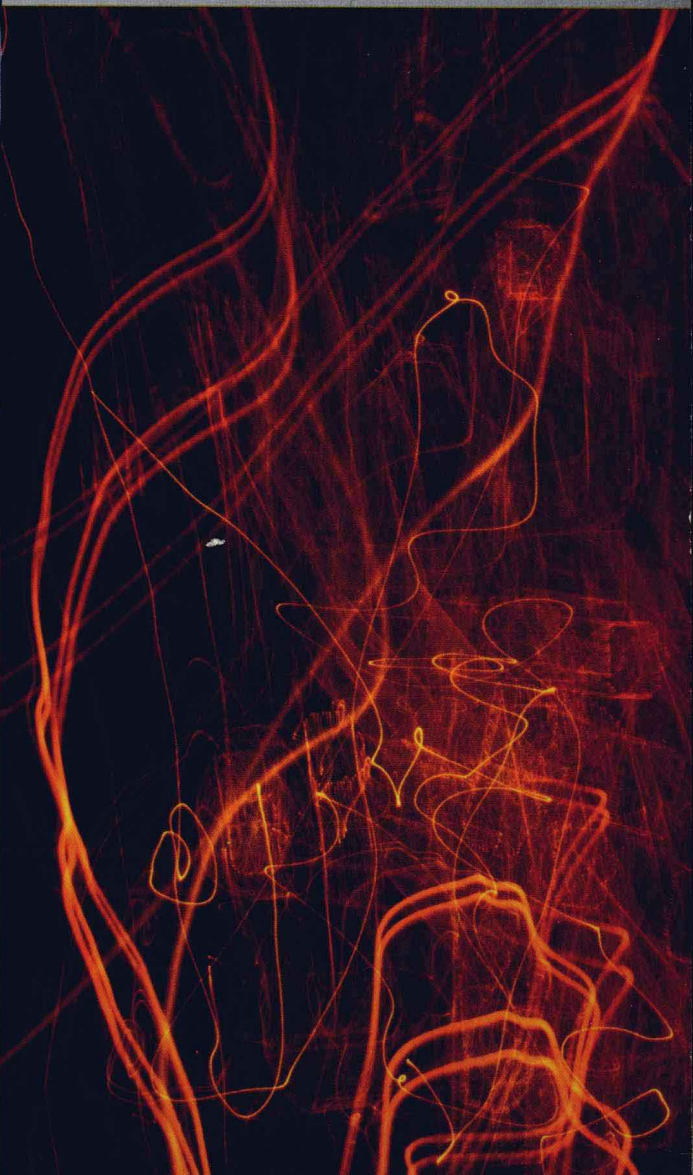


机械类 高级技工学校统编教材 高级工培训教材

# 高级焊工技能训练



版权所有 翻印必究

**图书在版编目 (CIP) 数据**

高级焊工技能训练/邢淑萍编. —北京: 中国劳动社会保障出版社, 2002  
ISBN 7-5045-2962-1

I. 高 ...

II. 邢 ...

III. 焊接工艺 - 高等学校: 技术学校 - 教材

IV. TG44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 011339 号

**中国劳动社会保障出版社出版发行**

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码: 100029)

出版人: 张梦欣

\*

北京京安印刷厂印刷 新华书店经销

787 毫米×1092 毫米 16 开本 14.25 印张 354 千字

2002 年 5 月第 1 版 2002 年 5 月第 1 次印刷

印数: 3000 册

定价: 21.00 元

读者服务部电话: 64929211

发行部电话: 64911190

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

## 简介

本书内容包括：特殊金属材料的焊接，焊接设备，典型焊接结构的焊接，焊接试验、检验及焊接接头强度计算，特殊切割方法及气割机，氧—乙炔焰喷涂、喷熔。

本书可作为高级技工学校机械专业、中等职业学校机械高级班的教材，也可作为企业高级工培训教材和工人自学用书。

本书气焊部分由中国第一汽车集团公司高级技工学校邢淑萍编写，电焊部分由本溪冶金高级技校王长忠编写，王长忠对全书进行了统稿。气焊部分由北京工业大学闫玉芹、株洲电力机车厂马克湘、张士合审稿，电焊部分由清华大学龚国尚审稿，龚国尚还对全部内容进行了审校。

# 前 言

为加快高级技能人才培养,规范高级技工学校教学,劳动和社会保障部培训就业司1999年颁发了《高级技工学校机械类通用工种教学计划与教学大纲》,高级技工学校《专业数学》《微型计算机原理及应用》《机械制造技术基础》《机床电气与数控技术》《机械制造工艺与装备》《机械制图》《高级车工技能训练》《高级铣工技能训练》《高级磨工技能训练》《高级钳工技能训练》《高级工具钳工技能训练》《高级机修钳工技能训练》等12种教材于同年由中国劳动社会保障出版社出版。

为进一步满足高级技工学校教学和高级技术工人培训对教材的需求,我们组织修订了《机构与零件》《液压技术》《机床夹具》《公差配合与技术测量》《金属切削原理与刀具》《高级模样工技能训练》和《高级焊工技能训练》。

以上7种教材的修订,是在充分调研的基础上进行的。我们依照企业对高级技能人才理论知识和操作能力的要求,参照国家职业标准(技术等级标准),并照顾到机械类专业通用工种的特点,确定教材的深度和广度。教材结构安排合理,概念原理叙述清楚,技能训练课题针对性强。为便于教学,编入了“教学要求与课时安排”,对课程的教学要求、课时分配和教学建议做了具体说明。

此次教材的修订工作得到四川、山东、广东、吉林、辽宁、上海、湖南等省、市高级技工学校、职业培训机构的讲师、高级讲师、生产实习指导教师的大力支持,北京、天津等一些高校教师对教材进行了审定,在此一并表示感谢。

