

HUATIEGONG CAOZUO
JISHU YAOLING TUJIE
QINGGONG CAOZUO JISHU YAOLING TUJIE XILIE

化铁工



丛书主编 周佩锋 王功山
本书编著 李自涵 张玉凤

操作技术要领图解

青工操作技术要领图解系列



山东科学技术出版社

www.lkj.com.cn

青工操作技术要领图解系列

回 化铁工 操作技术要领图解

HUATIE GONG
JISHU YAO LING TUI JIE
QINGGONG CAOZUO JISHU YAO LING TUI JIE XILIE

江苏工业学院图书馆
藏书章

周佩锋
李自涵
李自涵
贾玉斌
吕德兴

王功山
张玉凤
张玉凤
刘士红

于国龙
刘道吉



山东科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

化铁工操作技术要领图解/李自涵等主编. —济南:山东科学技术出版社, 2008

(青工操作技术要领图解系列)

ISBN 978 - 7 - 5331 - 4922 - 2

I. 化... II. 李... III. 铸铁—熔炼—图解 IV. TF593
- 64

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 017049 号

青工操作技术要领图解系列

化铁工操作技术要领图解

丛书主编 周佩锋 王功山

本书主编 李自涵 张玉凤

编者 李自涵 张玉凤 于国龙

出版者: 山东科学技术出版社

地址: 济南市玉函路 16 号

邮编: 250002 电话: (0531) 82098088

网址: www.lkj.com.cn

电子邮件: sdkj@sdpress.com.cn

发行者: 山东科学技术出版社

地址: 济南市玉函路 16 号

邮编: 250002 电话: (0531) 82098071

印刷者: 临沭县书刊印刷厂

地址: 山东临沭县城南工业区

邮编: 276700 电话: (0539) 6280892

开本: 850mm × 1168mm 1/32

印张: 9

版次: 2008 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

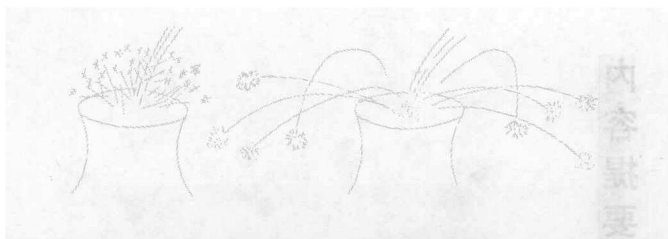
ISBN 978 - 7 - 5331 - 4922 - 2

定价: 15.00 元

内 容 提 要



本书内容包括九章：铸铁基本知识，铸铁熔化原理，冲天炉熔炼操作技术，以及普通灰口铸铁、孕育铸铁、球墨铸铁、可锻铸铁、特种性能铸铁的熔炼技术，铸钢和铸造有色金属的熔炼。本书图文并茂，通俗易懂，与《铸工操作技术要领图解》配套为铸造专业教材，适宜作中等职业学校、技工学校、青工培训铸造专业的教学用书和自学用书。



——随着工业技术的发展和改革开放的不断深入，我国城乡建设急需大量的技能人才，职业技能培训是提高劳动者素质、增强劳动者就业能力的有效措施。为满足广大青年学习技术、掌握操作技能的要求，以及社会力量办学单位和农村举办短期职业培训班的需求，特别是满足下岗职工转岗和农民进城务工的需求，我们组织编写了这套浅显易懂、图文并茂的培训教材。

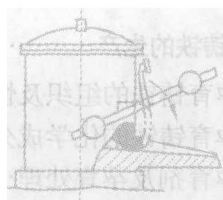
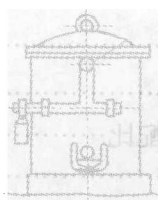
本套培训教材本着以职业活动为导向、以职业技能为中心的指导思想，以国家劳动和社会保障部颁布的职业资格鉴定标准中的初级(国家资格5级)内容为主，涉及部分中级(国家资格4级)内容，以实用、够用的原则突出技能操作，以图解的形式配以简明的文字来说明具体的操作过程与操作工艺，有很强的针对性和实用性，克服了传统培训教材中理论内容偏深、偏多、抽象的弊端，增添了“四新”知识，突出了理论与实践的结合，让学员既学到真本事，又可应对技能鉴定考试，体现了科学性和实用性。

本套培训教材所介绍的内容是从业者应掌握的基本知识和基本操作技能，所提供的典型实例都是成熟的操作工艺，便于学习者模仿和借鉴，减少学习的弯路，并能更方便、更好地运用到实际生产中去，因此本书是学习者从业和就业的良师益友。

