

张远温 编著

铸铁焊补基础知识

中国农业机械出版社

铸铁焊补基础知识

张 远 温 编著

中国农业机械出版社

内 容 简 介

本书系统地分析了采用各种铸铁焊条焊补各类铸件时出现裂纹和白口等缺陷的原因、并提出了解决这些问题的途径及焊补各类铸件的工艺方法。同时,列举了汽车、拖拉机行业及机床行业铸件的铸造缺陷和使用缺陷的焊补方法及焊接材料的选择。本书不仅介绍了应用日趋广泛的 铸208和 铸248 焊条 电弧冷焊,而且介绍了白铜钎料和钎基重稀土球墨铸铁焊条。

本书可供从事铸铁焊补的工人和技术人员自学,亦可作为各地举办铸铁焊补培训班的讲义以及中等专业学校焊接专业学生的参考资料。

铸铁焊补基础知识

张远温 编著

中国农业机械出版社出版

北京市海淀区阜成路东钓鱼台乙7号

中国农业机械出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

新华书店经售

787×1092 32开 3 10/16印张 77千字

1983年4月北京第一版·1983年4月北京第一次印刷

印数:00,001—17,500 定价:0.33 元

统一书号:15216·130

前 言

铸铁是工业中应用极广的金属结构材料。在机器制造业使用的钢铁材料中，铸铁件约占40~80%。但是，铸铁零件在制造和使用过程中，常因出现夹砂（渣）、缺肉、气（缩）孔、裂纹和磨损等缺陷而报废，因此废品率很高。例如：在汽车、拖拉机和农机制造业中，铸铁件毛坯的30~50%有缺陷；在机床制造业中，铸铁件毛坯的20~40%存在缺陷。在使用过程中，铸件可能因各种原因而损坏。由此可见，铸件的焊复具有一定的实际意义，并可得到良好的经济效益。

铸铁焊补，过去一直沿用国内稀缺而又价格昂贵的镍基焊条。目前，尽管镍基焊条在现有铸铁焊条的谱系中仍有一定的地位，但是由于新型焊接材料和焊补工艺的不断问世，使得镍基焊条那种独占鳌头的阵势已经稳不住阵脚了。铸铁焊补，过去一直采用保险的热焊法。但是由于热焊法的焊接时间较长和劳动条件较差等原因，广大焊接工作者开始对冷焊法进行探索实践，并取得了可喜的成果。笔者根据近年来的焊补实践并参阅国内有关工厂、院校和科研单位的科研成果资料，整理编写了这本书，供读者参考。

几年来的焊补实践和试验推广均得到了一机部科技局、哈尔滨焊接研究所、沈阳铸造研究所、冶金部有色金属研究总院、山东工学院、吉林工业大学、武汉市科技交流站、福建省建阳焊条厂和长春市稀土合金厂等单位及其他有关同志的大力支持和协助，借此表示衷心的感谢。

由于水平和条件所限，编写中难免出现错误。文中有些认识可能不深入或不确切，敬请批评指正。

目 录

前 言

第一章 铸铁及铸铁金属学基础	1
第一节 铸铁的种类及性能.....	1
第二节 铸铁石墨化的概念.....	7
第三节 影响铸铁机械性能的主要因素.....	11
第四节 铸铁的结晶及铁碳合金状态图.....	15
第二章 铸铁焊补的特点	18
第一节 产生白口的原因和防止办法.....	18
第二节 产生裂纹的原因和防止办法.....	21
第三节 产生气孔的原因和防止办法.....	25
第四节 焊缝金属与母材不熔合的原因 和解决办法.....	26
第三章 铸铁焊补的方法及铸铁焊接材料	28
第一节 铸铁焊补的方法.....	28
第二节 铸铁焊接材料.....	33
第四章 灰口铸铁的焊补	37
第一节 灰口铸铁的气焊.....	37
第二节 灰口铸铁的钎焊.....	57
第三节 灰口铸铁的手工电弧焊.....	61
第四节 大型厚壁受力铸铁机械的焊补.....	78
第五节 手工电渣焊焊补灰口铸铁.....	80
第五章 球墨铸铁的焊补	83

