



焊接常用方法操作技术系列

HANJIE CHANGYONG FANGFA CAOZUO JISHU XILIE

气体保护 电弧焊 一本通

洪松涛 林圣武 郑应国 胡宝良 主编

上海科学技术出版社

焊接常用方法操作技术系列

气体保护电弧焊一本通

洪松涛 林圣武 主编
郑应国 胡宝良

上海科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

气体保护电弧焊一本通/洪松涛等主编. —上海:上海科学技术出版社, 2011. 1

(焊接常用方法操作技术系列)

ISBN 978-7-5478-0372-1

I. ①气... II. ①洪... III. ①气体保护焊—基本知识
②电弧焊—基本知识 IV. ①TG444

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 116884 号

上海世纪出版股份有限公司
上海科学技术出版社 出版、发行

(上海钦州南路 71 号 邮政编码 200235)

新华书店上海发行所经销

苏州望电印刷有限公司印刷

开本 787×1092 1/32 印张:14.375

字数:298 千字

2011 年 1 月第 1 版 2011 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5478-0372-1/TG·13

印数:1-4 250

定价:35.00 元

本书如有缺页、错装或损坏等严重质量问题,
请向工厂联系调换

内 容 提 要

本书共分九章,其中第一至第三章主要介绍焊工必须熟悉和了解的焊接基础知识以及焊接应力与变形、焊接接头常见缺欠与检验的相关内容。第四至第七章,以详细叙述气体保护电弧焊的焊接电弧、焊接熔池的形成与熔滴过渡、焊接化学冶金的原理以及焊接结晶与热影响区对焊接质量的影响为基础,重点对常用的 TIG 焊、CO₂ 焊、MIG 焊的原理、特点、设备与工艺以及操作技术作较为详细的叙述,并对脉冲氩弧焊、药芯焊丝气体保护焊、MAG 焊、CO₂ 点焊等工艺的原理、特点及应用作适当的介绍。第八章着重对常用金属材料的焊接性作较详细的分析,并辅以适量的操作实例。第九章主要介绍焊接作业人员必须关注并掌握的焊接与(热)切割的安全技术。

第一章

焊接基础知识

焊接是通过加热或加压,或者两者并用,并且用或不用填充材料,使工件达到结合的一种方法。焊接的对象不仅仅是金属之间的焊接,如同种钢、异种钢之间的焊接,有色金属之间的焊接,钢与有色金属之间的焊接,还有金属与非金属之间的焊接等。

本章主要以金属为焊接对象,对金属的结构、结晶过程及金属的力学与工艺性能等金属学的基础知识作一简要介绍。并以铁碳合金为主线,以铁-渗碳体相图为基础,对钢材的基本组织结构及相关的热处理知识,作较详细的分析与介绍。同时介绍了常用钢材、有色金属及焊接接头与焊缝形式等的有关内容。

第一节 金属学知识

1. 金属的结构

不同的金属材料具有不同的力学性能,但即便是同一种金属材料,在不同的条件下(如经热处理后),其力学性能也不尽相同。这种差异是由其化学成分及其组织结构所决定的。

1) 纯金属的结构

(1) 晶体与非晶体 自然界中所有的固态物质,均以晶体或非晶体的形态存在。晶体是指原子在三维空间按一定规律作周期性排列的固体,固态的金属都是晶体。晶体都具有

一定的熔点、硬度、塑性及导电性、导热性等特征。而非晶体则其内部原子的空间排列是杂乱无序的,更无晶体所具有的特征,如普通的玻璃。

(2) 晶格与晶胞 为形象地表示晶体内部原子在空间按一定规则排列的状态,可将原子看做是一个个小球,而晶体就是由这些小球有规则地堆垛而成的,如图 1-1 所示。

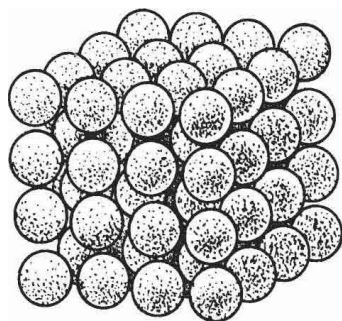


图 1-1 晶体中原子排列示意图

为更清楚地表明原子在空间排列的规律性,可将小球简化成一个点,用假想的连线将这些点连结起来,就构成了有明显规律性的空间格架。这种描述晶体中原子排列规律的空间格架称为晶格,见图 1-2a。