本套培训教材在编写过程中，参考了国内外有关著作和研究成果，邀请了部分技术高超、技艺精湛的高技能人才进行示范操作，在此谨向有关参考资料的作者、参与示范操作的人员以及帮助出版的有关人员、单位表示最诚挚的谢意。

由于编者水平有限，编写时间仓促，疏漏不当之处在所难免，敬请读者朋友批评指正。

编者



第一章 铸铁基本知识	1
第一节 金属及合金的显微组织.....	1
第二节 铸铁中主要化学成分的存在形态.....	10
第三节 铸铁的铸造性能.....	14
第二章 铸铁的熔化原理	34
第一节 冲天炉的熔炼过程.....	35
第二节 影响冲天炉熔炼的因素.....	37
第三节 熔炼过程中化学成分的变化.....	44
第四节 熔炼过程中炉气、炉温变化.....	52
第三章 冲天炉的操作技术	57
第一节 冲天炉的结构及辅助设备.....	58
第二节 冲天炉的设计.....	69
第三节 冲天炉的砌修.....	89
第四节 炉料的准备.....	97
第五节 配料计算.....	102
第六节 冲天炉的熔炼操作.....	108
第七节 炉况判断及故障排除.....	117
第八节 环境保护及安全文明生产.....	122
第九节 其他类型化铁炉.....	129
第四章 普通灰铸铁的生产	139
第一节 普通灰铸铁的组织及性能.....	139
第二节 普通灰铸铁原料选择及炉料配比.....	147
第三节 普通灰铸铁质量检查.....	148

第五章 孕育铸铁的生产	153
第一节 孕育铸铁的组织及性能	154
第二节 孕育铸铁的化学成分及炉料配比	156
第三节 孕育剂及孕育处理	157
第四节 稀土灰铸铁	162
第六章 球墨铸铁的生产	166
第一节 球墨铸铁的性能	167
第二节 球墨铸铁的熔炼技术	170
第三节 球墨铸铁的缺陷分析及防止方法	186
第四节 球墨铸铁的热处理	192
第七章 可锻铸铁的生产	199
第一节 可锻铸铁的特点和应用	199
第二节 可锻铸铁的熔炼	203
第三节 可锻铸铁的热处理	209
第四节 可锻铸铁质量检查	216
第五节 常见的缺陷分析	219
第八章 特种性能的铸铁	224
第一节 耐磨铸铁	224
第二节 冷硬铸铁	229
第三节 耐热铸铁	234
第四节 耐蚀铸铁	238
第五节 合金加入方法	242
第九章 铸钢和铸造有色金属的熔炼知识	248
第一节 铸钢的熔炼概述	248
第二节 铸造铜合金的熔炼概述	261
第三节 铸造铝合金的熔炼概述	266
附录 常用符号	278

第一章 铸铁基本知识

【学习要求】

1. 初步了解铸铁常见的显微组织及其特点。
2. 了解铸铁中的化学成分及其在金属基体中的存在形态。
3. 掌握铸铁的铸造性能、特点。

铸铁和钢都是以铁(Fe)和碳(C)为主要成分的合金。铸铁的含碳量在2.0%以上,钢的含碳量在2.0%以下,这是两者的本质区别。此外,铸铁还含有一定数量的硅、锰、磷、硫等元素,而普通碳钢中其含量很少。这些化学成分多少直接影响铸铁的显微组织,也影响其铸造性能和机械性能。

第一节 金属及合金的显微组织

一、金属的构造

从生产实践得知,不同的金属和合金具有不同的性能。金属与合金的性能不仅取决于它们的化学成分,还取决于它们的组织。例如,铁碳合金中的钢或铸铁由于含碳量不同,其性能也不同,这

是它们的组织发生了变化的缘故。为了更好地了解金属和合金的性能及其变化规律,就须了解它们的内部构造。

固体状态的金属,其原子排列是有规律的。我们把原子有规律排列的物体叫“晶体”。组成晶体并体现晶体结构特点的最小单元称为晶胞。

为了便于表明晶体内部原子排列的规律,把每个原子看成一个点,把这些点用直线连接起来,便形成一个空间格子,叫做晶格。由于原子排列的方式不同,晶格有不同的类型,最常见的晶格类型有两种:体心立方晶格和面心立方晶格。