VI

第一节 球墨铸铁焊补的特点·····	83
第二节 球墨铸铁焊缝的球化与组织·····	84
第三节 球墨铸铁的焊补·····	88
第六章 可锻铸铁的焊补·····	97
第七章 铸铁焊补的应用·····	98
第一节 铸铁件铸造缺陷的焊补·····	98
第二节 铸铁件使用缺陷的焊补·····	102
附录 着色探伤简介·····	108

第一章 铸铁及铸铁金属学基础

铸铁是机械工业中广泛应用的重要金属材料之一。随着生产的发展，我们焊接工作者所碰到的焊接材料的种类也愈来愈广，同时对焊接质量的要求也越来越高。铸铁材料的焊接就是其中一例。

铸铁材料本身通常都具有良好的切削加工性能。但是，用普通的焊接材料（结422）和焊接工艺（电弧焊）施焊之后，由于冷却条件的不同和化学成分的改变，使熔合区形成白口而变得难以，甚至不能进行切削加工。长期的生产实践使人们认识到，上述问题的出现都是由于铸铁内部组织的变化引起的。同样，由于内部组织不同，球墨铸铁与灰口铸铁相比，可焊性又大有差异。因此，从事铸铁焊接的同志，必须对铸铁及铸铁的一般金属学知识有个起码的了解。

第一节 铸铁的种类及性能

含碳量大于2%的铁碳合金称为铸铁。铸铁通常也叫生铁。常用的铸铁中，含碳量均在2.5~4.0%、含硅量在1.0~3.0%并含有其它杂质。在特殊用途的铸铁即合金铸铁中，还含有铬、镍、铜、钼、钒、铝、镁、钛等合金元素。

按碳在铸铁中存在的状态（化合物或游离石墨）和形式（片状、球状、团絮状等），铸铁可分为白口铸铁、灰口铸铁、可锻铸铁、球墨铸铁以及孕育铸铁和合金铸铁等，其中以灰口铸铁和球墨铸铁应用最广。

一、白口铸铁

白口铸铁中的碳是呈渗碳体状态存在于铸铁中。除少量碳溶于珠光体外，其余均以渗碳体形式存在，故断口呈白亮色，俗称白口铁。

由于渗碳体硬度极高 ($HB \approx 800$)、性极脆，所以白口铸铁也硬而脆，不能进行切削加工；加之白口铸铁的强度较低、塑性几乎为零，故在机械制造业中应用较少。工业上仅利用白口铸铁硬而耐磨的特性，用金属模浇注成表层为白口、内部为灰口的所谓冷硬铸件。例如破碎机上的破碎板和农机具上的犁铧等。除此之外，白口铁主要用作炼钢原料或熔铸成可锻铸铁。

白口铸铁的含硅量一般 $< 1\%$ ，其它成分与灰口铸铁差不多。

二、灰口铸铁

灰口铸铁中的碳全部或大部分以片状石墨形式存在于基体中。在灰口铸铁中，除少量碳溶于铁素体、珠光体外，其余均以片状石墨形式存在，故断口呈浅灰色，俗称灰铁。

由于石墨非常疏松并具有润滑作用，所以，它的存在使灰口铸铁具有一系列优良性能。比如：耐磨、减震、良好的切削加工性和较小的缺口敏感性等。但是，由于石墨的强度、塑性与基体相比几乎为零，因此致使灰口铸铁的强度较低、塑性很差。

尽管灰口铸铁的机械性能指标只有低碳钢的一半，但是，由于铸铁的熔点低、铸造性能好，而且价格低廉，因此在工业上应用相当广泛。据统计：灰口铸铁的产量约占全部铸造合金产量的65~77%。铸件重量从十几克到250吨以上，铸件长度从十几毫米到30米以上。

工业用灰口铸铁的熔点，一般在1150~1250℃；比重为6.7~7.6吨/米³；线膨胀系数为 $\alpha_{t, 200^{\circ}\text{C}} = 10.6 \times 10^{-6} (1/^{\circ}\text{C})$ ，比钢稍小。