能够完整反映晶格特征的最小几何单元称为晶胞。晶胞的棱边长度称为晶格常数,见图 1-2b。

(3) 常见金属晶格类型 最常见的金属晶格有体心立方晶格、面心立方晶格与密排六方晶格。

① 体心立方晶格。它的晶胞是一个立方体,在立方体的八个顶角与立方体的中心各有一个原子,见图 1-3a。如 α -铁、铬(Cr)等。

② 面心立方晶格。它的晶胞也是一个立方体,在立方体

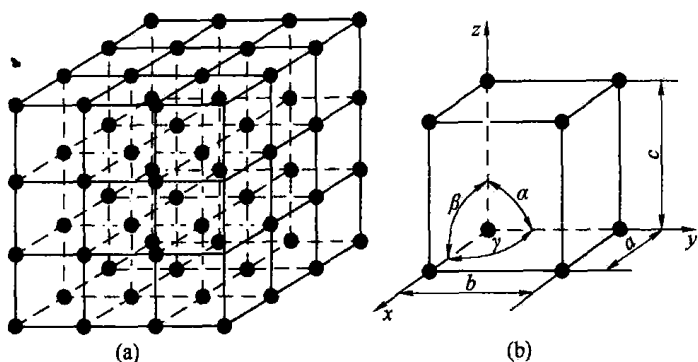


图 1-2 晶格与晶胞

(a) 晶格; (b) 晶胞与晶格常数

的八个顶角与其六个面的中心各有一个原子, 见图 1-3b。如 γ -铁、铜(Cu)等。

③ 密排六方晶格。它的晶胞是一个正六方柱体, 在六方柱体的十二个顶角及其上下两个底面中心各有一个原子, 六方柱体中心还有三个原子, 见图 1-3c。如锌(Zn)、镁(Mg)等。

(4) 金属的同素异构转变 固态下, 大部分金属只有一种晶格类型, 但也有少数金属具有两种或两种以上晶格类型。这类金属在冷却或加热过程中, 随着温度的变化, 其晶体结构也随之发生转变。

金属在固态下, 随着温度的改变, 由一种晶格类型转变为另一种晶格类型的过程, 称为同素异构转变(又称重结晶)。固态下, 同一种金属的不同晶体结构称为该金属的同素异构体。