体心立方晶格的晶胞如图 1-1 所示。在立方体的 8 个顶角各有 1 个原子,在中心有 1 个原子。属于体心立方晶格的金属有铬、钨、钼、钒及 α -Fe(低于 912℃ 的纯铁)等。

面心立方晶格的晶胞如图 1-2 所示。在立方体的 8 个顶角各有 1 个原子,在 6 个面的中心各有 1 个原子。属于面心立方晶格的金属有铝、镍、铅、金、银和 γ -Fe(912 ~ 1394℃ 的纯铁)等。

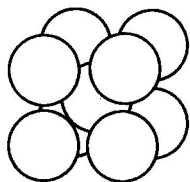


图 1-1 体心立方晶胞

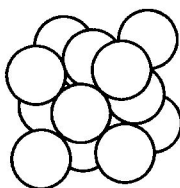
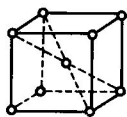
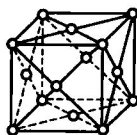


图 1-2 面心立方晶胞



二、金属的结晶过程和同素异晶转变

1. 金属的结晶过程 金属从液体状态转变到固体状态的过程叫结晶。大量的实验观察表明,结晶过程包括两个阶段:生出结晶核心(简称生核)和晶核长大。

金属处于液体状态时,原子活动能量较大,呈不规则排列。金属液冷却时,随着温度下降,原子活动能力降低,活动范围减小。当达到结晶温度时,在液态金属中某些局部微小的体积内,原子开

始呈有规则排列,形成结晶核心,又称晶核。随后,周围液体中的原子陆续地聚集到附近的晶核上去,使晶核逐渐长大,同时还不断出现新的晶核。晶核的生成和长大一直继续到全部金属液转变为固态为止。因此,金属的结晶过程是原子从无规则排列的液体状态转变为有规则排列的固体状态的过程(图 1-3)。结晶初期,晶核数目较少,周围又有充足的液体,晶核可以自由地成长。随着结晶过程的继续,当成长的晶体彼此接触后,向某些方向的继续成长就受到阻碍,只能向尚未凝固的液态金属中生长,最后形成不规则的晶粒形状。

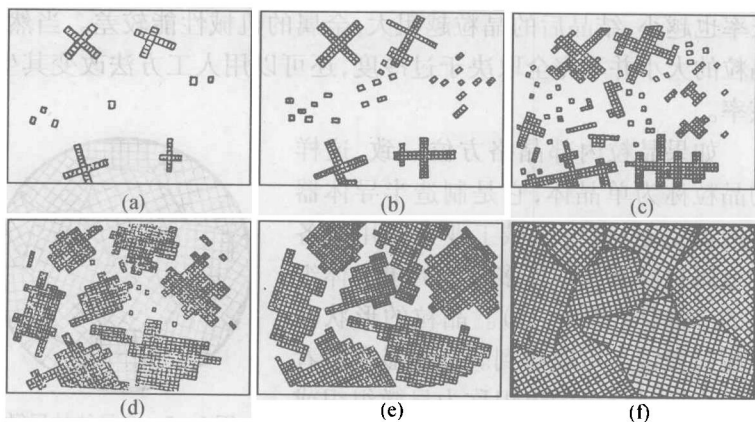


图 1-3 金属结晶过程示意图

金属液的结晶过程,可以用冷却曲线表示(图 1-4)。从图可以看出,在一定冷却条件下,金属液随着时间推移,热量向外散失,温度逐渐下降,当达到一定温度(T_s)时,在一段时间内温度不再下降,曲线上出现一个平台,这个平台所对应的温度

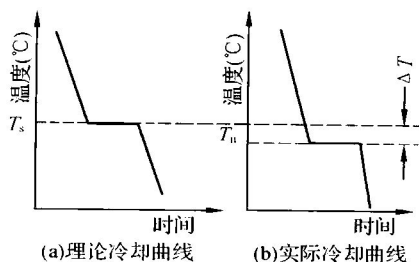


图 1-4 金属的冷却曲线

T_s 就是金属结晶的理论结晶温度。平台的产生是由于结晶时放出的热量,即结晶潜热补偿了热量的散失。当所有的金属液全部转变为固态以后,温度便开始下降。在实际生产中,金属液总是冷却到理论结晶温度 T_s 以下某一温度 T_n 时才开始结晶[图 1-4 (b)],这种现象称为过冷。金属的理论结晶温度(T_s)与实际结晶温度(T_n)之差($T_s - T_n$)称为过冷度 ΔT 。冷却速度越大,过冷度 ΔT 就越大,实际结晶温度就越低。金属结晶过程中生核率与晶核生长率均与过冷度有关。过冷度大,生核率与生长率也大,则结晶后的晶粒越细,金属的机械性能好;过冷度越小,生核率与晶核生长率也越小,结晶后的晶粒越粗大,金属的机械性能较差。当然,晶粒的大小并不完全取决于过冷度,还可以用人工方法改变其生核率。

