

铸铁补焊

ZHUTIEBUHAN ZHUTIEBUHAN

甘肃人民出版社

铸 铁 补 焊

沈世瑤 编著

甘 肃 人 民 出 版 社

铸 铁 补 焊

沈世瑞 编著

甘肃人民出版社出版

(兰州庆阳路230号)

甘肃省新华书店发行 天水新华印刷厂印刷

开本787×1092毫米1/32 印张3.75 字数78,000

1981年3月第1版 1981年3月第1次印刷

印数1—3,300

书号: 15696·43 定价: 0.35元

目 录

前言	(1)
一、铸铁的一般性质和分类	(3)
二、铸铁的石墨化及其影响因素	(7)
1. 铸铁的石墨化过程	(8)
2. 铸铁成分对石墨化的影响	(11)
3. 石墨化系数及其作用	(13)
4. 冷却速度、合金组成对铸铁组织的影响	(15)
三、灰口铸铁焊补时存在的问题	(16)
1. 热影响区的组织变化和白口组织的产生	(17)
2. 焊接接头上的裂纹	(20)
3. 焊接接头中的气孔	(26)
四、铸铁补焊用的主要工艺方法	(27)
1. 电弧冷焊法	(27)
2. 电弧热焊和半热焊法	(28)
3. 气焊冷焊和气焊热焊法	(28)
4. 电渣焊补焊法	(29)
5. 二氧化碳气体保护焊法	(29)
6. 钎焊法	(30)
五、铸铁补焊时对焊接材料的选择	(30)
1. 焊缝金属为灰口铸铁组织的焊条	(31)
2. 焊缝金属为非铸铁组织的焊条	(37)
六、铸铁补焊时防止开裂的新途径	(54)

七、灰铸铁补焊工艺.....	(60)
1. 焊前准备.....	(60)
2. 常用的工艺措施.....	(63)
八、灰铸铁补焊实例.....	(72)
(一) 汽车、拖拉机铸铁零、部件的补焊.....	(72)
1. 气焊冷焊法对发动机缸体的补焊.....	(74)
2. 电弧冷焊法对发动机缸体的补焊.....	(80)
(二) 机器设备铸造毛坯及铸铁零件的补焊.....	(89)
1. 机器用铸造毛坯的补焊.....	(90)
2. 损坏了的机器设备的补焊.....	(94)
九、球墨铸铁的焊补.....	(101)
1. 球墨铸铁焊接时的主要困难.....	(105)
2. 球墨铸铁的电弧焊.....	(107)
3. 球墨铸铁的气焊.....	(111)
十、小结.....	(114)

前 言

铸铁具有很多优良的性能,如有良好的铸造性、耐磨性、切削加工性、吸振性等,加之价格低廉、生产设备也较简单,所以在机器制造业及其他工业部门中应用极为广泛。最常见的有机床床身、工作台、齿轮箱壳体,内燃机的缸体、缸盖,拖拉机的后桥壳体,轧钢机的轧辊、机架、水泵,水轮机的壳体,水轮机的叶片等等。一般说来,在各种机器设备制造中,铸铁零部件的重量约占设备总重量的40-80%左右。尤其是近年来,球墨铸铁获得了很大的发展,它在各方面的性能都有了很大的改善,打破了钢和铸铁在某些机械零件制造中的界限,例如用球墨铸铁代替碳钢及合金钢制造曲轴、连杆等,不仅成本降低,而且使用性能还有所提高。

“以铁(球铁)代钢、以铸件代锻”的技术措施提出以后,铸铁的应用范围就更加宽广了。

无论在铸造过程中或是在使用过程中,由于种种原因,铸件经常会出现各种不同的缺陷(如砂眼、缩孔、未浇满、裂缝以至使用中的磨损和断裂等),如果不能修复,就要报废,这将给国民经济建设带来很大的损失。因此,研究如何利用焊接方法来修复各种铸件,不仅可使铸造车间生产出来的有缺陷的铸件(包括在加工过程中发现的缺陷在内)得以修复,从而降低铸造车间的报废率;还可以使在使用过程中损坏的铸件迅速修复,有效地缩短修理周期,降低维修费用,

