

铸铁熔制

洛阳市科学技术协会 编

机械工业出版社

铸 铁 熔 制

洛阳市科学技术协会 编



机械工业出版社

本书分上下两篇。上篇在介绍铸铁的基本知识的基础上,介绍了常用的灰口铸铁、球墨铸铁、可锻铸铁以及特种铸铁等特点、应用、熔制要点和使用典型实例。下篇介绍了冲天炉熔炼铸铁的理论基础、炉子构造、操作工艺、典型炉例分析和对比、测试技术、冲天炉备料、配料、加料的机械化以及环境保护。

本书实践性较强,内容通俗易懂,不仅可供专业铸造技术人员参考,而且对初学铸铁熔制者也是一本很好的读物。

洛阳科学技术协会 编

铸 铁 熔 制

洛阳市科学技术协会 编

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

轻工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 20 · 字数 485 千字

1983年2月北京第一版·1983年2月北京第一次印刷

印数 0,001—6,800 · 定价 1.90 元

*

统一书号: 15023·5484

前言

铸铁件的生产量大、面广，铸铁件的质量好坏与成本高低对机械工业的影响很大，而铸铁熔制的质量在铸铁件生产中所起的作用是相当明显的。为提高铸铁熔制水平，洛阳市科学技术协会铸造分会在总结实践经验的基础上，编写了《铸铁熔制》这本书。

本书是为适应从事铸铁熔制实践的铸造工作者的需要而编写的。其内容以铸铁以及熔制实践为主，主要实践资料以洛阳市近二十年来有关单位的生产实践和科研成果为依据，适当编入一部分熔制理论。全书分上下两篇，上篇介绍目前常用铸铁的特性和应用；下篇则介绍冲天炉熔炼铸铁的理论基础和操作工艺。内容通俗易懂，可供具有一定理论水平的铸造工作者和专业铸造技术人员参考。

本书由洛阳市科协铸造分会组织编写，王汝耀、汪捷主编。各章执笔者：

上篇 第一章 王汝耀 汪捷

第二章 王汝耀 张忠恕

第三章 巩济民 王绩抡

第四章 朱道馨 李延章

第五章 朱道馨 崔荣阁

下篇 第一、二章 汪捷 王汝耀

第三、五、七章 王国桢

第四章 王国桢 曲传刚

第六章 王国桢 杨宏才

第八章 张进宗

还有车翔凤、王民生、刘景陶、缪达钧、纪高全、龙锐、冯绍勤等同志参加了本书个别章节编写工作。

清华大学铸工教研组为本书提供了扫描电镜照片，特此致谢。

限于时间和水平，我们在调查研究和征求意见方面都不够广泛和深入，总结经验也不够全面，诚恳盼望读者对书中不足之处提出宝贵意见。

目 录

前言

上篇 铸 铁

第一章 铸铁基本知识	1
第一节 铸铁中主要化学成分的存在形态	1
一、碳在铸铁中的存在形态	1
二、硅在铸铁中的存在形态	2
三、锰在铸铁中的存在形态	2
四、硫在铸铁中的存在形态	2
五、磷在铸铁中的存在形态	2
第二节 铸铁中常见的显微组织	3
一、铁素体与奥氏体	3
二、渗碳体	7
三、珠光体	8
四、莱氏体	8
五、石墨	9
六、磷共晶体	13
第三节 铁-碳状态图	14
一、铁-碳双重状态图的由来	15
二、铁-石墨状态图	15
三、铁-渗碳体状态图	19
四、硅、锰、硫、磷对铁-碳状态图的影响	20
第二章 灰口铸铁	22
第一节 灰铸铁的组织与性能	22
一、组织与性能的关系	22
二、影响铸铁组织和性能的因素	25
三、灰铸铁的牌号与化学成分	33
四、灰铸铁的铸造性能及影响因素	34
第二节 普通灰铸铁	39
一、原材料选择与炉料配比	39
二、炉前检验	40
三、炉后检验	41
第三节 高强度灰铸铁	42
一、高强度灰铸铁的性能	42
二、化学成分选择和炉料配比	43
三、孕育剂与孕育处理	44

四、检验	46
第四节 稀土灰铸铁	46
一、稀土灰铸铁的特性	46
二、对原铁水的要求和处理工艺	47
三、炉料配比	48
四、检验	48
第三章 球墨铸铁	49
第一节 概述	49
一、球墨铸铁的使用特点	49
二、球墨铸铁的种类与标准	50
第二节 球墨铸铁的熔制	51
一、球墨铸铁的化学成分	51
二、对炉料要求	53
三、球化剂	53
四、球墨铸铁的处理工艺	56
五、质量检查	60
第三节 球墨铸铁的热处理	65
一、退火	65
二、正火	66
三、等温淬火	67
第四节 球墨铸铁常见缺陷及防止办法	68
一、球化不良和球化衰退	68
二、缩松及缩孔	69
三、皮下气孔	70
四、石墨漂浮	70
五、夹渣	71
六、灰斑	72
七、金相组织、机械性能不符合要求	73
八、孕育衰退	75
第五节 球墨铸铁的焊补	75
一、气焊	75
二、电弧焊	76
第四章 可锻铸铁	77
第一节 可锻铸铁的基本知识	77
一、可锻铸铁的特点	79
二、可锻铸铁的牌号和用途	79
第二节 可锻铸铁的熔制	80

