $\alpha\text{-Fe}$ （体心立方）会产生体积的变化。尽管这种体积变化的其绝对值不大，但当转变温度较低时会产生很大的内应力。这就是零件在热处理过程中产生变形、开裂的重要原因之一。

金属的同素异构转变具有很重要的意义。正是由于铁具有这一特性，生产中才能对钢和铸铁进行热处理以改变其内部组织，改善其性能。

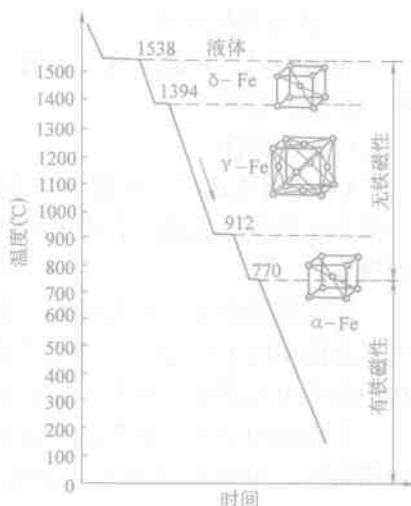


图 1-6 纯铁的同素异构转变

五、合金的相结构

1. 关于合金的概念

(1) 合金

合金是指由两种或两种以上的元素（主要是金属元素）熔合在一起组成的具有金属特性的物质。例如，钢、铸铁、黄铜、硬铝等都是合金。合金除具有纯金属的基本特性外，还具有纯金属不具有的一些力学性能和物理化学性能指标。

(2) 组元

组成合金最基本的、独立的物质称为组元。组元一般是指组成合金的纯元素，或是稳定的化合物，如铁碳合金中的 Fe_3C 。

(3) 合金系

由若干个给定组元可以配制成一系列成分不同的合金称为合金系。例如， $\text{Fe}-\text{C}$ 合金系。根据组元数目的多少可称为二元合金系、三元合金系。

(4) 相

在合金系中，具有相同的物理、化学性能并与该系统的其他部分以界面分开的这部分称为相。例如，液态合金是一个相，而在结晶过程中固体和液体并存，即为两相。合金的性能主要是由组成合金的各个相的结构、性能、形态、分布和各相的相对量所决定的。要了解合金的性能，必须先了解合金的基本相结构。

2. 合金的基本结构

由两种以上元素组成合金时，在固态下合金的基本组织结构分为三类：固溶体、化合物、机械混合物。

(1) 固溶体

1) 固溶体定义 所谓固溶体是指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合金晶体。根据溶质原子在溶剂晶格中所处位置不同，固溶体又分为间隙固溶体和置换固溶体。

①间隙固溶体 溶质原子分布在溶剂晶格间隙位置而形成的固溶体叫间隙固溶体，其结构示意图如图 1—7 所示。铁能与碳、氮、硼等非金属元素形成间隙固溶体。组成间隙固溶体的溶质组元都是一原子半径很小的非金属元素，而溶剂组元多为过渡族金属元素。

②置换固溶体 溶质原子在晶格中占据了部分溶剂原子结点的位置而形成的固溶体叫置换固溶体，如图 1—8 所示。如硅、锰、铬、镍、钨、钼等能溶于铁中形成置换固溶体。

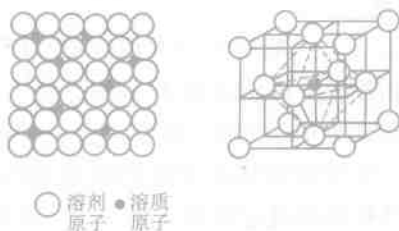


图 1—7 间隙固溶体结构示意图

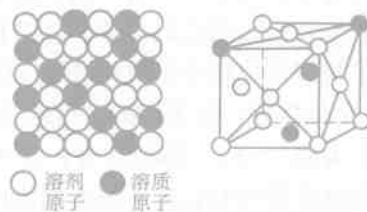


图 1—8 置换固溶体结构示意图

根据溶质在溶剂中的溶解情况，置换固溶体可分为无限固溶体和有限固溶体。若两组元能以任意比例相互溶解即称之为无限固溶体。反之，当溶质原子只能以一定比例溶解于溶剂中时，即称之为有限固溶体。由于溶剂晶格的间隙是有限的，所以间隙固溶体只能是有限固溶体。