如果晶粒内部晶格方位一致,这样的晶粒称为单晶体,它是制造半导体器件的重要原材料;机械工业上使用的各种金属材料都是由许多不同的单晶体组成的多晶体(图 1-5)。晶粒的形状在金相显微镜下可以看到。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。晶粒与晶粒之间的边界(实际上是一个封闭的、不规则的曲面)称为晶界。

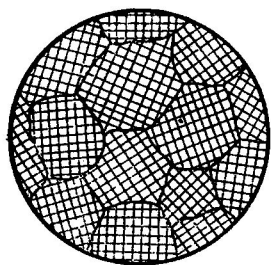


图 1-5 多晶体的显微组织示意图

2. 金属的同素异晶转变 大多数金属结晶终了后,在继续冷却过程中,其晶格结构不再发生变化;某些金属在固态下,因所处温度不同而具有不同的晶格形式,例如,纯铁在不同温度下就有体心立方晶格和面心立方晶格。晶格不同则性能也不一样,如体心立方晶格的 α -Fe,几乎不能溶解碳,而面心立方晶格的 γ -Fe,在 1148℃ 时却可溶解 2.11% 的碳。同种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,称为金属的同素异晶

转变。由同素异晶转变所得到的不同晶格的晶体,称为同素异晶体(图 1-6)。

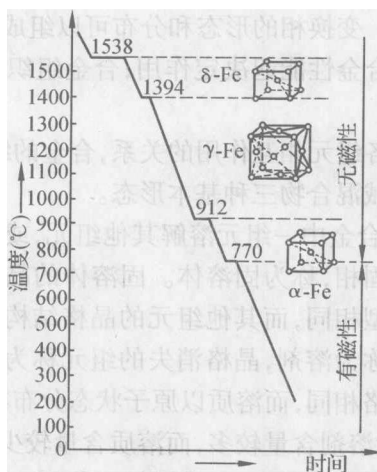


图 1-6 纯铁的同素异晶转变

有些金属在固态下除同素异晶转变外,还有磁性转变。纯铁磁性转变发生在 770°C ,低于 770°C 时纯铁有磁性,高于 770°C 时纯铁无磁性。在磁性转变过程中,也有吸热和放热现象,但晶格结构不发生转变。

三、合金的结构

合金是两种或两种以上的金属(或金属与非金属)元素通过熔炼、烧结或其他方法而获得的一种具有金属特性的物质。例如,钢是铁和碳的合金。组成合金的元素称为组元,简称元。

纯金属满足不了工程上提出的多种多样的性能要求,而由各种元素组成的合金,可以使材料在强度、硬度、耐磨性方面得到改善,工艺性能方面得到提高,一些特殊的合金材料具有优异的物理和化学性能,因而合金在工业上得到广泛的应用。

合金优良的性能是由它内部的相结构及其金属组织决定的。

所谓“相”是指合金中具有同一化学成分、同一聚集状态,并以界面与其他部分分开的均匀组成部分。所谓“组织”,是指相在空间的相互配置情况。变换相的形态和分布可以组成不同的组织。

相的结构对合金性能起决定作用;合金组织的变化对合金的性能有很大影响。

根据合金中各组元相互作用的关系,合金的结构分为固溶体、金属化合物和机械混合物三种基本形态。

1. 固溶体 合金中一组元溶解其他组元,或组元之间互相溶解而形成均匀的固相,称为固溶体。固溶体的晶格类型与其中某一组元的晶格类型相同,而其他组元的晶格结构消失。能保留住晶格结构的组元称为溶剂,晶格消失的组元称为溶质。固溶体的晶格与溶剂的晶格相同,而溶质以原子状态分布在溶剂的晶格中。在固溶体中,一般溶剂含量较多,而溶质含量较少。

2. 金属化合物 合金组元之间相互作用而形成一种新的具有明显金属特性的固态物质,称为金属化合物。金属化合物可用分子式表示,如 Fe_3C 、 CuAl_2 等。 Fe_3C 是铁和碳组成的一种金属化合物——碳化铁,其中铁的原子数占 75%,碳原子数占 25%,其晶体结构复杂,具有高的硬度和脆性。