二、铸铁中气体的来源及影响含气量的因素	187	第二节 炉料准备	227
第三节 合金元素的加入方法	189	一、金属炉料	227
一、各种合金元素氧化的可能性	189	二、燃料	228
二、加入方法	189	三、熔剂	228
第四节 冲天炉的配料计算	190	第三节 熔化操作	228
一、选择炉料配合时应考虑的因素	190	一、点火与烘炉	228
二、配料计算前的准备	191	二、装料与熔化	229
三、配料计算	191	三、停风打炉	230
第五节 冲天炉熔化过程的热平衡	193	第四节 炉况判断及处理	230
一、热平衡的意义	193	一、炉况的判断与控制	230
二、冲天炉热平衡的计算	193	二、事故与排除	232
三、影响热效率的因素	196	第五节 炉用材料的科学管理	236
四、冲天炉熔化过程中, 减少无用热消耗的途径	199	一、炉用材料的管理	237
五、提高铁水质量, 合理节约焦炭, 降低综合成本	199	二、铸铁车间主要物料运输情况	241
第三章 冲天炉的结构	201	三、料库	241
第一节 炉体	201	第五章 典型冲天炉分析和对比	242
一、炉底及其支撑装置	201	第一节 一般类型冲天炉	242
二、炉缸	201	一、三排大风口冲天炉	242
三、炉身	203	二、三排小风口冲天炉	243
第二节 热风装置	206	三、多排小风口冲天炉	244
一、热风装置类型	206	第二节 强化类型冲天炉	246
二、炉胆的制作与安装	206	一、两排大间距冲天炉	246
三、提高风温的措施	209	二、中央送风冲天炉	246
第三节 前炉	210	三、中央送风加侧吹冲天炉	249
一、前炉的一般结构	211	四、卡腰三节炉	249
二、前炉的分类	212	五、附加燃料冲天炉	249
三、分渣器	214	六、抽风预热式高温热风冲天炉	252
第四节 送风系统	216	第六章 冲天炉的测试	256
一、风管道路	216	第一节 温度测量	256
二、冲天炉鼓风机	217	一、光学高温计	256
三、湿度调节装置	222	二、热电偶高温计	257
第五节 冲天炉的发展	223	三、快速微型热电偶测温	259
一、在结构方面	223	四、光电比色高温计	260
二、在控制方面	224	五、其它温度的测量	261
三、在操作工艺方面	224	六、测温的发展	262
第四章 冲天炉的熔化操作工艺	225	第二节 风压测量	262
第一节 大修和修炉	225	一、U形压力计	262
一、大修	225	二、单管压力计	263
二、修炉	226	三、斜管微压计	263
		第三节 风量测量	264
		一、毕托管测量风量	265
		二、流量孔板	266

第四节 炉气成分分析	269	四、消声器的实际应用	289
一、炉气的取样	269	第二节 冲天炉的净化和除尘	289
二、炉气分析原理	270	一、废气和烟尘的组成及来源	289
三、炉气分析用试剂	270	二、烟尘量及有害气体的控制	290
四、炉气分析仪的操作	271	三、冲天炉的除尘和净化装置	291
五、注意事项	271	第三节 炉渣粒化装置	298
六、炉气分析结果的验算	272	第八章 冲天炉备料、配料、加料	
七、冲天炉常用炉气分析仪的型号	272	的机械化	300
第五节 空气湿度测量	272	第一节 备料	300
第六节 料位检测与控制	273	一、生铁锭破碎	300
一、炉气压差料位检测装置	273	二、废铸件破碎	301
二、机械式检测装置	274	三、废钢剪切	301
三、导电法料位检测装置	275	四、浇冒口清理及输送	301
四、光电法检测装置	275	五、钢铁屑处理	301
第七节 硅和锰炉前快速分析	276	六、焦炭筛选	301
一、工作原理	276	七、熔剂和铁合金破碎	302
二、分析方法	276	第二节 配料	302
三、效果	277	一、配料吊车	302
第八节 酸性炉渣分析	277	二、电磁配铁秤	302
一、试样的采取	277	三、电磁振动给料机	304
二、氧化亚铁的测定	277	四、焦炭、石灰石称量装置	304
三、氧化锰的测定	278	五、铁料翻斗	305
四、二氧化硅的测定	279	六、过渡料车	306
五、氧化钙、氧化镁的测定	279	第三节 加料	306
六、三氧化二铝及氟的测定	281	一、翻斗加料机	306
第七章 冲天炉的环境保护	284	二、单轨加料机	306
第一节 鼓风机消声装置	285	三、爬式加料机	306
一、噪声的产生及种类	285	第四节 电气控制	307
二、消声措施	286	一、配料及加料联锁控制	307
三、设计消声器时注意问题	288	二、ZLCK-2A 型冲天炉程序控制台	307

上篇 铸 铁

第一章 铸铁基本知识

铸铁和钢一样，都是以铁（Fe）和碳（C）为主要成分的铁合金。但铸铁的含碳量都在2.0%以上，而钢的含碳量则在2.0%以下。这是它们的本质区别。为什么以含碳量2.0%作为钢和铸铁的分界呢？这是由它们的组织特点所决定的。含碳量低于2.0%的铁合金，其显微组织中不会出现共晶组织；而高于2.0%的铁合金中就会出现共晶组织。除了含碳量上的主要差别外，铸铁一般还含有一定数量的硅、锰和比较多的硫、磷等杂质；而普通碳钢中所含的硅、锰、硫、磷等就比较少。这些成分上的差异也或多或少影响它们的组织和性能。