2) 固溶强化 形成固溶体后，由于在溶剂晶格中溶入了溶质元素，必然会使溶剂晶格发生畸变，图 1—9 所示为形成固溶体时的晶格畸变。

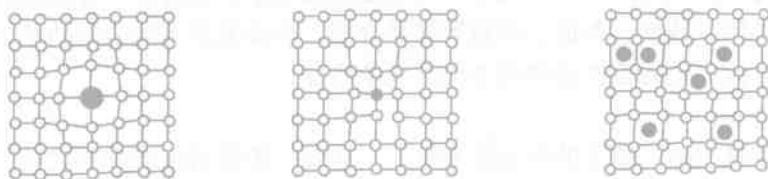


图 1—9 形成固溶体时的晶格畸变

晶格畸变对金属性能会产生很大影响，是提高金属材料力学性能的重要途径之一。这种通过溶入溶质原子形成固溶体，使金属材料的强度、硬度提高的现象称为固溶强化。例如，适当控制固溶体中溶质的含量，可以使固溶体不但具有比纯金属高的强度和硬度，同时仍具有良好的塑性和韧性。固溶体还具有比纯金属更高的电阻率、更小的电阻温度系数和线胀系数。实际使用的金属材料，大多数是以固溶体作为合金中的基本相。

(2) 化合物

由多种元素按一定原子比数结合的物质称为金属化合物，它的结构不同于组成元素的结

构。金属化合物有一定的化学成分（一般可用分子式来表示其组成），并具有与组成它的任一组元素完全不同的复杂晶格，而且组元原子在晶格中占据有固定的位置。

金属化合物一般比纯金属熔点高，硬而脆，塑性、韧性差。当合金中存在有金属化合物时，根据金属化合物本身的结构、性能及其在合金中的相对量、形状、大小和分布特点，将对合金的性能产生不同的影响。

(3) 机械混合物

由两种以上的固溶体或由固溶体和化合物不按一定比数混合而构成的组织称为机械混合物。

在机械混合物中各个相仍保持各自的晶格和性能。机械混合物的性能取决于各组成相的性能及各相的数量、形状、大小及分布状况。机械混合物构成的合金比单相固溶体具有更高的强度和硬度，而塑性、韧性及抗腐蚀能力比单相固溶体低。

第三节 铁 碳 合 金

钢和铸铁是现代机械制造业中应用最广、用量最大的金属材料，尽管它种类繁多，成分各异，但它均属于铁和碳的合金。

一、铁碳合金基本相

铁碳合金在固态下有三种基本相。

1. 铁素体

碳溶于 α -Fe或 δ -Fe中所形成的间隙固溶体称为铁素体，碳溶于 α -Fe中只能固溶微量碳原子，固溶度仅有0.006%（质量分数、下同）。在727℃时其固溶量达到最大值0.0218%。铁素体常用符号 α 、F或 δ 表示，为体心立方晶格。由于铁素体的固溶碳量极少，故其性能与纯铁相近，有良好的塑性和韧性，强度和硬度较低。在低于770℃时具有磁性，高于此温度磁性消失。铁素体是铁碳合金在常温下的基本组织。

2. 奥氏体

碳溶于 γ -Fe晶格中形成的间隙固溶体称为奥氏体。常用符号A（或 γ ）表示。由于 γ -Fe是面心立方晶格，其晶格空隙尺寸较大，故其固溶碳原子的能力比铁素体强。在1148℃时，奥氏体的固溶度达到最大值2.11%（质量分数、下同）。随温度降低其固溶度下降，在727℃时固溶量减少到0.77%。奥氏体是铁碳合金的高温组织。在平衡条件下，它的最低存在温度为727℃。由于奥氏体含碳量比铁素体高，因此，奥氏体的强度和硬度较铁素体高（硬度HB170~220、抗拉强度 R_m 392~833 MPa）；又由于奥氏体是单相固溶体组织，所以其塑性较好，变形抗力较低（伸长率A40%~50%）。大多数钢在进行压力加工和热处理时，均加热到奥氏体状态。奥氏体无磁性。

3. 渗碳体

当铁碳合金中的含碳量超过其在铁的固溶度时，铁和碳相互作用形成具有复杂的八面体晶格结构的化合物称为渗碳体。渗碳体用化学分子式 Fe_3C 表示。其含碳量为6.69%（质量

分数)。熔点高约为 $1\,227^{\circ}\text{C}$ ，硬度高达 $\text{HB}800\sim 1\,000$ ，塑性、韧性几乎为零，是铁碳合金系中的强化相。由于形成条件的不同，渗碳体可以呈片状、网状、粒状、条状等形态，对材料的力学性能影响很大。

二、简化的 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 相图

铁碳合金相图是表示在极缓慢加热（或极缓慢冷却）的条件下不同成分的铁碳合金，在不同温度下所具有的状态或组织的图形。从铁碳合金相图中可以了解铁碳合金的成分、组织与性能之间的关系。由于碳的质量分数 w_{C} 大于 6.69% 的铁碳合金脆性极大，没有实用价值，一般只研究相图中 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 相图部分，如图 1—10 所示。图中纵坐标表示温度，横坐标表示碳的质量分数。为了便于掌握和分析 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 相图，将相图上实用意义不大的左上角部分（液相向 $\delta-\text{Fe}$ 及 $\delta-\text{Fe}$ 向 $\gamma-\text{Fe}$ 转变部分）以及左下角 GPQ 线左边部分省略，经简化后的 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 相图如图 1—11 所示。