恳请广大师生在使用过程中对教材提出宝贵意见,以便进一步完善。

劳动和社会保障部教材办公室

2001年1月

# 目 录

<b>第一单元 特殊金属材料的焊接</b> .....	( 1 )
课题一 复杂铸铁件的焊接.....	( 1 )
课题二 铝及铝合金的焊接.....	( 11 )
课题三 铜及铜合金的焊接.....	( 19 )
课题四 钛及钛合金的焊接.....	( 27 )
课题五 低碳钢与低合金高强度钢的焊接.....	( 32 )
课题六 珠光体钢与奥氏体不锈钢的焊接.....	( 35 )
课题七 不锈复合钢板的焊接.....	( 40 )
课题八 钢与铜及其合金的焊接.....	( 44 )
课题九 金属材料焊接课题操作技能考核.....	( 49 )
<b>第二单元 焊接设备</b> .....	( 54 )
课题一 埋弧自动焊机的结构、使用及故障排除.....	( 54 )
课题二 CO <sub>2</sub> 气体保护焊机的结构、使用方法及故障排除方法.....	( 61 )
课题三 其他焊接设备的结构、使用及故障排除.....	( 68 )
课题四 焊接设备课题操作技能考核.....	( 76 )
<b>第三单元 典型焊接结构的焊接</b> .....	( 79 )
课题一 中厚板、承压管的焊接.....	( 79 )
课题二 锅炉压力容器的焊接.....	( 85 )
课题三 梁和柱的焊接.....	( 92 )
课题四 焊接工艺规程的编制.....	( 102 )
课题五 典型焊接结构的焊接课题操作技能考核.....	( 107 )
<b>第四单元 焊接试验、检验及焊接接头强度计算</b> .....	( 110 )
课题一 焊接试验.....	( 110 )
课题二 焊接检验.....	( 117 )
课题三 焊接接头静载强度计算.....	( 139 )
课题四 焊接接头静载强度计算考核.....	( 147 )
<b>第五单元 特殊切割方法及气割机</b> .....	( 148 )
课题一 高速气割及气割能源结构的新发展.....	( 148 )

课题二	各种高效气割设备及应用	(157)
课题三	数控气割机的安装、调试、验收、操作及故障排除	(168)
课题四	特殊的切割方法	(183)
课题五	气割操作技能考核	(195)
<b>第六单元</b>	<b>氧—乙炔焰喷涂和喷熔</b>	<b>(197)</b>
课题一	典型产品的喷涂	(197)
课题二	典型产品的喷熔	(208)
课题三	氧—乙炔焰喷涂和喷熔操作技能考核	(221)

# 第一单元 特殊金属材料的焊接

## 课题一 复杂铸铁件的补焊

铸铁与钢相比，力学性能较低。但是，它具有许多优良的性能，如良好的铸造性、耐磨性、切削加工性、减振性，加工价格低廉，所需生产设备较简单，所以在机器制造业中应用极为广泛。最常见的铸铁件有机床床身、齿轮箱壳体、内燃机的缸体、缸盖、轧辊、水轮机的壳体及叶片等。在铸造和使用铸铁件过程中，常常会使铸铁件出现缺陷，若通过对铸铁件不同的缺陷进行补焊和焊接，这将是十分有意义的。

### 一、铸铁的种类

铸铁是含碳量大于2%的铁碳合金。工业铸铁除含有铁、碳以外，还含有一定量的Mn、Si及S、P等元素。在铸铁件制造过程中，时常加入一些合金元素，以改善铸铁的某些性能。

根据碳在铸铁中存在的形式，分类如下：

(1) 白口铸铁 碳的绝大部分是以渗碳体 ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) 的形式存在，因断口呈亮白色，因此这种铸铁称为白口铸铁。

(2) 灰铸铁 碳的大部分或全部以游离状态的片状石墨形式存在，因断口呈暗灰色，因此这种铸铁称为灰铸铁。

(3) 麻口铸铁 碳以渗碳体和游离状态的石墨两种形式存在。

根据石墨在铸铁中存在的形态可分为以下几类：

(1) 普通灰铸铁（灰铸铁） 石墨呈粗片状存在，若在铸铁浇铸前向铁水中加入少量硅铁或硅钙等孕育剂，进行孕育处理，可使灰铸铁的粗片状石墨细化，形成孕育铸铁。

(2) 球墨铸铁 石墨呈球状。在浇铸前向铁水中加入纯镁或稀土镁合金，可以阻止铁液结晶时片状石墨的析出，促进球状石墨生成。

(3) 蠕墨铸铁 石墨呈蠕虫状。在浇铸前向铁水中加入稀土硅铁、稀土镁钛等稀土合金进行适当处理，可促使石墨呈蠕虫状，形成蠕墨铸铁。

(4) 可锻铸铁 石墨呈团絮状。将白口铸铁经过长时间石墨化退火而使渗碳体分解，由于石墨数量较少，可形成团絮状分布于金属基体中，形成可锻铸铁。

由于白口铸铁既硬又脆，无法进行机械加工，所以工业上应用很少。而以石墨形式存在的铸铁应用较为广泛。但是，由于石墨存在的形式不同（片状、球状和团絮状），它对基体性能和力学性能影响较大，在相同基体组织的情况下，球墨铸铁的强度、塑性最好，可锻铸铁次之，灰铸铁最差。然而，灰铸铁熔炼的工艺条件简便，所以应用最广，球墨铸铁次之，由于可锻铸铁的石墨化退火处理时间长，成本高，所以它逐步被球墨铸铁所代替。

铸铁生产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，而铸铁焊补

的核心问题之一，就是保证碳以石墨形式析出，避免白口组织的产生。因此，对影响石墨化因素的了解是十分必要的。

## 二、影响石墨化的因素

铸铁中碳以石墨形式析出的过程称为石墨化，铸铁的组织主要取决于其石墨化的完全程度，要获得所需要的组织，主要应控制铸铁石墨化的过程。实践证明，影响铸铁石墨化的因素主要是冷却速度和化学成分。下面分别进行讨论。