铸铁不仅有一定的使用性能，而且有优良的铸造性能，因而成为使用广泛的铸造合金。现今工业上使用的铸铁品种很多。通常按铸铁的生产方式特点和使用性能分为：

普通灰口铸铁；

可锻铸铁；

球墨铸铁；

特殊性能铸铁——特种铸铁。

尽管铸铁品种多种多样，但它们都是铁碳合金，而且含碳量（或是碳当量）必定在2.0%以上。

铸铁的性能（包括机械性能和铸造性能），受化学成分和熔制工艺的影响。人们经过长期的实践，运用各种必要的工具和手段才逐渐摸索到这些规律。开始，只能用眼睛观察铸铁件的断口，以后用放大镜，到十八世纪开始用显微镜研究铸铁断口和显微组织，建立了金相分析方法。十九世纪初，才用化学方法分析铸铁的组成，从而确立了化学成分与金相组织之间的关系。几十年来，化学分析法和金相分析法一直是研究铸铁性能的重要方法。

第一节 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。碳、硅、锰、硫、磷在铸铁中含量较多，对其性能影响也最大，这就是通常所说的铸铁的五大元素。在合金铸铁中还根据性能需要特别加入一定量的合金元素，如铬、镍、锡、钛、铜、钼、镍等。

一、碳在铸铁中的存在形态

碳（C）是铸铁中除铁外占第一位的元素。碳在铁中的数量和形态，对铸铁性能影响很大，特别是碳在铁中的存在形态，可以说对铸铁性能起着决定性的作用。

碳在铁中有一定的溶解度，其溶解度随温度变化很大。在高温1154℃左右，溶解度最

大，为 2.08%。随温度下降、溶解度降低，到 738℃时，只有 0.02% 以下。当温度降至室温时，其溶解度仅为 0.006% 以下。所以在室温下，以固溶形态而存在的碳是极其微量的，甚至可以忽略。

铸铁中的含碳量一般都在 2.5% 以上。它们几乎都以游离碳，或化合碳的形态而存在。这游离碳就是石墨；而化合碳则是碳化三铁 (Fe_3C)，金相学上称为渗碳体。铸铁中的碳究竟以什么样的形态出现，与很多因素有关，而主要的影响因素是化学成分（特别是碳硅含量）和冷却速度。

二、硅在铸铁中的存在形态

硅在铸铁中是和碳处于同等重要地位的元素。在一般铸铁中，含硅量大致在 1.3% 到 3.0% 之间。

硅在铁中的溶解度比碳大得多。即使在有碳存在的情况下，硅的溶解度仍然很大。铸铁中，含硅量为 1.3% 到 3.0% 时，硅可以完全溶入铁中。所以，在铸铁中，硅的存在形态均为固溶态。

硅的加入，明显影响碳在铸铁中的存在形态。随着硅量增加，铸铁中的碳以石墨形态存在的可能性加大。这一点正是硅受到重视的原因。

三、锰在铸铁中的存在形态

在铁碳合金中，锰可以溶解在铁的固溶体中，并和碳组成碳化物 (Mn_3C)。锰的碳化物又和 Fe_3C 互溶，组成复杂的碳化物—— $(\text{Fe}, \text{Mn})_3\text{C}$ 。铸铁中的锰还有一部分和硫组成化合物 (MnS)，从而抵消了硫的有害作用。

锰对铸铁中碳的存在形态有一定影响，随着锰量增加，铸铁中碳以化合态存在的可能性加大。这一点也很重要。

铸铁中的锰量通常在 0.5% 到 1.2% 之间。当锰量过高时（超过 1.2%），容易出现网状碳化物，会使铸件机械性能下降。

四、硫在铸铁中的存在形态

硫能溶解在液态铁中，而几乎不溶解在固态铁中。据资料[1]介绍，914℃时，硫在铁中的溶解度仅为 0.02%。在室温下其溶解度更小，而远低于 0.02%。所以，铸铁中的硫几乎都是以硫化物或硫化物共晶体的形态而存在。

硫化铁 (FeS) 的熔点为 985℃。铸铁中的 FeS 往往和 Fe 、 Fe_3C 组成三元共晶体，这种共晶体熔点为 975℃，在铸铁凝固过程中最后凝集在晶粒边界上，而导至铸铁的热脆性。

铸铁中由于锰的存在，可与硫构成高熔点的 MnS ，从而抵消了硫的有害作用。

由于硫的有害作用，所以铸铁中含硫量越低越好。至少要保证硫量低于 0.12%。

五、磷在铸铁中的存在形态

磷在固态铁中的最大溶解度为 2.6%。随温度下降，溶解度也减小。室温下，磷在铁中的溶解度约为 1.2%。当铁中有碳存在时，磷的溶解度随含碳量增加而降低。例如，含碳量 3.5% 的铸铁，磷的溶解度仅为 0.3%。当含磷量超过溶解度就会出现磷铁化合物——磷化三铁 (Fe_3P)。 Fe_3P 往往和铁中的 Fe_3C 及铁的固溶体共同组成三元共晶体，这就是三元磷共晶体。当铸铁中 Fe_3C 很少或没有的情况下， Fe_3P 就只与铁的固溶体组成二元磷共晶体。

磷共晶硬而脆，在普通铸铁中会因为磷共晶的存在而增加铸铁的脆性。所以磷也属于有害元素而加以限制。

第二节 铸铁中常见的显微组织

在生产实践中，铸造工作者经常用观察铸铁三角试样断口的方法来检查铸铁质量，预测铸件的机械性能和化学成分，并为调整熔化工工艺提供依据。为什么三角试样的断口能反映铸件的机械性能和化学成分大致含量呢？