金属化合物的晶体结构有多种类型,但不论那种类型的金属化合物,其结构均不同于组成化合物的各组元的结构。

金属化合物的硬度较高,是提高合金强度不可缺少的强化相。

3. 机械混合物 机械混合物是各组元按一定重量比例以混合形式组合在一起。

机械混合物可以是某种成分的液体合金,在一定温度下结晶出两种或多种晶体相,也可以是某种成分的固溶体,在一定温度下转变成另外两种或多种晶体相。工业上应用的许多合金,其内部组织都是机械混合物。

在机械混合物中,由于各晶体相都保持自己的结构和性质,所以,合金的性能取决于它们的相对数量、形状、大小和分布情况。

四、铁碳合金的基本组织

铁和碳化三铁是铁碳合金的两个基本“组元”，由于它们之间的相互作用不同，铁碳合金固态下的基本组织分为以下几种：

1. 铁素体 碳溶于 α -Fe 中所形成的间隙固溶体称为铁素体。其晶格结构属体心立方晶格(图 1-7)。铁素体晶格间隙很小，因而溶碳能力很低。在 727°C 最大溶碳量为 0.0218% ；随着温度下降，碳的溶解度减小，室温时最大溶碳量为 0.0008% ，几乎等于零，因此其性能几乎和纯铁相同。

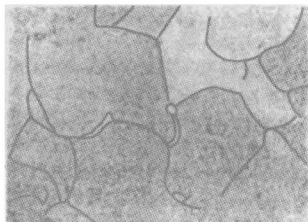


图 1-7 金相显微镜下的铁素体

铁素体的塑性、韧性好，强度不高，硬度很低。铁素体在 770°C 以下具有铁磁性；在 770°C 以上则失去铁磁性。

2. 奥氏体 碳溶于 γ -Fe 中所形成的间隙固溶体称为奥氏体。其晶体结构为面心立方晶格(图 1-8、图 1-9)。奥氏体在 1148°C 时，碳的溶解度最大，达 2.11% ；随着温度下降，溶解度逐渐减小，在 727°C 时，碳的溶解度为 0.77% 。在铁碳合金中，奥氏体是一种在高温(727°C 以上)状态下才能稳定存在的组织。高温奥氏体的硬度很低，有良好的塑性变形能力，是绝大多数钢种在高温时进行压力加工所要求的组织。

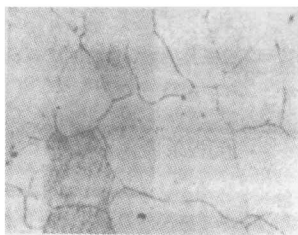


图 1-8 奥氏体形貌

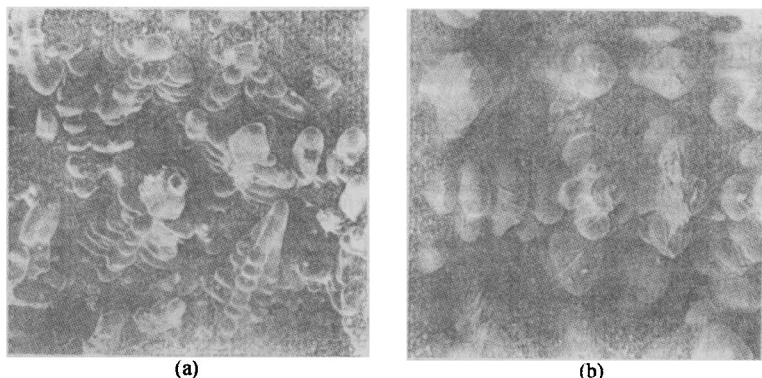


图 1-9 电子扫描显微镜下的奥氏体

3. 渗碳体 碳在 α -Fe 或 γ -Fe 晶格中有一定的溶解度。当铁碳合金的含碳量超过某一温度下的溶解度时,过剩的碳原子则与铁原子相结合,形成化合物 Fe_3C ,称为渗碳体(图 1-10)。



图 1-10 渗碳体的金相形貌

渗碳体的晶体结构很复杂,含碳量为 6.69%。

渗碳体硬度很高,但塑性很低,脆性很大。当渗碳体的形状和分布合适时,可提高钢的强度和耐磨性,它是铁碳合金的强化相。

渗碳体在一定条件下会分解,产生石墨状态的自由碳,即 $\text{Fe}_3\text{C} \rightarrow 3\text{Fe} + \text{C}$ (石墨)。