延长机器的使用寿命，这对减少经济损失，进一步加速祖国社会主义建设，是极为有利的。

铸铁的补焊和焊接，是一种有意义的焊接工艺。本书是在简要介绍铸铁的一般性能、在焊接时存在的主要问题的基础上，侧重介绍国内外铸铁补焊的经验（包括焊接材料和工艺方法及措施的选用）和新的动向，以期对我国焊接工作者解决铸铁补焊时能提供一些有益的参考资料，从而使我国铸铁补焊工作能有所提高，为实现四个现代化贡献一份力量。

一、铸铁的一般性质和分类

工业上常用的铸铁，实际上是含碳1.7~4.0%的铁-碳-硅三元合金，铸铁里除了这三种元素而外，还含有少量的锰、硫、磷等杂质；特种铸铁（即合金铸铁等）则含有一定量的其他元素，如镍、铜、铬等。

碳在铸铁中除少量溶解于金属基体之中而外，大部分是以自由状态的石墨或化合物状态的碳化铁状态存在于铸铁内。根据碳在铸铁中存在形态的不同，可将铸铁分为：白口铸铁、灰口铸铁、球墨铸铁以及可锻铸铁等数种，在工业中应用最为广泛的是灰口铸铁和球墨铸铁。

白口铸铁中的碳，基本上是以碳化铁（ Fe_3C ）形式存在的，铸件的断口特征呈亮白色，所以叫做白口铸铁。由于白口铸铁的性质硬而脆，所以在工业上直接应用比较少，其金相组织是由珠光体和渗碳体（即碳化铁）所组成，其切削加工性能极差。

灰口铸铁中的碳，基本上以自由状态的石墨存在，铸件的断口呈灰黑色，所以叫灰口铸铁。在灰口铸铁中由于石墨的含量，形状和大小是在一个比较宽广的范围内变化，所以灰口铸铁的种类也比较多。若以其基体的结构形式来分有：珠光体级的灰口铸铁，在珠光体中含有0.8%碳为化合碳，其余均为自由状态的石墨，其金相组织如图1所示。铁素体-珠光体级的灰口铸铁，其金相组织为铁素体加珠光体加自由状

态的石墨，如图 2 所示，由于其含有一定量的铁素体，所以化合碳的含量低于 0.8%。铁素体级的灰口铸铁，其金相组织是以铁素体为基体，其他则为自由状态的石墨，没有化合碳存在，如图 3 所示。

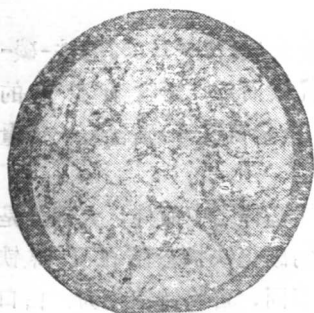


图 1 珠光体级灰口铸铁



图 2 珠光体加铁素体级灰口铸铁



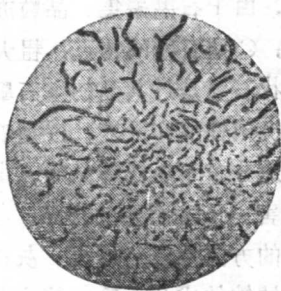
图 3 铁素体级灰口铸铁

以铸铁中自由状态的碳（即石墨）存在的形式来分，又可分为片状的、球状的和絮状的三种，也就是我们经常见到的普通灰口铸铁、球墨铸铁和可锻铸铁，现将它们的具体情况分别介绍于后。

1) 普通灰口铸铁。它所包含的石墨多以片状存在, 根据片状石墨长短、粗细和密集程度的不同, 灰口铸铁中石墨分布的形式又有A、B、C、D、E五个类型。如图4所示。A