### 1. 冷却速度对石墨化过程的影响

在生产实践中我们经常发现，同一铸件在壁厚较大的部位呈灰口组织，而壁薄的部位则往往出现白口组织。这就说明了在结晶过程中，含碳量相同的情况下，碳既可以渗碳体的形式析出，也可以呈游离状态的石墨析出。也就是说，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，即为铁碳合金双重状态图，见图 1—1 所示。

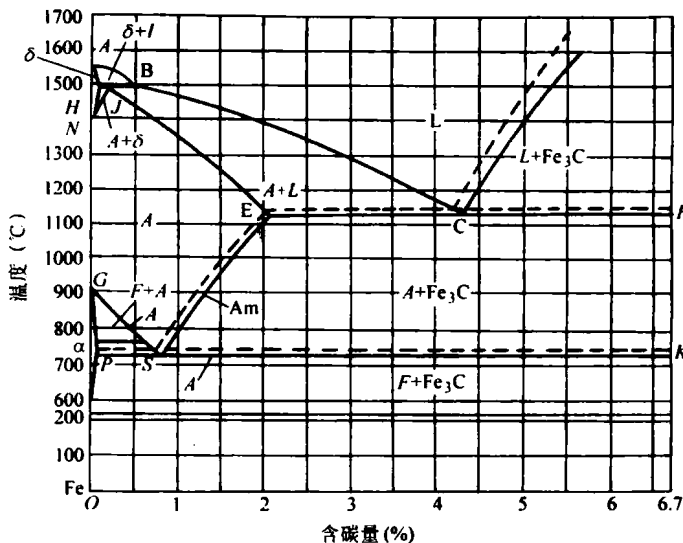
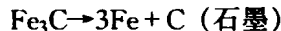


图 1—1 铁碳合金双重状态图

图中的虚线表示 Fe—C (石墨) 状态图，实线表示 Fe—Fe<sub>3</sub>C 状态图，在实际生产条件下，某一成分的铁水在冷却过程中，究竟按双重相图的哪一个图像转变，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 Fe—C (石墨) 状态图进行转变，即可以从液相中或固溶体中析出石墨来；当快速冷却时，则基本上按 Fe—Fe<sub>3</sub>C 状态图进行转变，即从液相中或固溶体中直接析出渗碳体来。

石墨和渗碳体相比，石墨是稳定相，它不可能再分解了，而渗碳体是介稳定相，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：



利用 Fe<sub>3</sub>C 这一特性，可消除 Fe<sub>3</sub>C 的有害影响。正如我们知道的白口铸铁进行长时间的高温退火，就可以得到团絮状石墨所组成的可锻铸铁。但是，在焊接条件下，有些铸件不允许重新进行这种处理，这就必须保证焊接过程中尽量避免 Fe<sub>3</sub>C 的产生。因此，焊补区必须按照 Fe—C 稳定状态转变，即冷却速度一定要缓慢。

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+石墨 1 153℃ (平衡点)

液态金属 $\rightleftharpoons$ 奥氏体+渗碳体 1 147℃ (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 738℃ (平衡点)

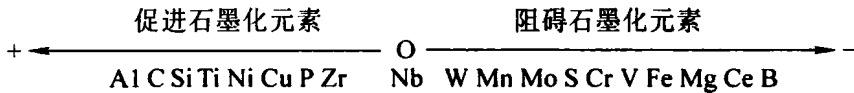
奥氏体 $\rightleftharpoons$ 铁素体+渗碳体 727℃ (平衡点)

由上述可以看出,铁水冷凝时在 1 153℃ 附近停留时间越长,生成石墨的可能性越大;固态金属在继续冷却时,在 738℃ 以上停留时间越长,生成二次石墨的可能性也越大;若很快就冷却到 727℃ 以下,就容易出现白口铸铁的组织。因此通常采用热焊法补焊铸铁时,要求预热到 600~700℃ 以上就是这个道理。

## 2. 化学成分对石墨化过程的影响

如果把铸铁的冷却条件看做是影响石墨化过程的外因,而其化学成分则是影响石墨化过程的內因。

在铸铁中,除碳、硅元素之外,还含有一定量的锰、磷、硫等元素。同时由于合金化的目的及原生铁成分的不同,还可能含有钛、铬、钼、镍、钒等元素。按其对石墨化过程影响程度的不同,可将这些元素分为促进石墨化元素和阻碍石墨化元素两大类。常用元素按照它们对石墨化过程作用的强弱程度,排列如下:



其中铌是中性的,它的左侧是促进石墨化元素,右侧是阻碍石墨化元素,其作用强度依箭头指向递增。

对于铸铁的石墨化,碳和硅起决定性作用,因为它们都是强烈促进石墨化元素。随着含碳量的提高,铁水中碳的成分增加,有利于石墨晶核的形成,促进石墨化过程。而硅和铁原子的结合力很强,削弱了铁、碳原子的结合力,增强了铁水与固态铸铁中碳原子扩散能力,使之成为游离碳,也促进了石墨化。所以,铸铁中的碳和硅含量越大,越容易得到石墨组织,反之,越容易得到渗碳体(白口)组织。由图 1—2 可看出,当冷却条件一定时,铸铁组织主要取决于碳、硅含量。

还须指出:当碳含量过高时,会使石墨粗化,基体中铁素体量增加,而导致力学性能下降。当硅的含量大于 7% 时,会产生硬脆的硅化铁。因此,铸铁补焊焊缝中的碳、硅含量不能过高,应控制在一定范围内。

锰在铸铁中是阻碍石墨化元素,它会阻碍渗碳体的分解,减少了石墨的数量。但是,锰能强化铸铁的基体,并且有脱硫作用,可减少硫在铸铁中的危害。故在铸铁中要保持一定的含锰量,一般为含硫量的 5~7 倍。