在金属晶体中, 铁是典型的具有同素异构转变的金属, 如图 1-4 所示。

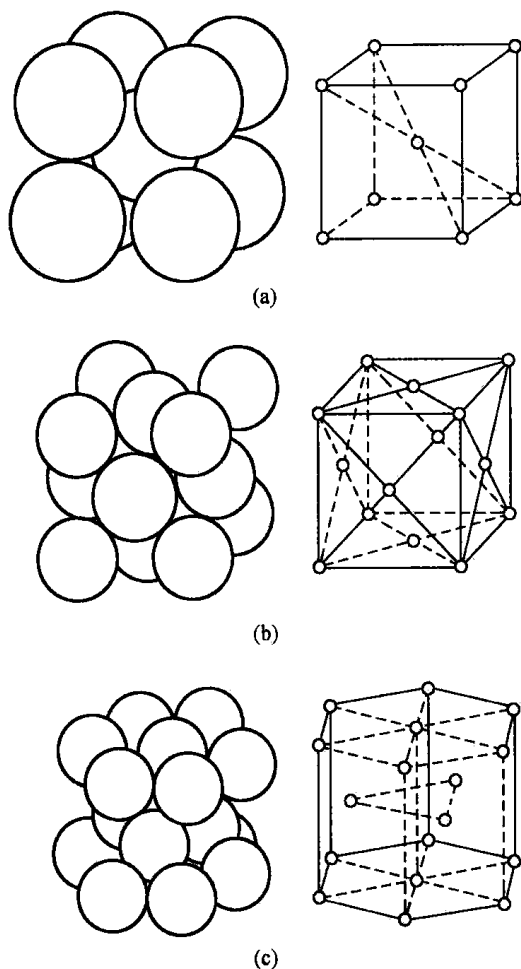


图 1-3 常见金属晶格类型

(a) 体心立方晶格；(b) 面心立方晶格；(c) 密排六方晶格

金属同素异构转变的过程，也就是原子重新排列的过程，其有恒定的转变温度。铁的同素异构转变是热处理之所以能改变钢材性能的根本原因。

2) 合金的晶体结构 合金是指两种或两种以上的金属

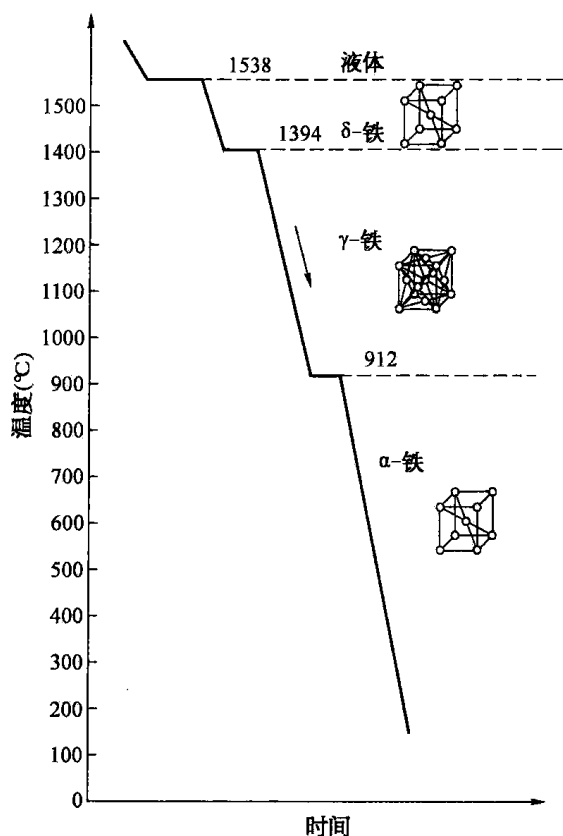


图 1-4 纯铁在冷却过程中的同素异构转变

或金属与非金属,经熔炼或烧结而成的具有金属特性的物质。

合金中的原子也与纯金属一样,在空间按一定的几何规则排列,但与纯金属相比要复杂得多。

合金的性能取决于合金的组织结构,合金的组织主要有固溶体、金属化合物及机械混合物等三种类型。

(1) 固溶体 组成这类合金的组元(独立的物质)在液态时相互溶解,当合金凝固成固态后,组元之间仍能互相溶解而

形成均匀一致的仍然保持其中某一组元晶格类型的固体合金。根据固溶体原子排列的情况,可分为置换固溶体及间隙固溶体,见图 1-5。

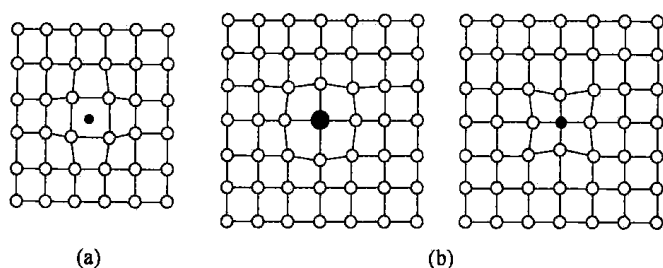


图 1-5 固溶体结构示意图

(a) 间隙固溶体; (b) 置换固溶体

① 间隙固溶体。某一元素晶格上的原子没有减少,而另一元素的原子嵌入其原子的间隙中形成的固溶体,称间隙固溶体。

② 置换固溶体。某一元素晶格上的原子,部分地被另一元素原子所取代的固溶体,称置换固溶体。

(2) 金属化合物 指组成合金的组元按照一定的原子数量之比相互化合生成的一种完全不同于任一组元晶格的具有金属特性的化合物。

(3) 机械混合物 组成合金的各组元在固态下既不能互相溶解,又不能形成化合物,而以混合物形式组合在一起时,称机械混合物。

2. 金属的结晶