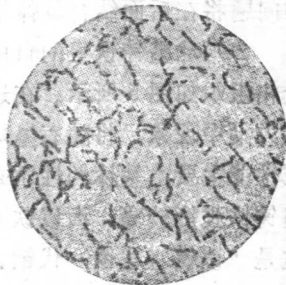
a) A型石墨



b) B型石墨



c) C型石墨



d) D型石墨



e) E型石墨

图4 灰口铸铁中石墨形态的分类

型石墨的特点是石墨片均匀分布，没有方向性，是灰口铸铁中最常见的类型，各种性能也比较好；B型石墨的特点是石墨分布比较集中，呈菊花状，中心为细小石墨、向外呈辐射状，由于石墨聚集、晶粒亦较粗大，故使铸铁的强度有所降低；C型石墨的特点：粗大石墨和细小石墨混杂分布，粗大片状石墨是过共晶初生石墨，对基体的危害极大，致使铸铁的机械性能亦最差；D型石墨的特点：细小点状石墨片无定向地分布于奥氏体晶间，由于石墨结集，对铸铁的强度亦有损害；E型石墨的特点：与D型石墨的特点相似，但石墨分布的方向性较为明显。灰铸铁中石墨的类型和大小，决定于灰铸铁的成分、冷却速度和结晶时的形核条件，有关这方面的问题将在后面结合具体情况再行分析讨论。

2) 球墨铸铁里的自由状态的石墨多呈圆球形存在，其金相组织如图5所示。在这种情况下，由片状石墨所引起的应力集中现象，将随石墨球化程度的增高而逐步减少，其机械性能主要由基体的性质来决定，一般以珠光体为基体的球墨铸铁强度较高，而以铁素体为基体的球墨铸铁塑性较好。这是“以铁（球铁）代钢、以铸代锻”的主要材料，目前已较广泛地应用在曲轴生产上。因此，球铁曲轴断裂后的焊补问题，已提到当前需要解决的日程上来了。

3) 可锻铸铁是对白口铸铁进行高温退火，利用渗碳体的不稳定性，使其在长期高温下被分解，形成致密的等轴状分布的自由石墨，如图6所示。这种类型的铸铁在农业用拖车的轮箍制造上应用已较广泛。

通过以上介绍我们可以看出，铸铁主要是由金属基体和石墨组成的，所以它的性能亦将由两个基本指标——金属基

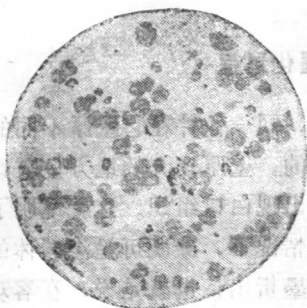


图5 球墨铸铁

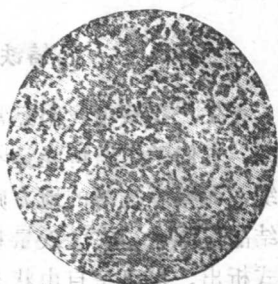


图6 可锻铸铁

体和石墨的数量及特征——来决定。石墨和金属基体相比，其机械性能极低、几乎可以忽略不计；因此，可以认为铸铁组织中自由状态的石墨就是存在于金属基体中的空洞或裂缝，也可以把铸铁看成具有大量空洞或裂缝的钢。由此可见，铸铁和钢相比，其抗拉强度要低很多，这也是铸铁在焊接应力作用下，容易开裂的重要原因之一。自由状态石墨的分布情况不同，对铸铁抗拉强度所带来的影响亦不同，片状石墨在金属基体中所起的作用最坏，而球状和絮状石墨对铸铁抗拉强度的影响就相对地要小得多。

二、铸铁的石墨化及其影响因素

为了进一步掌握铸铁的性能，以便在焊补过程中利用它的某些客观规律来解决补焊时出现的主要问题，我们首先应该对铸铁石墨化的过程、影响石墨化程度的因素进行较全面

的讨论。

1. 铸铁的石墨化过程

在生产实践中我们经常发现，同一铸件在它壁厚不同的地方，它们的组织可能是不相同的，壁厚较大的地方呈灰口组织，而壁厚较薄的地方则往往出现白口组织。这就说明了在结晶过程中，在含碳量相同的情况下，碳既可呈渗碳体的形式析出、也可呈自由状态的石墨析出；也就是说，在客观上有两种不同的析出途径。如果将这两种析出途径在相图上表示出来，即为铁-碳双重平衡图，如图 7 所示。