当我们仔细观察一个三角试样的断口，就会发现在不同部位，其颜色及致密程度各不相同（见图 1-1）。在三角试样的尖端，颜色白亮、组织致密、晶粒呈柱状垂直散热面，大家称它为白口。而试样大端颜色灰暗、组织疏松，如果倾斜对着光线观察它，还发现这部分断口由许多大小不等、参差不齐的小颗粒组成，并有许多小黑点闪闪发光，大家称它为灰口。白口区 and 灰口区之间，有一灰白相间的过渡组织，称为麻口。

生产上往往以三角试样的白口大小来判断铸铁的大致性能。白口大小有两种表示方法：即“白口深度”与“白口宽度”。以白口区出现第一个黑点为界，至试样尖端的距离，称为白口深度（图 1-2 中 B 段）；测量出现第一个黑点处的断面宽度，称为白口宽度（图 1-2 中 A 段）。由于试样尺寸对白口宽度影响不大，所以对比白口宽度大小能更好反映铸铁性能。故生产中多采用白口宽度来表示白口大小。

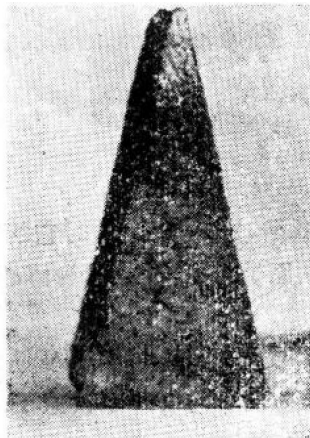


图1-1 三角试样宏观断口

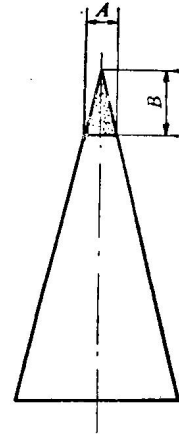


图1-2 白口大小表示法

将三角试块断口打磨、抛光，做必要的腐蚀处理后（通常用硝酸酒精腐蚀），放在金相显微镜下放大几百倍来观察，就会发现它是由许多不同的组织所组成（见图 1-3）。各部位的显微组织看起来很复杂，但仔细观察分析就会发现，它们都是由一些基本相所组成。铸铁在室温下，常见的组成相有：石墨、渗碳体、铁素体、珠光体、莱氏体、磷共晶体以及非金属夹杂物（如硫化物、氧化物等）。改变化学成分或冷却速度，还会出现奥氏体、马氏体、贝氏体、索氏体以及托氏体等各种不同结构的组成相。这些不同的组成相给铸铁带来了不同的性能。

一、铁素体与奥氏体

铁素体和奥氏体都是溶解了一定量碳的铁基固溶体。为了讲清它们的结构，先介绍一下纯铁的晶体结构。

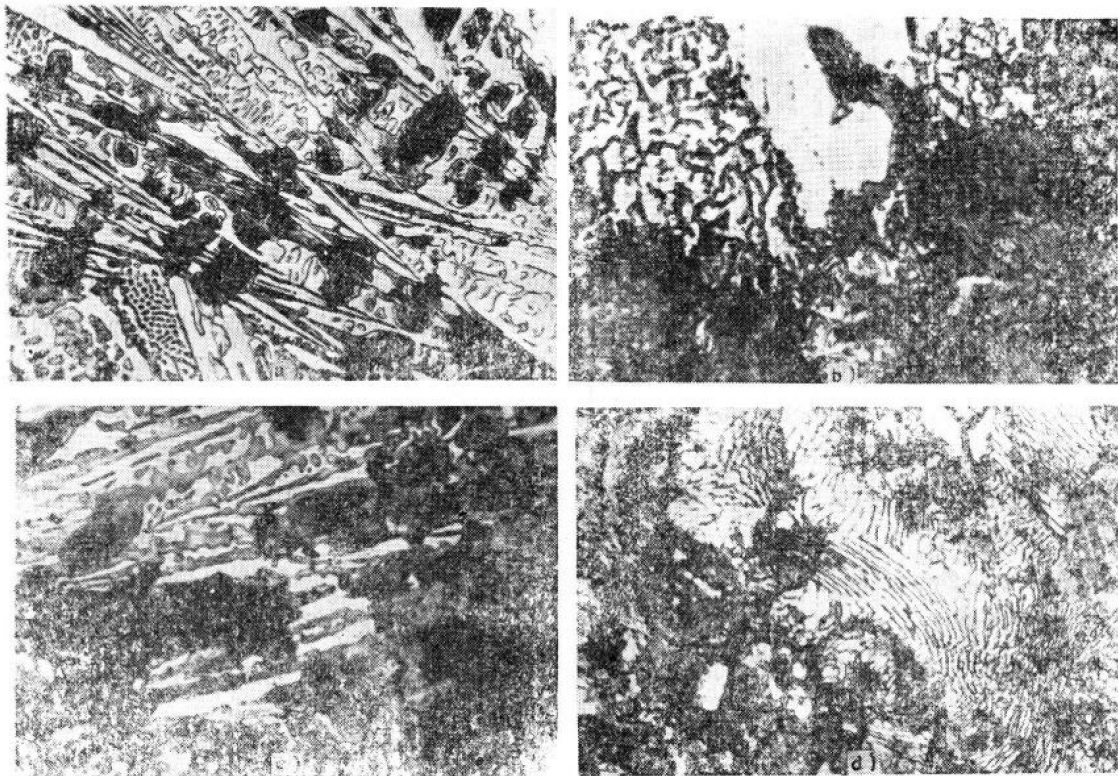


图1-3 三角试样断口各部位显微组织

a) 白口区 b) 过渡区 c) 麻口区 d) 灰口区

(一) 纯铁的晶体结构

纯铁的熔点是 1538°C ，当液态纯铁冷至熔点以下，就结晶为固态。这时它的原子排列如图 1-4 的形式。铁原子排列成立方体，中心还有一个铁原子。这种晶格称为体心立方晶格。金属学上称体心立方晶格的纯铁为 δ 铁。