灰口铸铁的化学成分见表1-1；牌号及性能列于表1-2。

表1-1 灰口铸铁的化学成分(%)

碳	硅	锰	磷	硫
2.7~3.9	1.1~2.6	0.5~1.4	<0.3	<0.15

表1-2 灰口铸铁的牌号和性能

牌 号	抗拉强度(公斤力/毫米 ²)	抗弯强度(公斤力/毫米 ²)
HT10-26	≥10	≥26
HT15-33	≥15	≥33
HT20-40	≥20	≥40
HT25-47	≥25	≥47
HT30-54	≥30	≥54
HT35-61	≥35	≥61
HT40-68	≥40	≥68

注：“HT”系灰铁二字汉语拼音的第一个字母，后面的数字分别为抗拉强度和抗弯强度。

三、可锻铸铁

可锻铸铁是通过把白口铸铁经过长时间的石墨化退火，使渗碳体分解出团絮状石墨而得到的。

由于可锻铸铁中的石墨呈团絮状分布于基体中，而该种

石墨对基体的割裂作用比片状石墨小得多,所以可锻铸铁的性能比一般灰口铸铁要好,有较高的强度、较好的塑性和韧性,故称可锻铸铁。其实可锻铸铁并不能锻造。

可锻铸铁对成分要求较严,大致含量为:

C: 2.3~3.4%; Si: 0.3~1.5%;

Mn: 0.2~1.2%; P: 0.3~1.0%; S: 0.5~2.5%。

由于可锻铸铁生产过程比较复杂,故一般用于制造要求比灰口铸铁性能高的截面薄、形状复杂的薄小零件。如农业机械中的手轮、手柄和拉杆等。

可锻铸铁的牌号和性能列于表1-3。

表 1-3 可锻铸铁的牌号和性能

牌 号	机 械 性 能			基体组织
	抗拉强度(公斤力/毫米 ²)	延伸率(%)	硬度(HB)	
KT30-6	≥30	≥6	~163	铁素体
KT33-8	≥33	≥8	~163	铁素体
KT35-10	≥35	≥10	~163	铁素体
KT37-12	≥37	≥12	~163	铁素体
KT45-6	≥45	≥5	152~219	珠光体
KTZ50-5	≥50	≥4	179~241	珠光体
KTZ60-3	≥60	≥3	201~269	珠光体
KTZ70-2	≥70	≥2	240~270	珠光体

注: “KT”代表可锻铸铁,后面的数字分别代表抗拉强度和延伸率。

四、球墨铸铁

在一定成分的铁水中,加入适量的球化剂和孕育剂进行

球化和孕育处理，如果这一双重处理得当，石墨可呈球状析出，这时浇出的铸件即为球墨铸铁，亦称球铁。

由于球状石墨的表面积与体积之比最小，故对基体的割裂也最小。因此，具有球状石墨的铸铁可利用基体强度的70~90%，所以球墨铸铁的机械性能优于灰口铸铁而接近于铸钢，但又保留了灰口铸铁的优点，因而被广泛用于制造受磨损、高应力和有冲击作用的重要零件。

对动力机曲轴这类关键零件，球墨铸铁件已基本取代了合金钢锻件的传统地位，现在正在向另一种大量普遍使用的传动零件——齿轮进军。

球墨铸铁的化学成分除含有球化剂和较低的磷、硫以外，其余与灰口铸铁差不多。球墨铸铁的牌号和性能列于表1-4。

表 1-4 球墨铸铁的牌号和机械性能

牌 号	基 体	抗拉强度 (公斤力/毫 米 ²)	屈服强度 (公斤力/毫 米 ²)	延伸率 (%)	冲击值 (公斤力·米 /厘米 ²)	硬 度
		不 少 于				(HB)
QT40-17	铁素体	40	25	17	6	179
QT42-10	铁素体	42	27	10	3	207
QT50-5	铁素体 + 珠光体	50	35	5	—	147~241
QT60-2	珠光体	60	42	2	—	229~302
QT70-2	珠光体	70	49	2	—	231~304
QT80-2	珠光体	80	56	2	—	241~321
QT120-1	下贝氏体	120	84	1	3	≥HRC38