金属由液态转变为固态的过程称作结晶。焊接时,焊缝中的金属也经过从熔化到结晶的过程,这一过程是金属原子由不规则排列逐步过渡到有规则排列的过程。结晶后所形成

的组织,将极大地影响到金属的加工性能及使用性能,因此金属的结晶对改善金属材料性能具有重要的意义。

(1) 纯金属的冷却曲线与过冷度 结晶过程是一个十分复杂的过程,一般采用热分析法来进行研究,即让熔融金属缓慢冷却,记录下其温度随时间变化的情况,并描绘在温度-时间坐标图上,所得曲线即为纯金属凝固过程的冷却曲线,见图 1-6。

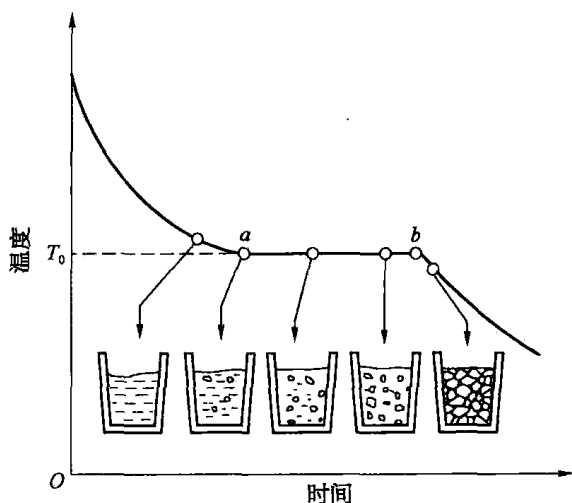


图 1-6 纯金属凝固过程的冷却曲线

实际上,金属的冷却或加热不可能是极其缓慢的,金属液体不可能在到达如图中 T_0 温度就开始结晶,而总是在低于理论结晶温度 T_0 的某一温度 T_n 下开始结晶,这一现象称为“过冷”。理论结晶温度与实际结晶温度的差值称为过冷度 $\Delta T (\Delta T = T_0 - T_n)$ 。过冷度大小与冷却速度有关,冷却速度越大,开始结晶温度越低,即过冷度越大,反则反之。图 1-7 即为纯金属凝固时过冷度的示意图。

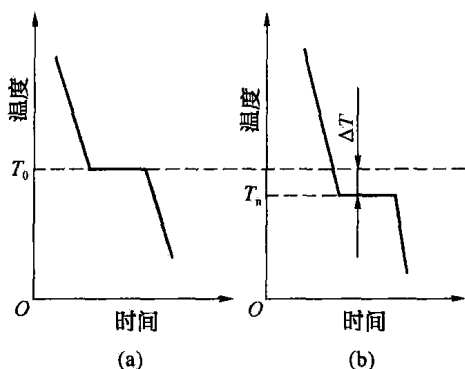


图 1-7 纯金属凝固时过冷度的示意图

(a) 理论结晶温度; (b) 实际结晶温度与过冷度

(2) 纯金属的结晶过程 液态金属的结晶是在一定过冷度的条件下,从液态中首先形成一些微小晶体,这些微小晶体称为“晶核”。随着温度下降,晶核不断长大,直到各晶体之间相互接触,液体完全消失。所以,结晶就是形核与晶核长大的过程。图 1-8 即为纯金属结晶过程示意图。

(3) 晶粒大小对力学性能的影响 金属结晶后,晶粒大小对其力学性能有着重要的影响。实践证明,在室温下,金属材料的晶粒越细,其强度与韧性就越高。因此控制金属结晶后的晶粒大小,对改善金属材料的力学性能具有重要的意义。