当纯铁继续冷却到 1394°C 时，固态的体心立方晶格的铁晶体会发生铁原子重新排列，变为图 1-5 的排列形式，铁原子排列成立方体，并在每一个侧面中心有一个铁原子，这种晶格称为面心立方晶格。我们把具有面心立方晶格的纯铁称为 γ 铁。

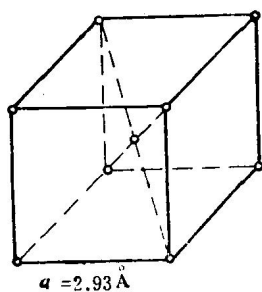


图1-4 δ 铁晶格结构

○—铁原子

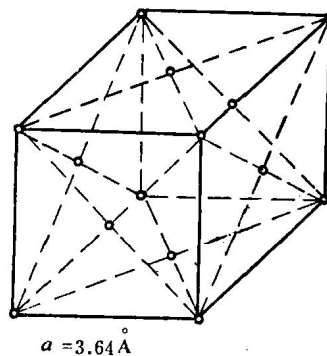


图1-5 γ 铁晶格结构

○—铁原子

当纯铁再继续冷却至 912°C 时,具有面心立方晶格的 γ 铁又发生晶格转变,又排列成体心立方晶格。虽然 912°C 以下的体心立方晶格和 1394°C 以上的体心立方晶格结构相同,但它们原子间距离不同。为了区别起见,把 912°C 以下,直至室温下的体心立方晶格纯铁称为 α 铁(图 1-6)。

(二) 铁素铁

α 铁溶解了碳后,就成了固溶体,这种溶有碳的 α 铁就称为铁素体,常用拉丁字母 F 来表示。

碳原子远较铁原子小,它能嵌入 α 铁的晶格间隙,构成间隙固溶体。 α 铁的晶格间隙较小,故能溶解的碳量也很少。在 738°C 时,碳在 α 铁中的溶解度达到最大值,也只有 0.0206% 。随着温度下降,碳的溶解度也下降。室温下,其溶解度最多也只是一亿分之几。可见铁素体在室温下和纯铁差不多,从这一点讲,铁素体和 $\alpha\text{-Fe}$ 的性能差不多一样。故铁素体也常当作纯铁体看待。但铸铁是一个复杂的多元合金。铸铁的铁素体的化学成分要复杂得多,除溶有碳外,还溶解有相当数量的硅(溶解量可达 $1.5\sim 3.5\%$)、锰($0.3\sim 1.2\%$)及少量的磷、硫、氧、氮、氢等。

铁素体晶粒很难腐蚀,但它的晶界较易腐蚀,所以腐蚀后的试样在金相显微镜下,放大几百倍就可以观察到一些白亮块和白亮块周围一些龟纹状的暗纹。白亮块就是铁素体晶粒,龟纹就是晶界(图 1-7)。

铁素体组织具有很好的韧性和高的延伸率,而强度、硬度较低。铁素体的机械性能如下:抗拉强度 $\sigma_b 25$ 公斤力/毫米²;硬度 HB80;延伸率 $\delta 50\%$ 。

铁素体的机械性能与其化学成分关系很大。加入合金元素使强度增加,韧性下降。例如溶解 5% 硅的硅钢,变得很脆。铸铁的铁素体,硬度可达 140HB。球墨铸铁的铁素体,硬度可达 180HB。

(三) 奥氏体

γ 铁溶解了碳,称为奥氏体,用字母 A 来表示。

奥氏体同样也是间隙固溶体,不过 γ 铁比 α 铁的间隙要大得多,溶解的碳量也比较多。奥氏体在 1154°C 时,碳溶解度达到最大值,为 2.08% 。随温度下降,碳的溶解度也减少,到 738°C ,碳的溶解度只有 0.68% 。

因为一般情况下, γ 铁在一定温度下会转变为 α 铁,所以奥氏体属于高温相,室温下观察不到。奥氏体存在于 738°C 以上。采用高温显微镜才可以观察到奥氏体。当改变成分和提高冷却速度也可以使奥氏体保留至室温。图 1-8 就是一幅奥氏体的金相照片。奥氏体的金相形貌和铁素体相似,其中白色亮块为难腐蚀的奥氏体晶粒;龟纹就是晶粒边界。