注：“QT”代表球墨铸铁，后面的数字分别代表抗拉强度和延伸率。

总之，铸铁按使用性能分类可参见下表。

铸铁按使用性能分类

以机械性能为主

以特殊性能为主

灰口铸铁

球墨铸铁

可锻铸铁

耐磨铸铁

抗磨铸铁

冷硬铸铁

耐蚀铸铁

耐热铸铁

普通灰口铸铁

(孕育铸铁)

(稀土铸铁)

珠光体基体

铁素体基体

(可锻铸铁)

(珠光体)

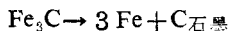
(白心铸铁)

第二节 铸铁石墨化的概念

铸铁生产的知识就是研究如何控制碳的存在形式、数量、形态、大小和分布等因素的知识。而铸铁焊补的核心问题之一，就是如何保证碳以石墨形式析出，避免白口组织产生。因此，应对铸铁的石墨化过程有所认识。

一、石墨化过程的概念

石墨是一个稳定的相，而渗碳体 (Fe_3C) 是一个不稳定的相。在一定条件下，如退火缓慢冷却时， Fe_3C 会发生分解形成石墨。



利用 Fe_3C 的这个特性，我们可将已出现大量 Fe_3C 的铸件进行退火处理，消除 Fe_3C 的有害影响。但在焊接的情况下，有些件不允许重新进行这种处理，这就必须要保证在焊接过程中，尽量避免 Fe_3C 的产生。而要这样，焊补区必须按照 $\text{Fe}-\text{C}$ 稳定状态转变。这也就是说，冷却过程中过冷度一定要小，即冷却速度一定要缓慢。使之在一次结晶过程中，冷却速度缓慢到使温度在共晶转变温度 $1135 \sim 1130^\circ\text{C}$ 之间，才能保证由液体内直接析出石墨；在二次结晶的共析转变中，温度在 $738 \sim 723^\circ\text{C}$ 之间，才能保证奥氏体分解为 $\alpha\text{-Fe} + \text{C}_{\text{石墨}}$ 。

形成石墨时，为什么过冷度要小，冷却速度要缓慢呢？

(1) 保证石墨晶核的形成

石墨 ($\text{C}_{100\%}$)、渗碳体 ($\text{C}_{6.67\%}$) 与液态铸铁 (或固态奥氏体 $\text{C} < 2\%$) 之间含碳量差别很大，石墨与液态铸铁 (或奥氏体) 的晶体结构差别也较大，而渗碳体与液态铸铁的晶体结构差别较小。因此，从液态铸铁 (或奥氏体)

中形成石墨晶核比形成 Fe_3C 晶核困难。

(2) 保证石墨晶体顺利长大

石墨晶体长大,不仅需要碳原子向石墨晶体大量扩散,而且还要求铁原子充分扩散,以便离开石墨晶体让出空间供石墨长大。在过冷度较大的情况下,铁原子长距离扩散很困难。

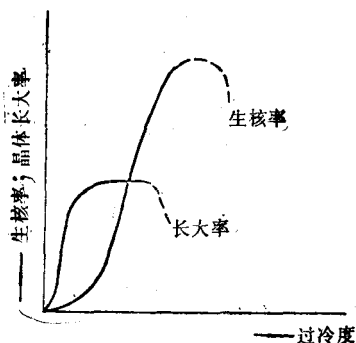


图 1-1 铸铁结晶时生核率和长大率与过冷度的关系

为保证石墨结晶需要的形核和扩散条件，小的过冷度是必要的。

另外，随着过冷度的增加，生核速度比晶体长大速度快得多。其规律参见图 1-1。铸铁焊补时，即使是在 700°C 高温预热的情况下，熔池在结晶区间 $1200\sim 1100^{\circ}\text{C}$ 的冷却速度也比