硫在铸铁中强烈阻碍石墨化过程,是阻碍石墨化元素,硫含量高时,不仅使铸铁的白口倾向增大,同时硫与铁形成的化合物 FeS 促使低熔点共晶的产生,易产生热裂纹,还会影响铁水的流动性,使铸铁的收缩率增大。因此,硫在铸铁中的危害最大。

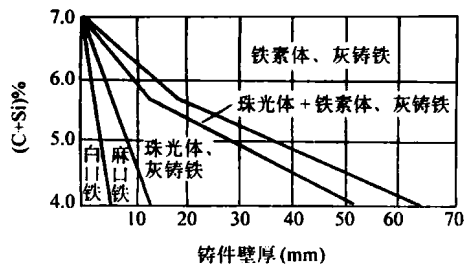


图 1—2 碳、硅含量对铸铁组织的影响

磷在铸铁中虽可促进石墨化，改善铁水的流动性。但是，由磷形成的三元磷共晶体组织熔点低、裂纹倾向大。

### 三、铸铁的基体组织和性能

#### 1. 铸铁的基体组织

由金属学可知，白口铸铁结晶和固态转变时，渗碳体在三个阶段内形成：

由液态金属中直接形成的一次渗碳体或共晶体中的渗碳体；

由奥氏体中析出的二次渗碳体；

共析转变时，共析体中的渗碳体。

因此，铸铁的石墨化转变也是在上述三个阶段内进行的。在具备石墨化条件时，渗碳体将由石墨代替。对于灰铸铁，可产生下列不同的基体组织：

当共晶成分的液态铸铁自高温缓慢冷却时，在共晶温度将析出奥氏体和石墨的共晶，继续冷却由奥氏体中又析出石墨，至共析温度时发生奥氏体分解为铁素体和石墨的共析转变，结果得到铁素体基灰铸铁。

如果在共析转变阶段冷却速度较快，会发生珠光体转变，形成珠光体为基体的灰铸铁。

若在共析转变阶段的冷却速度介于以上两种情况之间时，由于石墨化过程只能部分进行，最后形成以铁素体加珠光体为基体的灰铸铁。

#### 2. 铸铁的性能

目前，灰铸铁的牌号有 HT100、HT150、HT200、HT250、HT300 和 HT350。

HT 表示灰铸铁，随后的三位数字表示抗拉强度 (MPa)。

灰铸铁几乎没有塑性及韧性，其伸长率  $< 0.5\%$ ，冲击韧性  $< 0.8 \text{ J/cm}^2$ 。

上述各牌号灰铸铁的抗拉强度和硬度是由基体组织及石墨的形态、大小和数量决定的。铁素体基灰铸铁的强度和硬度均最低，以珠光体为基体的灰铸铁的强度和硬度最高。改变基体中的铁素体和珠光体的相对含量，可得到不同抗拉强度及硬度。石墨呈细片状的比呈粗片状的灰铸铁抗拉强度高。

铁素体基灰铸铁 (HT100) 用于制造手轮、支架等低负荷、不重要的零件。铁素体—珠光体基灰铸铁 (HT150) 用于制造齿轮箱、工作台等承受中等负荷的零件。珠光体基灰铸铁 (HT200、HT250) 可制造齿轮、活塞、轴承座等承受较大负荷的零件。孕育铸铁 (HT300、HT350) 可用来制造凸轮、车床卡盘等承受高负荷的零件。

常用球墨铸铁的牌号有 QT450—10 (基体为铁素体组织)、QT500—7 (基体为铁素体加珠光体组织)、QT600—3 (基体为珠光体加铁素体组织)、QT700—2 (基体为珠光体组织) 等。

QT 表示球墨铸铁，其后的第一组数字表示抗拉强度 (MPa)，短划“—”后的第二组数字表示伸长率 (%)。

球墨铸铁具有优良的力学性能，可用于制造负荷较大、受力复杂的曲轴、凸轮轴、蜗轮蜗杆等机器零件。

### 四、灰铸铁的焊接性

#### 1. 焊缝及熔合区易产生白口组织

铸铁焊补时，由于所采用的焊接材料不同，而导致焊缝金属有铸铁成分和非铸铁 (钢、

镍、镍铁、镍铜、铜铁等)成分。

若焊缝金属为铸铁成分时,熔池冷却速度太快,渗碳体来不及析出石墨,以 $\text{Fe}_3\text{C}$ 形态存在,即焊缝容易产生白口组织;而在靠近焊缝的熔合区,若温度为 $1\ 150\sim 1\ 250^\circ\text{C}$ ,石墨全部溶解于奥氏体。当焊缝冷却时,奥氏体中的碳往来不及析出石墨,仍以 $\text{Fe}_3\text{C}$ 形态存在而形成白口组织。

焊缝金属为非铸铁成分时,常用EZNi纯镍、EZNiCu镍铜等焊条进行焊补。一般都采用冷焊法,在焊接过程中,熔合区的冷却速度势必很快,所以在该处也必然会出现白口组织,只不过随着所用焊条或焊接工艺不同,白口组织带的宽度有差别,其带呈连续性或间断性。目前,铸铁冷焊用的EZNi纯镍焊条引起的熔合区白口组织不很严重,但仍不能根绝,只是白口组织带很窄且为间断出现。

铸铁焊补时,应尽量避免白口组织,具体措施为:

(1)减小焊接过程中和焊后的冷却速度,为此,采用焊前预热、焊时保温、焊后缓冷等措施。焊缝为铸铁成分时,一般预热到 $600\sim 700^\circ\text{C}$ 。焊缝为非铸铁成分时,则采用不预热的冷焊措施;有时可略加预热,但也只能预热到 $100\sim 200^\circ\text{C}$ 或略高一些。