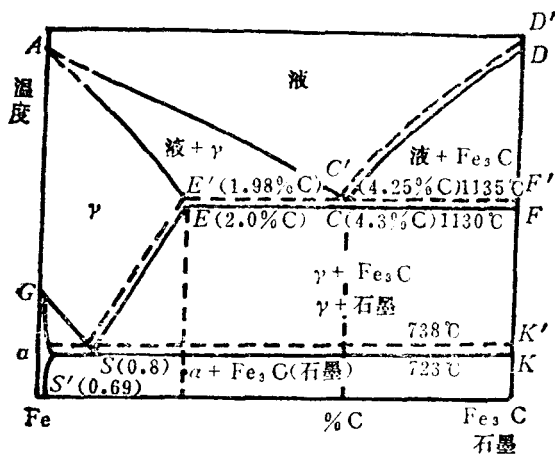
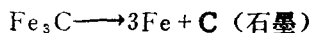


图 7 铁-碳双重相图

图中虚线表示铁-石墨平衡图，实线表示铁-渗碳体平衡图。在实际生产条件下，某一成分的铁水在冷却过程中，究

竟要按双重相图的那一个图相转变，完全取决于它的冷却速度。当冷却速度非常缓慢时，基本上可按铁-石墨稳定相图（即虚线表示的）进行转变，亦即是可以从液相中或固溶体中析出石墨来；在快速冷却时，则基本上按铁-渗碳体介稳相图（即实线表示的）进行转变，即由液相或固溶体中直接析出渗碳体来。这两种不同的转变途径，是根据铁水在结晶过程中的热力学和动力学特点所形成的。

石墨和渗碳体相比，石墨是稳定相，它已不可能再分解了；而渗碳体则是介稳相，在一定的条件下渗碳体还可以再分解为石墨和铁的固溶体。即：



正如同在日常生产中我们对白口铸铁进行长期高温退火那样，可以得到絮状石墨所组成的可锻铸铁（即所谓马钢）。

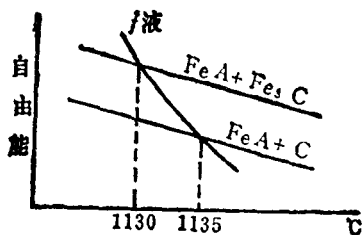
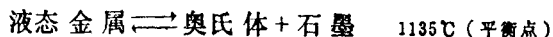


图8 由液相生成渗碳体和石墨的自由能

从生成自由能的角度来说，无论是铁素体加石墨或奥氏体加石墨，它们与铁素体加渗碳体或奥氏体加渗碳体相比，前者都具有较低的生成自由能，如图8所示。所以说在缓冷的条件下比较容易生成石墨。

实践证明，由液态铁水冷凝时生成石墨和渗碳体的条件为：



液态金属 $\rightleftharpoons$ 奥氏体 + 渗碳体 1130°C (平衡点)

由固态金属继续冷却时生成石墨和渗碳体的条件为:

奥氏体 $\rightleftharpoons$ 铁素体 + 石墨 $\bullet$ 738°C (平衡点)

奥氏体 $\rightleftharpoons$ 铁素体 + 渗碳体 723°C (平衡点)

从以上数据可以看出,铁水冷凝时在 1135°C 附近停留时间愈长,生成石墨的可能性愈大;固态金属在继续冷却时,在 738°C 以上停留时间愈长,生成二次石墨的可能性也愈大;若很快就冷却到 720°C 以下,就容易出现白口铸铁的组织。通常采用热焊法补焊铸铁时,要求预热到 700°C 以上就是从这个道理出发的。

再从结晶和相变过程的动力学来说,渗碳体从液态金属中或奥氏体中析出时,不需要很大的扩散生核功,因为它们之间的结晶构造和成分都是比较接近的。一般铁水中的含碳量约在3.2—3.8%之间,奥氏体中的含碳量约在2%左右,渗碳体中的含碳量则为6.67%,而石墨含碳量则为100%,且其晶体为六方晶格。非常明显,铁水中的碳或奥氏体中的碳,只要稍稍扩散就可以很快地达到渗碳体所需要的含碳量;如要扩散形成含碳100%的石墨,所需要做的功就要大得多了。特别是当冷却速度比较快的时候,要以石墨的形式析出就更加困难了。