铸型中铸件的冷却速度快 3 倍左右；而在冷焊情况下大约快 9 倍。焊缝区晶粒细化也是这个道理。

二、影响石墨化的因素

铸铁在冷却过程中，能不能析出石墨，取决于冷却条件和化学成分等一系列因素。

1. 化学成分

铸铁成分对石墨化过程的影响很大。有的元素能促进石墨析出，称作“石墨化元素”；有的元素会阻碍石墨析出促使白口产生，称为“反石墨化元素”。

按照对石墨化过程的作用，可将一些元素的大致影响趋势排列如下：

促进石墨化	中性	阻碍石墨化
← Al, C, Si, Ti, Ni, Cu, P, Co, Zr Nb W, Mn, Mo, S, Cr, V, Te, Mg, Ce →		

碳、硅、锰、硫、磷是铸铁中的五个常规元素，其对石墨化影响如下。

碳和硅：

碳和硅是强烈促进石墨化元素之一，它们能加速第一和第二阶段石墨化过程，促使石墨数量增加。因此铸铁中必须保证有一定的含量。含碳量增加使石墨晶核数量增加，但碳的含量过高会使石墨片多而粗大、基体铁素体化、机械性能下降。硅能使共晶点和共析点向上、向左移动，即减少碳在固溶体中的溶解度。另外，硅原子与铁原子间有很强的结合能力。这就削弱了铁与碳之间的结合，因而促进石墨形成。但硅的含量过高会使铸铁变脆，含硅量超过 7 % 时会产生硬脆的硅化铁。

一般灰口铸铁中含碳量控制在 2.8~3.5 % 之间，含硅量控制在 1.2~2.4 % 之间。在配制钢芯或铸铁芯石墨化型焊条时，要考虑在一定范围内提高焊缝金属中的硅和碳的含量。

碳和硅的含量对铸铁组织的影响见图 1-2。

锰：

锰是反石墨化元素。但在含量少的情况下，首先生成 MnS 和 MnO 从而消除了 S 和 O₂ 的反石墨化作用，因此少量锰是有益的。含锰量一般控制在 0.5~1.2 % 之间。

硫：

硫强烈阻碍石墨化并促使白口生成。同时它还降低铁水的流动性和产生气孔，因此应尽量降低其含量。

磷：

磷对石墨化影响很小。但是，当含量超过0.3%时，会阻碍第二阶段石墨化，促使基体获得珠光体组织，同时还会形成硬而脆的磷共晶，削弱基体的机械性能。在普通灰口铸铁中磷的含量一般在0.2%以下。

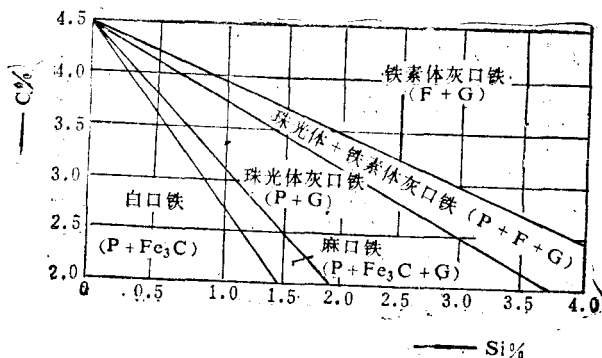


图 1-2 C%+Si%量对铸铁组织的影响 (壁厚50mm)

F—铁素体 P—珠光体 G—石墨 Fe_3C —渗碳体

几种常见元素对铸铁石墨和基体组织的影响见表 1-5。

表 1-5 某些元素对铸铁金相组织的影响

元素名称	含量(%)	对铸铁基体的影响	对铸铁石墨的影响
碳(C)	1.7以上	增加铁素体减少珠光体含量	数量增加, 石墨片变厚
硅(Si)	3.0以内	增加铁素体减少珠光体含量	数量增加, 石墨片变厚
锰(Mn)	0.5~0.8	珠光体量增加并细化	略趋细化
锰(Mn)	1.0以上	渗碳体量增加	略趋细化, 数量减少