铸铁奥氏体还溶解有锰、硅等元素。

进一步采用电子显微镜来观察奥氏体,可以看出

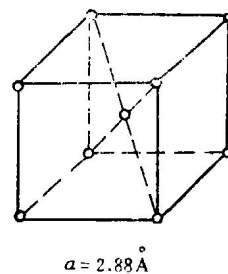


图1-6 α 铁晶格结构

○—铁原子

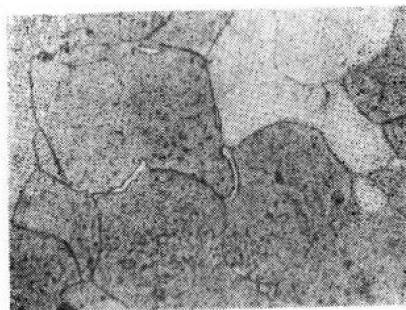


图1-7 金相显微镜下的铁素体
形貌 250×



图1-8 奥氏体形貌 250×

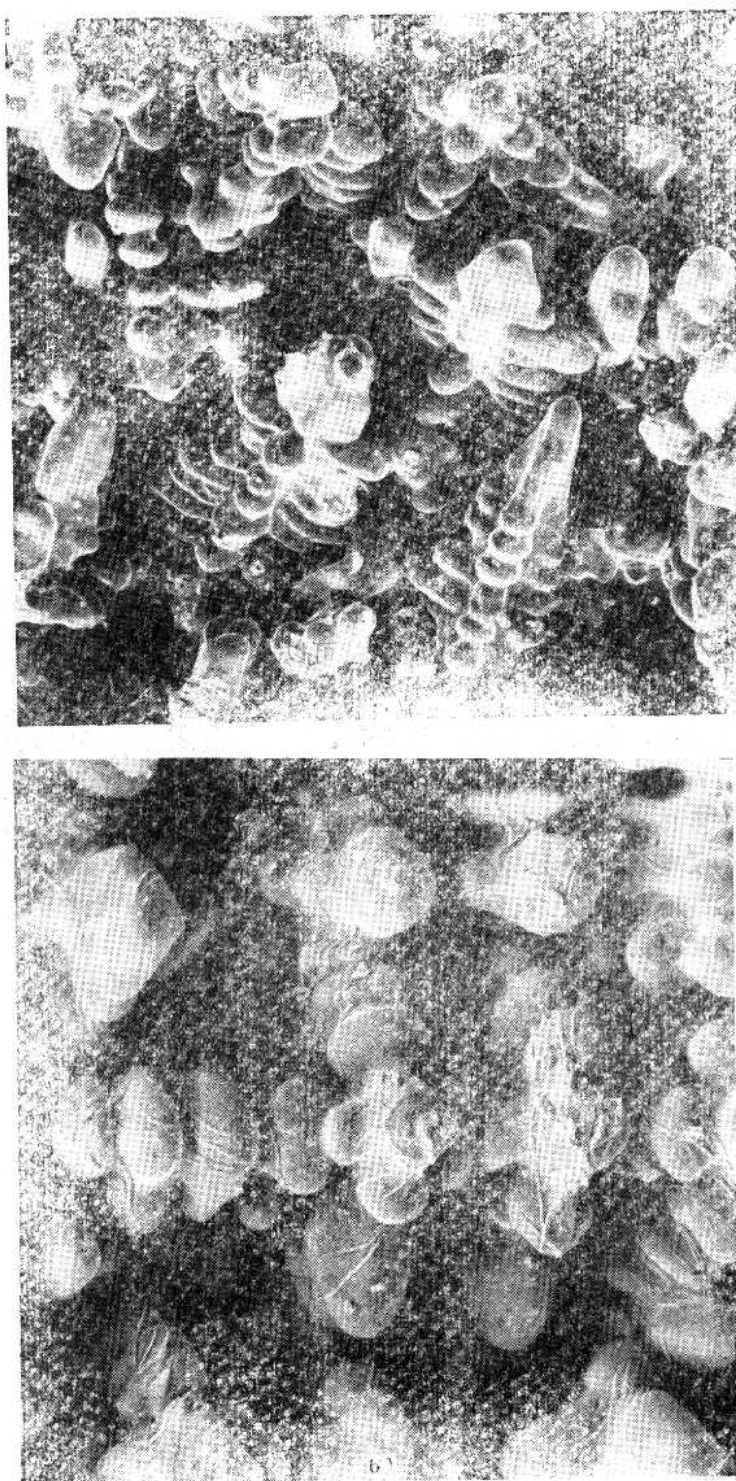


图1-9 电子扫描显微镜下的奥氏体

a) 100× b) 500×

奥氏体具有树枝状的形貌，这反映了它的生长特点。图 1-9 就是两张用电子扫描显微镜拍摄的白口铸铁奥氏体晶粒的照片，具有很明显的树枝状形态。通常缩孔内表面经常可以发现这种晶粒。碳分较低的铸铁断口上也经常可以观察到这类晶体。这种晶体呈光亮、银白色，经长时间抛光后，这些奥氏体呈现出树状浮雕，有时长达 2~3 毫米。由图 1-9 可见，奥氏体晶粒有一个主轴（一次主干），一端粗大，有明显分枝（二次分枝）。这些二次分枝分布在主轴的垂直面上，并互相垂直。主轴的另一端尖而细，二次分枝不明显。可以推断，树枝状奥氏体晶粒正沿主轴方向生长。垂直二次分枝上有三次分枝，垂直三次分枝上有小的突起，正在出现四次分枝，……。显然，这样的奥氏体有可能生长成长锥体。在铸铁里，还有其它相生长，奥氏体得不到充分生长，就保存了树枝状形貌。

二、渗碳体

当铁碳合金中的碳量超过该温度下的溶解度时，碳就会析出而形成高碳相。铸铁中高碳相有两种形式。渗碳体是其中的一种，当铸铁中碳量较低或冷却速度大时，碳即与铁组成一种结构十分复杂的电子化合物——渗碳体。渗碳体含碳 6.67%，含铁 93.33%。经近年来的研究，确认渗碳体属于斜方晶系，每个晶胞有 12 个铁原子和 4 个碳原子，但碳原子的位置尚未确定下来^[2]金相学上把渗碳体这种化合物写作 Fe_3C ，用字母 C 来表示。