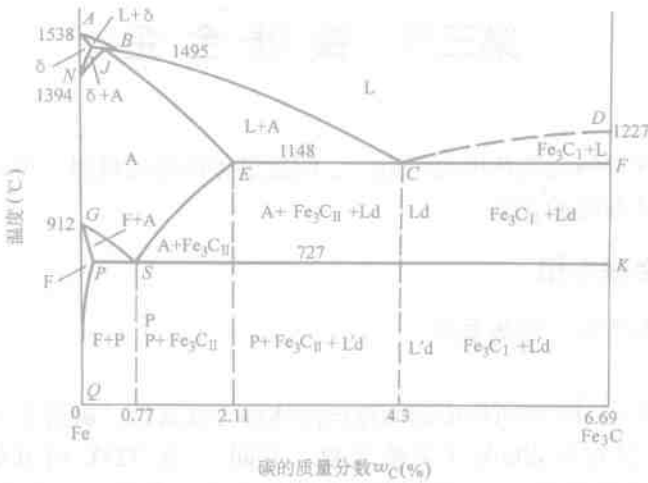


图 1—10 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 相图

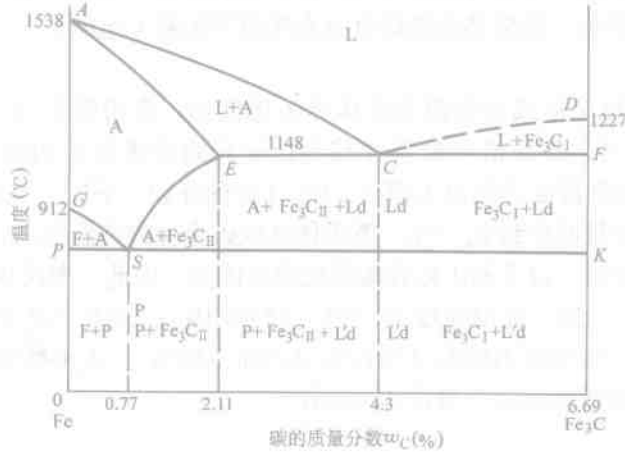


图 1—11 简化后的 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 相图

1. Fe-Fe₃C 相图的主要点、线、区

Fe-Fe₃C 相图中的几个主要点见表 1—1。Fe-Fe₃C 相图中几个主要特性线的意义如下:

表 1—1 Fe-Fe₃C 相图中的几个主要点

点的符号	温度 (°C)	碳质量分数 w_C (%)	点的含义
A	1 538	0	纯铁的熔点
C	1 148	4.3	共晶点 $L_{4.3} \rightleftharpoons A_{2.11} + Fe_3C$
D	1 227	6.69	渗碳体的熔点
E	1 148	2.11	碳在奥氏体中最大溶解度
G	912	0	$\alpha-Fe \rightleftharpoons \gamma-Fe$ 同素异构转变点
S	727	0.77	共析点 $A_{0.77} \rightleftharpoons F + Fe_3C$

ACD 线为液相线, 此线以上合金呈单相液态。铁碳合金冷却到此线开始结晶, AC 线以下结晶出奥氏体, CD 线以下结晶出渗碳体。

AECF 线为固相线, 此线以下合金呈固态, 加热到此线温度时, 合金开始熔化。在液相线和固相线之间为合金的结晶区域, 区域内液体和固体共存。AEC 区域内为液体和奥氏体, DCF 区域内为液体和渗碳体。

GS 线为冷却时奥氏体析出铁素体的开始线, 也是加热时铁素体转变为奥氏体的终了线, 常用 A_3 表示。由相图可见, 随着碳的质量分数的增加, 合金的转变温度沿 GS 线逐渐降低。

ES 线为碳在奥氏体中的溶解度曲线, 常用 A_{cm} 表示。从相图可见, 1 148°C 时, 碳在奥氏体中的溶解度最大, 碳的质量分数 w_C 为 2.11%, 727°C 时碳在奥氏体中的溶解度最小, 碳质量分数 w_C 仅为 0.77%。这说明碳的质量分数 w_C 大于 0.77% 的铁碳合金, 自 1 148°C 冷却到 727°C 的过程中, 随着温度的下降, 碳在奥氏体中的溶解度沿着 ES 线逐渐降低, 过剩的碳将以渗碳体的形式从奥氏体中析出, 这种渗碳体通常称为二次渗碳体, 用 Fe_3C_{II} 表示。