4. 珠光体 珠光体是铁素体和渗碳体的机械混合物。珠光体的强度较高,硬度、塑性和韧性介于铁素体和渗碳体之间。珠光体由于其中渗碳体和铁素体的形状、大小及分布状况的不同,性能

上也有差异。

常见珠光体的显微组织由铁素体与渗碳体交替排列成层状。放大倍数较低时,呈指纹状,白亮纹为铁素体;渗碳体量少,边界不清,呈黑纹状。高倍显微镜下,渗碳体不受硝酸酒精腐蚀,边界清楚,渗碳体本身仍呈白亮细纹。图 1-11 是片状珠光体的显微组织形貌。经过适当地热处理,片状渗碳体转变成粒状渗碳体均匀分布在铁素体基体上,称为粒状珠光体(图 1-12)。

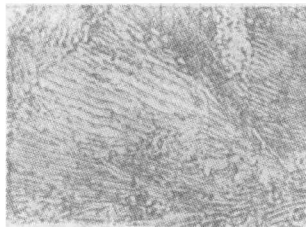


图 1-11 片状珠光体

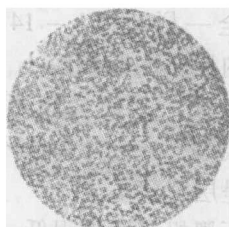


图 1-12 粒状珠光体

珠光体因有渗碳体作骨架,强化了铁素体,其强度、硬度较高,又保留了铁素体具有的塑性和韧性。例如,含碳 0.8% 的珠光体钢,抗拉强度 σ_b 可达 800 ~ 1000 兆帕,延伸率 δ 仍可达 8% ~ 13%,硬度 160 ~ 230HB。

5. 莱氏体 莱氏体在高温下是奥氏体与渗碳体的机械混合物(图 1-13)。冷却到 727℃ 时,其中的奥氏体将转变为珠光体,在室温下见到的莱氏体由珠光体和渗碳体组成。727℃ 以上的莱氏体又称为高温莱氏体,727℃ 以下的则称为低温莱氏体。

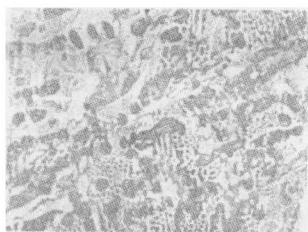


图 1-13 莱氏体

莱氏体是白口铁中最基本的组织,具有较高的硬度(>700HB)。

6. 铁碳合金的高碳相 当冷却速度很小或碳量高时,碳会以石墨的形态出现。这种石墨和常见的铅笔芯、铸工车间用的石墨

粉没有多少不同。

自然界中的石墨晶体为层状结构,每一层面内碳原子排列成正六方形(六方晶格),各层互相平行,并且两相邻层的碳原子排列转动 60° ,隔层之间碳原子排列完全一样(图 1-14)。基面内原子间距离较小,结合力较大。基面之间原子间距离较大,结合力较小,石墨呈层片状。

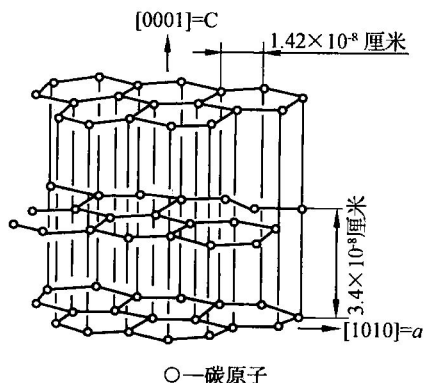


图 1-14 石墨晶体结构

石墨机械性能很低,抗拉强度小于 20 兆帕,延伸率接近零,硬度很低。可以认为,石墨存在于铸铁里,好像铸铁机体中有了空洞(或裂纹),这样,铸铁的某些机械性能比钢低得多。不过,石墨也给铸铁带来了不少优良性能,如良好的减振性。

铸铁中的石墨根据生长条件、化学成分不同,会形成各种不同的形态,给铸铁带来不同的影响,使铸铁的性能差别很大。

第二节 铸铁中主要化学成分的存在形态

铸铁是以铁和碳为主要组成的铁基合金。除铁、碳外,铸铁还含有硅、锰、硫、磷等元素和其他几十种微量元素。通常所说的铸铁的五大元素,即碳、硅、锰、硫、磷在铸铁中含量较大,对其性能影响也最大。在合金铸铁中根据性能需要还可特别加入一定量的合金元素,如铬、锑、锡、钛、铜、钼、镍等。