(2)利用石墨化元素,促使渗碳体分解出石墨,以减少白口组织;同时要限制阻碍石墨化元素含量。当焊缝为铸铁成分时,在焊接材料中增加碳、硅的含量,使之在焊缝中高于铸铁母材。当焊缝为非铸铁成分时,虽然焊缝本身不易有白口组织,但是,若选用不含石墨化元素的焊条,则熔合区会有白口组织出现。

## 2. 焊缝及熔合区产生裂纹

当焊缝为铸铁型时,铸铁焊接接头的裂纹主要是冷裂纹,原因如下:

(1)灰铸铁内部分布着大量片状石墨,强度低,塑性很差,承受塑性变形的能力几乎等于零,容易开裂。

(2)在焊补过程中局部加热及冷却必然产生焊接应力,容易产生裂纹。

(3)焊接接头出现硬而脆的白口组织,塑性更差,也易产生裂纹。

防止裂纹的工艺措施为:

(1)焊前预热、焊接过程中保温和焊后缓冷是焊补铸铁的重要措施。

(2)在焊补厚大铸件时,应采用窄坡口、坡口内栽丝或填垫板等措施,以减小焊缝体积,分散焊接应力。

(3)采用熔敷金属的屈服点较低的铸铁焊条(如铜基铸铁焊条),有利于防止裂纹。

当采用镍基焊接材料及一般常用的低碳钢焊条焊接铸铁时,焊缝金属不易出现冷裂纹,而易产生热裂纹。

## 五、灰铸铁焊补工艺

### 1. 焊接方法

目前最常用的铸铁焊补方法是焊条电弧焊和气焊,其次是钎焊和手工电渣焊。这里主要介绍常用的焊条电弧焊和气焊的铸铁焊补方法。

### 2. 焊接材料

铸铁焊补所用焊接材料除了用GB10044—88《铸铁焊条及焊丝》规定的之外,还可用18—8型不锈钢焊条及其他高铬镍焊条。焊条电弧焊常用的铸铁焊条见表1—1。气焊焊丝和焊剂见表1—2。

表 1—1

常用铸铁焊条

焊条名称	焊条牌号	焊条型号	药皮类型	焊芯组成	焊缝金属	电源种类	主要用途
氧化型钢 芯铸铁焊条	铸 100	EZFe-2	氧化型	低碳钢	碳钢	交直流	一般灰铸铁件， 焊后不加工
高钒钢铸 铁焊条	铸 116 铸 117	EZV EZV	低氢型 低氢型	低碳钢 低碳钢	高钒钢 高钒钢	交直流 直流反接	强度较高的灰铸 铁、球墨铸铁、可 锻铸铁
石墨型钢 芯铸铁焊条	铸 208 铸 238	EZC EZCQ	石墨型 石墨型	低碳钢 低碳钢	灰铸铁 球墨铸铁	交直流 交直流	一般灰铸铁件 球墨铸铁
铸铁芯铸 铁焊条	铸 248	EZC	石墨型	灰铸铁	灰铸铁	交直流	要求焊缝组织为 灰铸铁的铸件
纯镍铸铁 焊条	铸 308	EZNi	石墨型	纯镍	镍	交直流	重要的灰铸铁 件，可切削加工
镍铁铸铁 焊条	铸 408	EZNiFe	石墨型	镍铁合金	镍铁合金	交直流	球墨铸铁和灰铸 铁，可切削加工
镍铜铸铁 焊条	铸 508	EZNiCu	石墨型	镍铜合金	镍铜合金	交直流	灰铸铁，可切削 加工，强度、抗裂 性较差
铜铁铸铁 焊条	铸 607 铸 612		低氢型 钛钙型	纯铜 铜包钢芯	铜基、铜铁混合 铜基、铜铁混合	直流反接 交直流	一般灰铸铁，抗 裂性好，加工性差

表 1—2

气焊焊丝和焊剂

铸铁焊丝型号	用途	气焊焊剂
RZC—1	用于灰铸铁的焊补	气剂 201
RZC—2		
RZCH		
RZCQ—1	用于球墨铸铁的焊补	
RZCQ—2		

### 3. 焊前准备

为了保证焊补质量，首先要确定缺陷的性质、位置、走向、大小等，通常采用以下几种方法，即用肉眼或放大镜观察；用气焊火焰将缺陷处加热至 200~300℃，可使不明显的缺陷清楚地显示出来；将渗入煤油的焊件表面擦干，涂上白垩土用小锤轻击焊件，缺陷即显示出来；有密封要求的焊件，可用水压试验检查裂纹或泄漏处。

确定了缺陷的性质、位置、走向、尺寸以后，若缺陷是裂纹，应离裂缝 3~5 mm 处钻出直径为 4~6 mm 的止裂孔，以防焊接时裂缝扩展。接下来，用气焊火焰（温度控制在 100~150℃）烧除缺陷附近的油污；用砂轮、风铲等工具对缺陷进行清理，直至露出金属光泽。并根据焊件具体情况和缺陷类型加工出相应的坡口。