通过以上讨论可以看出,为了获得比较理想的灰口铸铁组织,不能单纯依靠减缓冷却速度的办法来解决问题,还需要从其他方面设法解决石墨化的问题。而有效的办法之一就是对于铸铁化学成分进行必要的控制。为了达到这个目的,还需要对铸铁的化学成分对石墨化的影响有所了解。

2. 铸铁成分对石墨化的影响

实践证明，铸铁组成成分中的各个元素，对铸铁石墨化程度有着不同的影响，为了进一步掌握其规律性，以便在铸铁补焊时能较主动地控制焊缝质量，现将其主要组成成分对石墨化过程的影响分述如下：

1) 碳的影响。非常明显，铸铁中的含碳量是它区别于钢的重要标志之一，其含量的多少与铸铁中碳存在的状态有着直接的关系；铸铁中含碳量愈低，其石墨化的可能性即愈小；当含碳量增高时，则其石墨化程度亦将随之增高。应该指出，铸铁的含碳量并不是可以无限制增大的，当含碳量超过一定数值以后，将使铸铁中的渗碳体急剧增高，从而形成白口铸铁的组织。

2) 硅的影响。硅是一种强烈的石墨化剂，它加入铸铁中后，由于它能优先溶于铁中，将使碳在铁中的溶解度减低，从而能够促使铸铁中的碳游离成为自由状态的石墨，所以说硅对铸铁性能的影响是很大的。硅在铸铁中含量的变化范围极宽，一般在 $0.3-0.5\% \sim 3-5\%$ 之间。铸铁中硅含量的变化，可使铸铁具有从白口铸铁到铁素体级灰口铸铁的全部类型。例如：在含碳量为 3% 的铸铁中（其他条件不变），含硅量为 0.8% 时为白口铸铁；含硅量为 $1-2\%$ 时，可为珠光体级灰口铸铁；含硅量超过 3% 时，则可获得铁素体级灰口铸铁。必须指出，含硅量也不是可以无止境地增高的，因为含硅量过多将会引起铁素体强化，形成了另一种性质的特殊合金铸铁了。

3) 硫的影响。硫在铸铁中对石墨化起着强烈的阻碍作

用。不仅如此，硫还能使铸铁的铸造性能变坏，特别是使液态铸铁的流动性能降低，这对铸铁补焊来说也是一个不利的因素。通常要求其含量控制在0.1%以下。

4) 锰的影响。锰在铸铁中也起着阻碍石墨化的作用，它能促进铸铁的白口化。但它能与硫形成硫化锰，从而降低了硫的有害作用。因此，在铸铁补焊时，如铸件本身含硫量不高，则应尽量减少或避免锰的渗入；如铸件本身含硫量偏高时，则应考虑加入适当量的锰，一方面降低硫的有害作用，另一方面尽可能避免因锰而引起的白口倾向。

5) 磷的影响。磷对铸铁石墨化基本上不起什么作用。但磷对液态铸铁的流动性有较大的改善，所以通常认为磷是铸铁在铸造时的有益杂质，但含磷量亦不宜过多，否则将引起热脆、冷脆等现象。在铸铁补焊时，含磷量亦不宜过多，因为液态铸铁流动性过大将给补焊工艺带来一定的困难。

除上述主要成分而外，其他元素对铸铁的石墨化也都有不同的影响。有资料将诸元素对石墨化影响的顺序排列如下：

铝—碳—硅—钛—镍—铜—磷—钴—锆—铌—钨—锰—钼—硫—铬—钒—钽—镁—钙—硼。

从上述顺序中可以清楚地看出，铝对铸铁石墨化的影响最强。有资料介绍当铸铁中含铝0.25%时，石墨化程度就很显著；当含铝量达0.5%时，铸铁中的碳即大部分石墨化了；当含铝量达1%时，在1秒钟内就能使渗碳体全部分解。遗憾的是铝不容易加到铸铁中去，特别是在铸铁焊条的药皮中加铝是非常困难的，人们曾用铝粉、铝屑以及铝铁等原材料加入铸铁焊条的药皮中，但都难以收到预期的效果。钛在含量低于0.5%时，对铸铁石墨化有利，超过0.5%时即对石墨化