3. 金属的铸锭组织及缺陷

(1) 铸锭的组织及其性能 铸锭的结晶过程遵循结晶的普遍规律。如果将一个铸锭剖开,典型的剖面具有三个不同特征的晶区,如图 1-9 所示。

① 表面细晶区。高温的金属熔液注入铸模后,与冷铸模接触的金属表层液体迅速冷却,在较大的过冷度下自发形核结晶,形成一层很薄的细晶区。先结晶的金属也是所含杂质

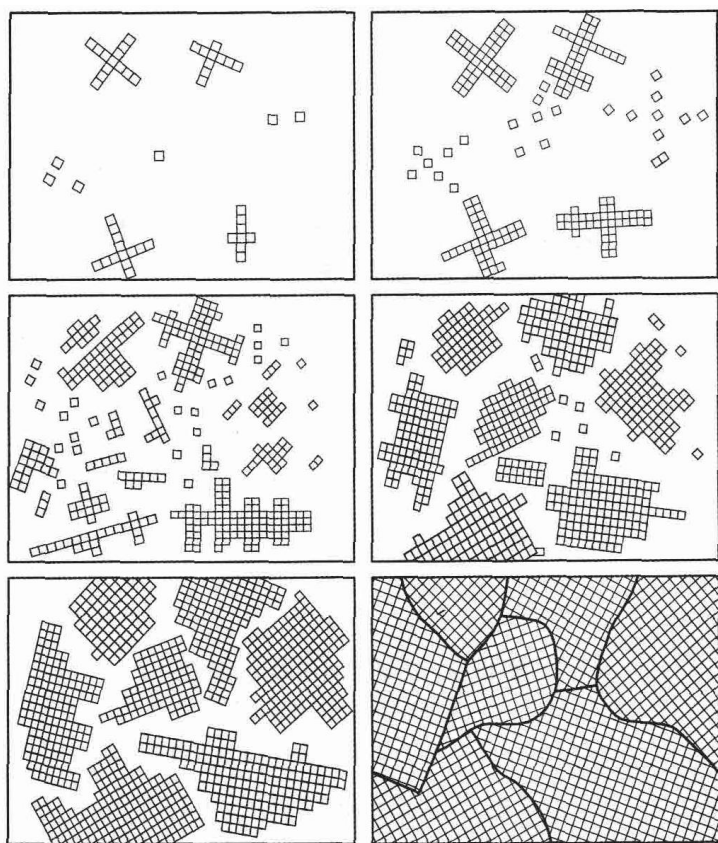


图 1-8 纯金属结晶过程示意图

最少的部分。

② 柱状晶区。在表面细晶粒区形成的同时,模壁的温度由于被液态金属加热而迅速升高,使液态金属冷却减慢,结晶过冷度减小,自发形核困难。此时,表面层的晶粒便向内生长,因受到相邻晶粒生长的限制,只能逆散热方向向铸模中心延伸,从而形成了垂直于模壁的柱状晶粒区。