### 4. 坡口形式

通常较薄铸件的裂纹深度为铸件厚度的 2/3，以开 V 形坡口为宜，坡口角度在 70°~80°

范围内，若厚度或刚度较大时，采用 U 形或双 U 形坡口。坡口尺寸如图 1—3 所示。

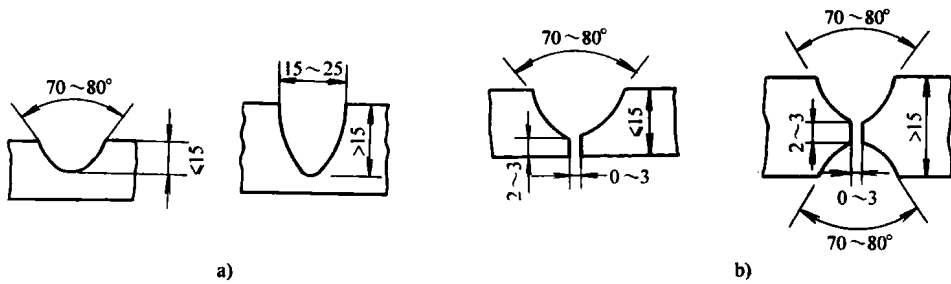


图 1—3 铸件缺陷的坡口

a) 未裂透缺陷的坡口 b) 裂透缺陷的坡口

## 5. 焊补操作要领

### (1) 焊条电弧焊焊补灰铸铁

1) 焊缝金属为非铸铁成分的电弧冷焊 铸铁冷焊不同于钢材的不预热冷焊，工艺要求如下：

①焊接电流尽可能小 可以减小熔深，不使母材铸铁熔入量过多，影响焊缝成分，以便于焊后加工。而且可以减小母材与焊接处的温差，防止开裂。同时焊接的热输入量少，还可以减小焊接应力。

②短段、断续分散焊及锤击焊段 这样可以减小热应力、防止开裂。一般薄壁件每次焊接焊缝长度取 10~20 mm，厚壁件取 30~40 mm。每焊一小段后，立即锤击处于高温的具有塑性的焊缝，可以松弛焊接应力、增加焊缝的致密性。焊补过程中，当温度降至 50~60℃ 时，再焊下一道焊道。为了避免焊件局部过热，要采用分散焊法。

③合理安排焊接顺序 对于厚度较大的焊件多层焊，按图 1—4 所示的焊接顺序，在坡口面上堆焊一层，再进行填充焊接，这样的焊接顺序抗剥离性裂纹效果较好。

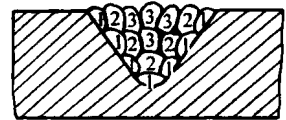


图 1—4 厚铸件多层焊焊接顺序

④栽丝焊 为防止剥离性裂纹出现，必要时采用栽丝法进行焊接，如图 1—5 所示。焊前在坡口内钻孔攻螺纹，

拧入钢制螺钉，孔深 20~30 mm，间距 50 mm 左右。先围绕螺钉焊接，再焊螺钉之间。使螺钉承担大部分焊接应力。

⑤装加强筋焊 焊补厚大铸件，坡口深度较大，在坡口内加装并焊接低碳钢加强筋（见图 1—6），可提高焊补接头的强度和刚性，大大减少了焊缝金属，又进一步减小了焊接应力，更有效地防止焊缝剥离，提高焊补效率。

2) 焊缝金属为铸铁成分的电弧焊工艺 一般采用石墨型钢芯铸铁焊条 EZC（铸 208）和铸铁芯铸铁焊条 EFC（铸 248）。焊补时的工艺要求如下：

①一般情况下需要预热到 400℃（半热焊），焊后缓冷，或预热到 600~700℃（热焊）。若有些焊缝较能自由收缩，不易产生热应力裂纹，可以不预热。

②采用大直径焊条，大焊接电流、长电弧、连续焊接工艺，以提高焊接热输入量，减缓焊接接头的冷却速度，促使药皮中大量高熔点石墨化元素充分熔化和反应，有助于消除或减少热影响区出现的马氏体组织。

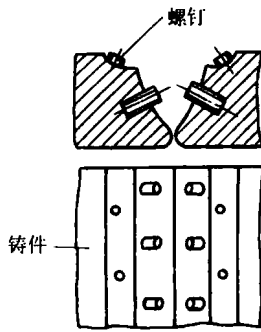


图 1—5 裁丝焊法

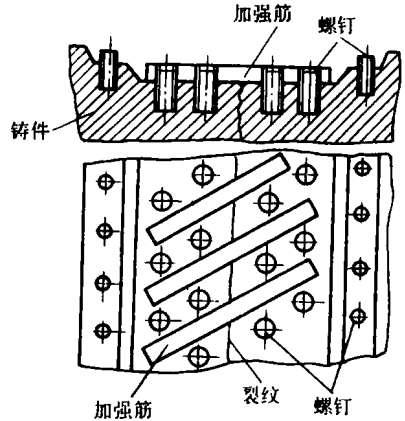


图 1—6 装加强筋焊法

③当焊补缺陷面积小于  $8 \text{ cm}^2$ 、深度小于  $7 \text{ mm}$  时，因熔池体积小，焊缝热量少，冷却速度过快，会出现白口组织。如果情况允许，可把缺陷处补焊的面积适当扩大。为了防止焊接时铁水流散，坡口周围要用黄泥或耐火泥之类的材料筑堤。如果缺陷位于铸件边缘，可进行造型，如图 1—7 所示。

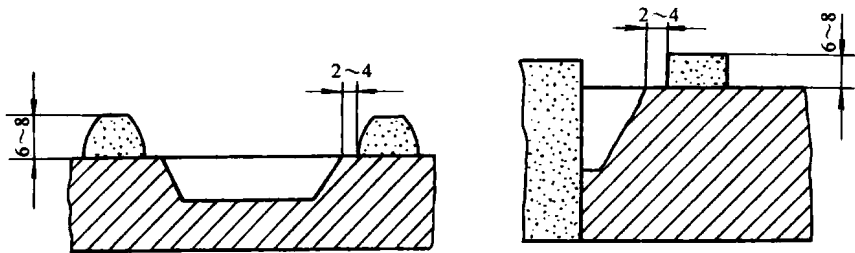


图 1—7 焊补处筑堤造型

④由于焊缝金属为铸铁，塑性很差，锤击焊缝以消除应力没有多大效果，所以一般不采用锤击法。

#### (2) 气焊焊补灰铸铁

由于氧—乙炔气焊火焰的温度为  $3100^\circ\text{C}$  左右，它比电弧温度低得多，而且热量不集中，仅适用于薄铸铁的焊补。采用一般气焊工艺，需要长时间才能把焊件加热到焊补的温度，并且加热面积也比较大，实际上相当于对焊补处进行焊前的局部预热，所以有利于石墨化过程的进行，焊缝容易得到灰铸铁组织。同时，热影响区也不容易产生白口及脆硬组织。采用 RZC 型气焊焊丝，其碳、硅含量高于灰铸铁，有利于焊缝金属的石墨化。