水平线 ECF (1 148°C) 为共晶转变线, 碳的质量分数 w_C 为 2.11% 到 6.69% 的铁碳合金, 自液态冷却到 1 148°C 时, 都要发生共晶转变, 即从液态合金 (C 点成分) 中同时结晶出奥氏体 (E 点成分) 和渗碳体的两相机械混合物, 称为莱氏体, 也称共晶体, 用 L_d 表示。

水平线 PSK (727°C) 为共析转变线, 常用 A_1 表示。碳的质量分数 w_C 为 0.021 8% 到 6.69% 的铁碳合金, 冷却到 727°C 时, 都要发生共析转变, 即从奥氏体 (S 点成分) 中同时析出铁素体 (P 点成分) 和渗碳体的两相机械混合物, 称为珠光体, 也称共析体, 用 P 表示。Fe-Fe₃C 相图中特性线见表 1—2。

表 1—2 Fe-Fe₃C 相图中的特性线

特性线	线的含义
ACD	铁碳合金的液相线
AECF	铁碳合金的固相线
GS	冷却时奥氏体析出铁素体的开始线。常用 A_3 表示
ES	碳在奥氏体中溶解度线, 常用 A_{cm} 表示
ECF	共晶转变线, $L_{4.3} \rightleftharpoons A_{0.77} + Fe_3C$
PSK	共析转变线, $A_{0.77} \rightleftharpoons F_{0.0218} + Fe_3C$, 常用 A_1 表示

简化后的 Fe-Fe₃C 相图 (图 1—11) 中共有 12 个相区, 它们包括 5 个单相区、5 个二相区、2 个三相区。Fe-Fe₃C 相图中的相区见表 1—3。

表 1—3 Fe-Fe₃C 相图中的相区

单相区		两相区		三相区	
相区范围	相组成	相区范围	相组成	相区范围	相组成
ACD 线以上	L	ACEA	L + A	ECF 线	L + A + Fe ₃ C
AESGA	A	CDFC	L + Fe ₃ C	PSK 线	A + F + Fe ₃ C
GPQOG	F	GSPG	A + F		
DFK 轴线	Fe ₃ C	EFKSE	A + Fe ₃ C		
ANG 轴线	Fe (纯铁)	QPSK 线以下	F + Fe ₃ C		

2. 杠杆定律

通过合金状态图不仅可以了解一定成分合金在一定温度下两个平衡相的成分, 同时还可利用所谓杠杆定律求出该两平衡相的相对重量。

如图 1—12 所示, 成分为 $x\%$ (质量分数, 下同) 的合金在温度 t 时, 其温度线与液相线相交于 a , 表示液相 L_a 含 $x_1\%$ B; 与固相线相交于 b , 表示固相 α_b 含 $x_2\%$ B。

设合金总重量为 Q , 液相重量为 Q_L , 固相重量为 Q_a 。

由于合金的总重量是液相和固相重量之和, 合金中总的含 B 量应与液相和固相含 B 量的总和相等, 因此, 得到式 (1—1) 及式 (1—2):

$$\begin{cases} Q = Q_L + Q_a & (1-1) \\ xQ = x_1 Q_L + x_2 Q_a & (1-2) \end{cases}$$

(1—1) 代入 (1—2), 则

$$\begin{aligned} x(Q_L + Q_a) &= x_1 Q_L + x_2 Q_a \\ (x_2 - x) Q_a &= (x - x_1) Q_L \end{aligned} \quad (1-3)$$

由图 1—12 可知:

$$x_2 - x = bc, \quad x - x_1 = ac,$$

以此代入式 (1—3) 后即为

$$bc \cdot Q_a = ac \cdot Q_L$$

或

$$\frac{Q_a}{Q_L} = \frac{ac}{bc} \quad (1-4)$$

对于一定成分的合金, ac 与 bc 皆为已知, 即可据此求出液相与固相的重量之比。

根据式 (1—4) 还可求出固相与液相占合金总量的百分比。

由

$$\frac{Q_a}{Q_L} = \frac{ac}{bc}, \quad \text{可得到} \quad \frac{Q_a}{Q_a + Q_L} = \frac{ac}{ac + bc}$$

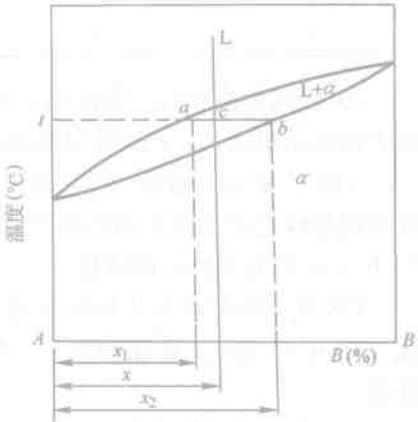


图 1—12 杠杆定律的证明