③ 中心等轴晶区。随着柱状晶的发展,经过散热,铸模

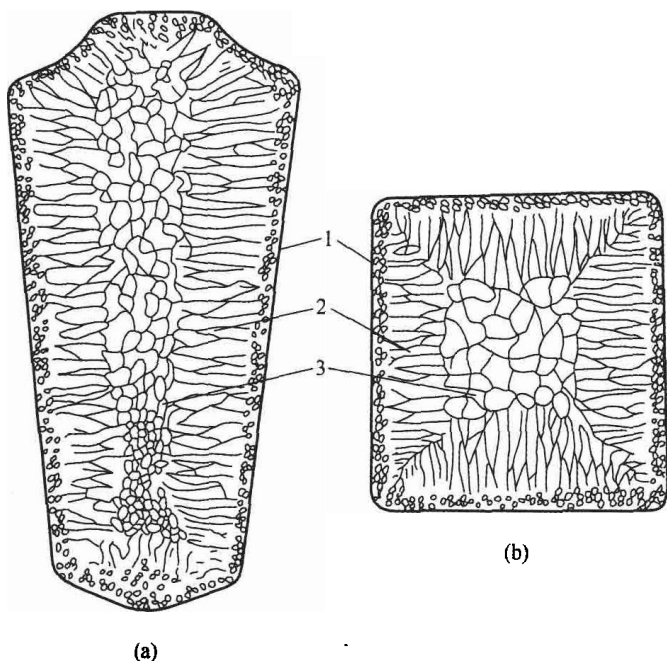


图 1-9 铸锭的组织构造示意图

(a) 纵向剖面; (b) 横向剖面

1—表面细晶区; 2—柱状晶区; 3—中心等轴晶区

中心部分液态金属的温度降至熔点以下, 液体金属中杂质微粒的表面成为形核的“现成表面”, 降低了形核时对过冷度的要求, 于是在剩余液体中非自发行核。由于此时的散热已经失去了方向性, 晶核在液体中可以自由生长, 在各个方向上的长大速度差不多相等, 因此长成了等轴晶, 直至与柱状晶相遇, 液态金属全部凝固。

④ 铸锭的性能。细晶区的晶粒十分细小, 组织致密, 力学性能很好, 但细晶区的厚度一般都很薄, 因此无多大的实际意义。

在柱状晶区, 晶粒彼此间的界面比较平直, 气泡、缩孔很

少,组织比较致密。但在柱状晶间的界面及铸锭横截面中对角线所处的纵向剖面均为脆弱面,杂质也在此集中,强度、塑性较差。

等轴晶的生长无方向性,无脆弱界面,晶粒间结合好,裂纹不易产生,在实际使用中希望得到细小的等轴晶。

(2) 铸锭的缺陷 在铸锭或焊缝中经常存在一些缺陷,常见的缺陷有缩孔、气孔及夹杂等。

① 缩孔。通常液体金属在凝固时体积会收缩,导致填满铸型的液态金属凝固后就不再填满。若此时无液体补充,就会出现收缩孔洞,即称缩孔。焊缝金属是由熔化金属凝固而成,故也可能出现缩孔。

② 气孔。在液态金属中可能会溶入一些气体,在金属凝固时,若其来不及逸出便形成气孔。气孔对焊缝的性能影响很大,严重时会导致整个金属结构的破坏。

③ 偏析。当液态金属中含有较多的杂质元素时,其熔点降低,凝固较晚,导致杂质元素集中在最后凝固的地区,形成区域偏析。焊缝中的化学成分不均匀性就是结晶过程中的一种偏析现象。偏析的存在使焊缝金属的性能降低,尤其是它与焊缝凝固过程中出现裂纹有密切的关系。

④ 非金属夹杂物。在浇注铸锭时,因剥落而进入金属液体中的砂子、耐火材料以及液态金属冷却过程中形成而未及时浮出的熔渣,统称为非金属夹杂物。在焊缝中的非金属夹杂物称为夹渣。过多的夹渣会影响接头的力学性能,同时降低耐腐蚀性。

4. 铁碳合金的基本组织结构

铁与碳是铁碳合金中的两个基本组元,在液态时它们相互完全溶解;在固态下,碳则可溶于铁中形成固溶体,以及可

与铁化合形成金属化合物两种形式存在。同时固溶体和金属化合物又可组成机械混合物。因而,铁碳合金的基本组织就有铁素体、奥氏体、渗碳体、珠光体、莱氏体及马氏体等多种。

(1) 铁素体 铁素体是碳溶入 α -Fe 中形成的间隙固溶体,用符号 F 表示。 727°C 时碳在 α -Fe 中最大溶解量的质量分数 $\omega(\text{C})$ 仅为 0.0218% ,可见铁素体的含碳量很低,故其性能几乎与纯铁相同,即强度、硬度低,而塑性和韧性高。