气焊焊补也分热焊和不预热焊两种。

焊前预热的热焊法是指铸铁整体加热或较大范围的局部加热到  $600\sim 700^\circ\text{C}$ ，主要用于补焊缺陷所在位置刚性大、易裂纹，焊后需进行机械加工的重要的受力铸件。

焊前不预热焊法主要用于缺陷处于边、角、棱且刚性不大，不易开裂，焊后不需加工的铸件。操作中应掌握好焊接方向和速度，巧妙地运用热胀冷缩规律，使焊补区在焊接过程中能够比较自由地收缩，从而减少焊接应力，避免热应力裂纹。焊接时可用加热“减应区”法防止裂纹产生。

选择减应区的原则是：

①减应区选在阻碍焊缝热胀冷缩的部位。

②减应区本身与其他部位连接要较少，比较强固，且使焊前减应区的加热焊口扩张，焊后减应区的收缩能与焊接区一起收缩。

③减应区根据需要可选定一处或几处。

气焊热焊和预热焊的焊补工艺要求为：

①宜选用 H01—20 大号焊炬和大号焊嘴，以加大火焰能率，消除焊补时的气孔、夹渣、未焊透、白口等缺陷。

焊接过程中须用弱碳化焰或中性焰；焊接结束时宜用碳化焰使焊补区缓冷，以减少碳和硅的烧损，防止白口硬化。

②对焊件开始施焊时，火焰在焊补处周围 20~30 mm 范围内作往返加热，待焊接处达到熔化状态，才能加入焊丝，以保证母材与填充金属良好熔合。施焊中，要用火焰始终盖住熔池，并保持焰心距熔池 15~20 mm。焊炬火焰不断平稳有节奏地向前移动的同时，应作横向锯齿形或圆圈形摆动，焊丝除向前移动及横向摆动外，还要适当地在熔池内搅拌，并不时将氧化物等杂质拨出熔池。如果熔池有白亮点夹杂物（为高熔点的  $\text{SiO}_2$ ），可往熔池加入少量焊剂，使其在焊剂的作用下变为熔渣，并用火焰的吹力及焊丝的搅拌将其排除到熔池表面，再用焊丝拨出。

③焊接快结束时，要对焊缝进行整形，即将有一定余高的焊缝，趁其还没有完全凝固时，对其立即重复加热进行熔实、展平，刮去表面的氧化物及多余部分，使焊缝更加致密，有效地排除气孔（缩孔）、夹渣、疏松等缺陷，大大减少了加工量，也使成形焊缝更加美观。

④焊后缓冷是铸件焊补所必须的工艺措施，最好的方法是焊后立即将焊件放在 600℃ 左右的电炉内随炉冷却；也可以用火焰（碳化焰）大面积反复加热焊接区的周围，并逐步抬高火焰，经过十几分钟后停止加热，之后将焊件盖上耐火保温材料，再用火焰补充加热较少时间就可以了。

## 六、球墨铸铁的焊接工艺

### 1. 球墨铸铁的焊接性

球墨铸铁本身的强度和塑性较好，在焊接时，除了保证不产生缺陷外，还应该从等强度来考虑，使焊缝有较好的强度和塑性。

球墨铸铁常用镁作为球化剂，但镁是阻碍石墨化的元素，所以焊接时白口现象比较严重，这是矛盾因素，也是焊接球墨铸铁的主要困难之一。

焊接球墨铸铁过程中，当热影响区温度超过 723℃ 至液相线的部位，如果冷却速度太快，其中的奥氏体会转变成马氏体，形成淬火组织，其硬度可高达 620~700 HBS，使焊后机械加工发生困难。

总之，球墨铸铁的焊接比灰铸铁的焊接要求高，焊接难度大。但是由于球墨铸铁本身的强度和塑性好，焊接时不易产生裂纹，这对于球墨铸铁的焊接是十分有利的。

### 2. 球墨铸铁的焊条电弧焊

焊条电弧焊是焊接球墨铸铁的主要方法，目前有热焊和冷焊两种方法。

(1) 热焊 采用钢芯球墨铸铁焊条 EZCQ（铸 238），焊芯是低碳钢，药皮含有石墨和球

化剂，选用直流或交流电源。对于较小的球墨铸铁焊补，焊前应预热至 500℃ 左右；对于大件，预热温度则应提高至 700℃ 左右，焊后保温缓冷。为了改善加工性能，可以进行正火处理或退火处理。正火处理是将焊件加热至 900~920℃，保温 2.5 h，随炉冷却至 730~750℃，保温 2 h，再取出空冷。焊缝组织性能与母材相近。退火处理是将焊件加热到 900~920℃，保温 2.5 h，炉冷至 100℃ 以下出炉。

(2) 冷焊 采用镍铁铸铁焊条 EZNiFe (铸 408) 或高钒钢铸铁焊条 EZV (铸 117)，对于小件焊前可不预热，当气温较低或焊件较大时，焊前需要预热至 100~200℃。焊接电流应适当小一些，若使用直径 3.2 mm 的焊条，可用 90~100 A 的焊接电流，焊前应将焊条在 120~150℃ 烘干 2 h。采用镍铁铸铁焊条只能焊补要求不高的球墨铸铁件或不重要的部位，但是，焊后接头的加工性能比采用高钒钢铸铁焊条要好些，焊后不必进行退火处理，焊缝抗拉强度可达 400 MPa，基本能满足要求。