铸铁因有硅、锰等元素，渗碳体的化学组成也复杂起来。硅、锰可以溶解到渗碳体中，组成复杂的碳化物，如 $(\text{Fe}, \text{Mn})_3\text{C}$ 。

某些合金铸铁中含有铬、钼、钛。铬和钼可以溶解在渗碳体里，钛不容易溶解在渗碳体

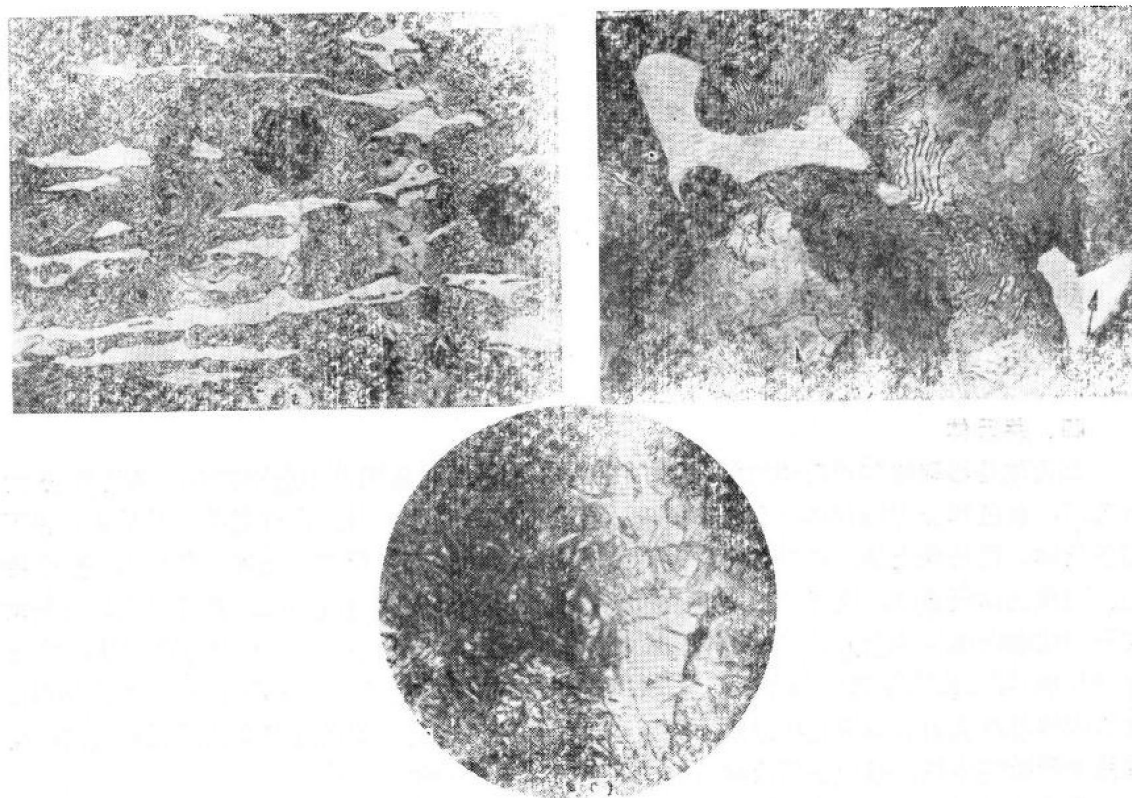


图1-10 渗碳体的金相形貌 250×

a) 板条状 b) 块状 c) 网状

里，可以组成碳化物 TiC 。

渗碳体硬度很高，约为 HB800 左右，很脆，延伸率、塑性几乎等于零。抗拉强度也很低， σ_s 为 3.5 公斤力/毫米²。渗碳体溶解了其他元素后，其硬度会更高。

渗碳体金相组织形貌随形成条件的不同而变异。有板条状、块状和网状（见图 1-10）等。

渗碳体具有层状生长特点，形成带有锯齿状分枝的粗大板状^[2]。

三、珠光体

珠光体是铁素体和渗碳体的混合物。钢中珠光体含碳量为 0.8%，渗碳体约占 12% 弱，其余为铁素体。铸铁中珠光体成分复杂，因为硅、锰可以溶解在铁素体中及渗碳体中，它的含碳量低于 0.8%。有些为 0.68%。

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。明亮纹为铁素体，渗碳体量少，边界分不清，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，渗碳体本身仍呈明亮细纹。图 1-11 就是低倍下珠光体的显微组织形貌。经过适当的热处理，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）。

珠光体因有渗碳体作骨架，强化了铁素体，它的强度、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_s 可达 80~100 公斤力/毫米²；延伸率 δ 仍可达到 8~13%；硬度 HB 160~230。