(2) 奥氏体 奥氏体是碳溶解在 γ -Fe 中所形成的固溶体,用符号 A 表示。 1148°C 时奥氏体中最大溶碳的 $\omega(\text{C})$ 为 2.11% 。奥氏体的强度和硬度不高,但具有良好的塑性,当钢处于奥氏体状态时,能较顺利地进行压力加工。

(3) 渗碳体 渗碳体是铁与碳的金属化合物,其分子式为 Fe_3C ,其中碳的 $\omega(\text{C})$ 为 6.69% ,用符号 C_m 表示。渗碳体具有复杂的晶格,与铁及碳的晶格完全不同,熔点为 1227°C ,变温时无同素异构转变。渗碳体的硬度很高,但塑性很差,属一种硬而脆的组织。

(4) 珠光体 珠光体是铁素体与渗碳体的机械混合物,用符号 P 表示。在珠光体中,铁素体与渗碳体呈片层相间,且交替排列或渗碳体以颗粒状分布在铁素体的基体上,并保持各自原有晶格结构。珠光体中碳的质量分数平均为 0.77% 。珠光体的强度较高,硬度适中,具有一定的塑性。

(5) 莱氏体 莱氏体是当铁碳合金中 $\omega(\text{C})=4.3\%$ 的液体,在 1148°C 发生共晶转变时形成奥氏体与渗碳体所组成的共晶体,用 L_d 来表示,也称为高温莱氏体。而在 727°C 时,其中奥氏体将转变为珠光体,所以在室温下的莱氏体由珠光体与渗碳体所组成,称为低温莱氏体,用符号 $L'd$ 来表示。莱氏体硬度很高,塑性很差。

(6) 马氏体 马氏体是碳在 α -Fe 中的过饱和固溶体, 用符号 M 表示。马氏体的硬度取决于溶入马氏体中碳原子量的多少, 马氏体中的含碳量越高, 则马氏体的硬度越高。

碳的质量分数小于 0.2% 的马氏体, 组织呈一束束相互平行的板条状, 称为板条马氏体, 具有很好的强度及一定的韧性。

5. 铁-渗碳体相图

(1) 铁-渗碳体相图的组成 碳素钢与铸铁都是铁碳合金, 是工业上使用最为广泛的金属材料。铁-渗碳体相图(图 1-10)是铁碳合金相图的一部分, 那是由于钢中的 $\omega(C)$ 最多不超过 2.11%, 而铸铁的 $\omega(C)$ 也不会超过 5%, 故在研究铁碳合金时, 仅以铁-渗碳体相图为主要工具与依据[其中渗碳体的 $\omega(C)=6.69\%$]。图中“L”表示液体。

了解与掌握铁-渗碳体相图对于研究和应用铁碳合金具

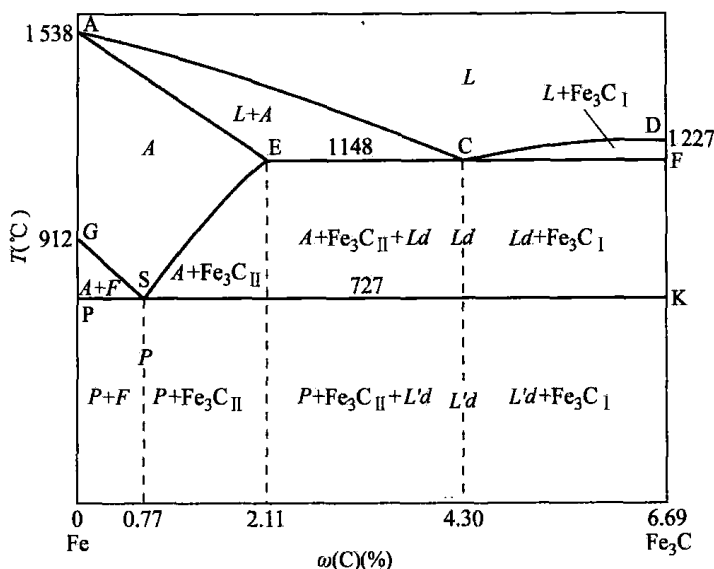


图 1-10 铁-渗碳体简化相图