### (3) 操作要领

1) 要严格清理缺陷，去除油污。根据缺陷的情况确定坡口形式。

2) 对于刚度较大焊件，焊前应预热至 200~400℃。

3) 若焊补缺陷面积较小，可把缺陷处补焊的面积适当扩大。避免焊补时由于熔池体积小，焊缝热量少，冷却速度过快，而出现白口组织。

4) 采用大的焊接电流、连续焊接工艺，当缺陷长而不宽时，采取逐段多层连续焊；当缺陷较宽时，采取分段、分层的补焊方式。保证补焊区有较大的热量输入，减少白口现象，提高塑性，防止产生裂纹。

5) 采用中弧焊接，弧长可控制在 4~7 mm 之间，过长的电弧会对有益元素过分烧损，影响球化。

## 七、焊补实例

### 例 1：电弧半热焊法对拖拉机前横梁轴孔的补焊

拖拉机前横梁轴孔断裂的位置，见图 1—8 所示，其补焊工艺要点如下：

(1) 焊前将断裂处按原断口组对好，两端进行定位焊。然后，用角向砂轮机开 U 形坡口，留 2 mm 左右的钝边，以保证焊透。

(2) 将焊缝置于平焊位置，将断裂处预热至 400℃，选用直径为 4 mm 的铸 208 焊条，趁热迅速补焊。

(3) 采用大电流，直径 4 mm 的焊条，焊接电流为 170~200 A。其目的是使焊条药皮得到充分熔化，并使焊缝得到较大的热量，以减慢冷却速度，避免产生白口组织。

(4) 采用长弧焊接（约为 6 mm 左右），连续堆焊两层，中间不能停焊清渣，焊完一面后迅速翻转过来焊接另一面，连续堆焊三层，此时焊补区已呈红热状态，再翻转过来迅速补焊，焊至两面焊缝均高出焊件表面 3~4 mm 为止。

(5) 最后在室温下冷却，冷却时应避免风吹。

### 例 2：电弧热焊对冲床床身的补焊

一台 80 t 冲床，床身右侧面出现裂纹，其长度为 150 mm、深 15 mm，裂纹的位置如图 1—9 所示。其补焊工艺要点如下：

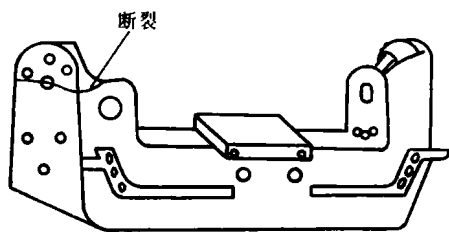


图 1—8 拖拉机前横梁断裂位置



(1) 焊前用放大镜观察裂纹情况,若裂纹不明显时,可用氧—乙炔火焰加热 200~300℃,待冷却后裂纹即明显表露出来,确定裂纹的走向及端头后,钻直径为 6 mm 的止裂孔,并沿裂纹开 U 形坡口。

(2) 将铸件预热至 600℃ (褐红色),预热炉可用砖垒,其三面砌砖壁,一面为活动石棉挡板,如图 1—10 所示。预热时将床身吊入预热炉后,加焦炭。床身要垫实,升温后不能再翻动,升温速度要慢,以免影响冲床的力学性能。

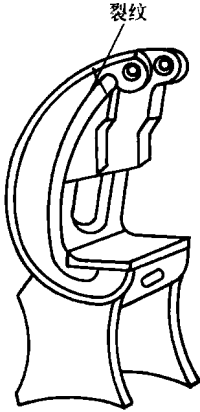


图 1—9 冲床床身裂纹位置

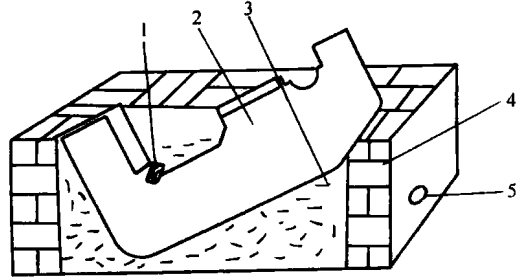


图 1—10 床身加热炉

1—焊道 2—床身 3—焦炭 4—砖墙 5—通气孔

(3) 选用铸 248 焊条,焊条直径为 6 mm,焊接电流 300~330 A,用长弧操作,连续焊补,一次成形。

(4) 焊补过程中,温度不能低于 400℃,采用直线运条法,焊条不作摆动,焊接速度要适当,防止液态金属流失。一层焊完后,连续焊补其余各层,待全部焊满后,再升温至 650℃停炉,将焊补处用石棉板盖好,随炉冷却。

## 课题二 铝及铝合金的焊接

铝是银白色的轻金属,熔点低 (658℃),密度小 (2.7 g/cm<sup>3</sup>),具有良好的导电性、导热性、抗氧化性和抗腐蚀性。特别是在纯铝中加入 Mg、Mn、Si、Cu 及 Zn 等元素而形成合金,强度会显著提高,目前在航空、化工,及机械制造业得到广泛的应用。

### 一、铝及铝合金的分类

#### 1. 纯铝

纯度达到 98.8~99.7% 的铝一般称为纯铝。纯铝按其所含杂质的多少可以分级。常用的牌号有 1070A (L1)、1060 (L2)、1050A (L3) 等工业纯铝,以及 1A85 (LG1)、1A90 (LG2)、1A99 (LG5) 等工业高纯铝。

#### 2. 铝合金

铝中加入少量的合金元素,可获得不同性能的铝合金。根据铝合金的化学成分和制造工艺特点,分为变形铝合金和铸造铝合金两大类。

图 1—11 所示系二元铝合金状态图,图中最大饱和溶解度  $n$  点是这两类合金的分界线,化学成分小于  $n$  点的合金成为变形铝合金,当合金加热至固溶线  $mn$  以上时,能形成均匀