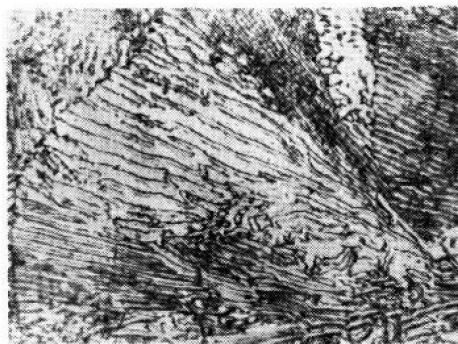


图1-11 片状珠光体 250×

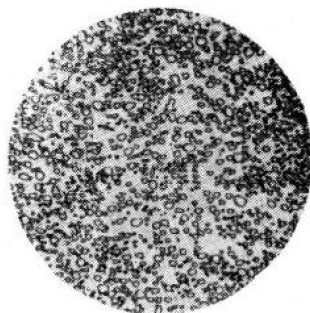


图1-12 粒状珠光体 250×

四、莱氏体

莱氏体是渗碳体和奥氏体的混合物。图 1-13 为铸铁共晶莱氏体金相组织。黑色部分为奥氏体，白色部分为渗碳体。室温下奥氏体会转变成珠光体。所以，在室温下所看到的并不是奥氏体，而是珠光体。如果在高倍显微镜下观察，同样可以看到珠光体呈指纹状金相特征。将珠光体侵蚀掉，则可用扫描电子显微镜揭示出，渗碳体连成一体，奥氏体呈蜂窝状均匀分布在渗碳体基体上（见图 1-14）。从电子显微镜照片上还可以看到有些渗碳体呈现粗大片（板）状。可以推测莱氏体具有下列生长特点：先结晶出板状渗碳体（领先相），奥氏体在板状渗碳体基体上生长出树枝状晶粒。渗碳体再生长在树枝间。如此交错生长、互相制约，构成照片所示的形貌。每一个莱氏体晶粒中，奥氏体连成一体。

莱氏体属于不稳定组织，长期加热，转变为石墨及奥氏体。铸铁的莱氏体溶解相当数量的硅、锰等元素，因之影响到莱氏体的稳定性；硅使之稳定性降低，锰相反，提高它的稳定性。

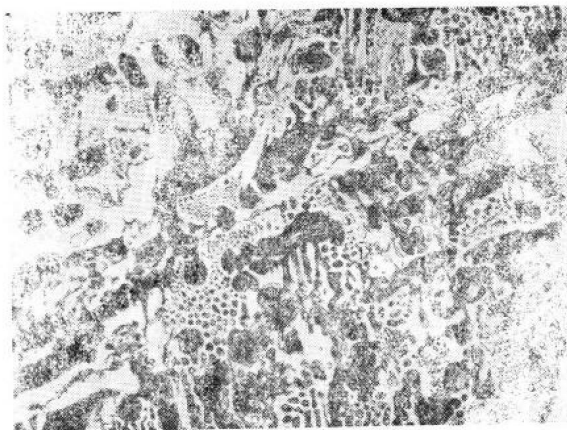


图1-13 莱氏体 250×

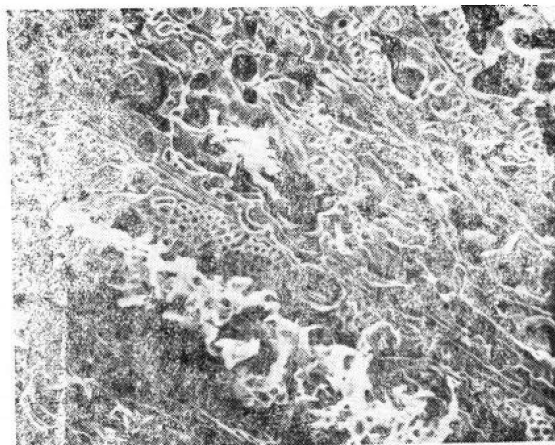


图1-14 扫描电镜下的莱氏体形貌 500×

铁-碳系中，莱氏体含碳量 4.3%，渗碳体约占一半，故莱氏体硬而脆。溶解硅的莱氏体，含碳量减少。

五、石墨

铁碳合金的高碳相，当冷却速度很小或碳量高时，就会以石墨的形态出现。这种石墨和我们常见的铅笔的笔芯、铸工车间常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（见图 1-15）。基面内原子间距离较小（ $1.42 \text{ \AA}$ ），结合力较大。基面之间原子间距离较大（ $3.4 \text{ \AA}$ ），结合力较小，因之，石墨成层片状。

石墨机械性能很低，抗拉强度仅为 2 公斤力/毫米²，延伸率接近零，硬度很低。所以，可以认为，石墨存在在铸铁里，好象低碳、高硅钢中有了空洞（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。有关问题我们在其它各章介绍。

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

图 1-16 a) 是普通灰口铁的石墨形态。在光学显微镜下，表现为不连续的、孤立的粗大片状，或直或弯扭。因此，一般称为石墨片。其实这些石墨片并不都是互不联系的孤立的片状组织。如果把灰铸铁的金属基体侵蚀掉，放在扫描电子显微镜下，观察它们的立体形貌（图 1-16 b 和图 1-16 c）。可以清楚看出其中有些石墨互相联接构成一个一个的石墨集团。每个集团皆有一个核心，由核心伸张出去许多分枝，分枝又不断生长，并再生分枝。图 1-16 a) 是在光学金相显微镜下所看到的片状石墨，只不过是一些石墨集团的许多大小分枝的断面而已。

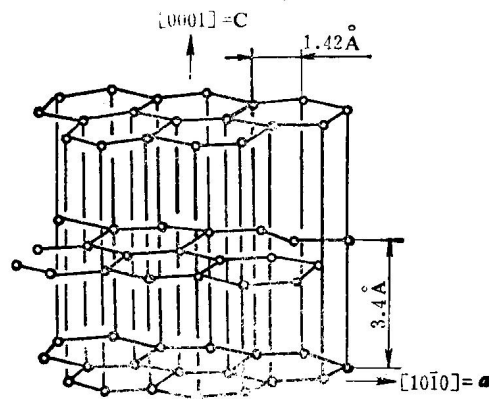


图1-15 石墨晶体结构

○—碳原子