

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

劳动和社会保障部教材办公室组织编写

中国劳动社会保障出版社

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

. 高 ...

. 邢 ...

. 焊接工艺 - 高等学校: 技术学校 - 教材

. 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

*

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: 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。

劳动和社会保障部办公室

2001 年 1 月

目 录

第一单元 特殊金属材料的焊接	(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)
第二单元 焊接设备	(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 ₂ 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)
第三单元 典型焊接结构的焊接	(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)
第四单元 焊接试验 检验及焊接接头强度计算	(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)
第五单元 特殊切割方法及气割机	(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)
第六单元	氧—乙炔焰喷涂和喷熔.....	(197)
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 特殊金属材料的应用

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 (Fe_3C) 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。

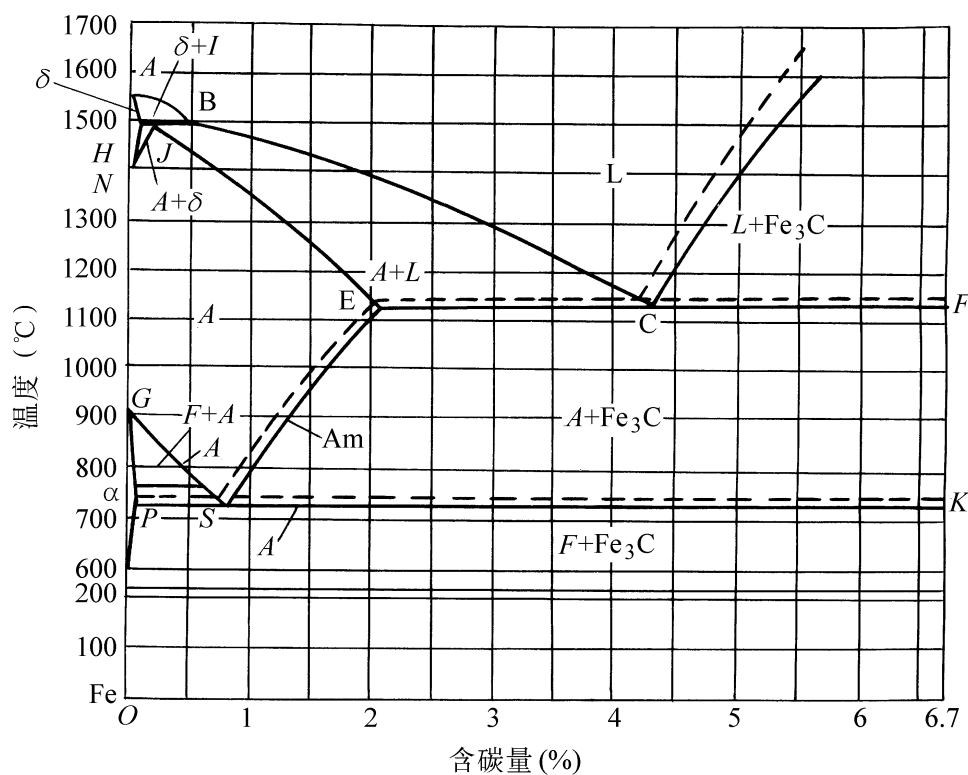
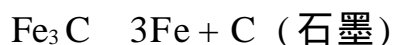


图 1—1 铁碳合金双重状态图

图中的虚线表示 Fe—C (石墨) 状态图，实线表示 Fe—Fe₃C 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—Fe₃C 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 Fe₃C 这一特性，可消除 Fe₃C 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 Fe₃C 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：

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 $< 0.8 J cm^2$ 。

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 Fe_3C 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 $1150 \sim 1250$,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 Fe_3C 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 $600 \sim 700$ 。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 $100 \sim 200$ 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。

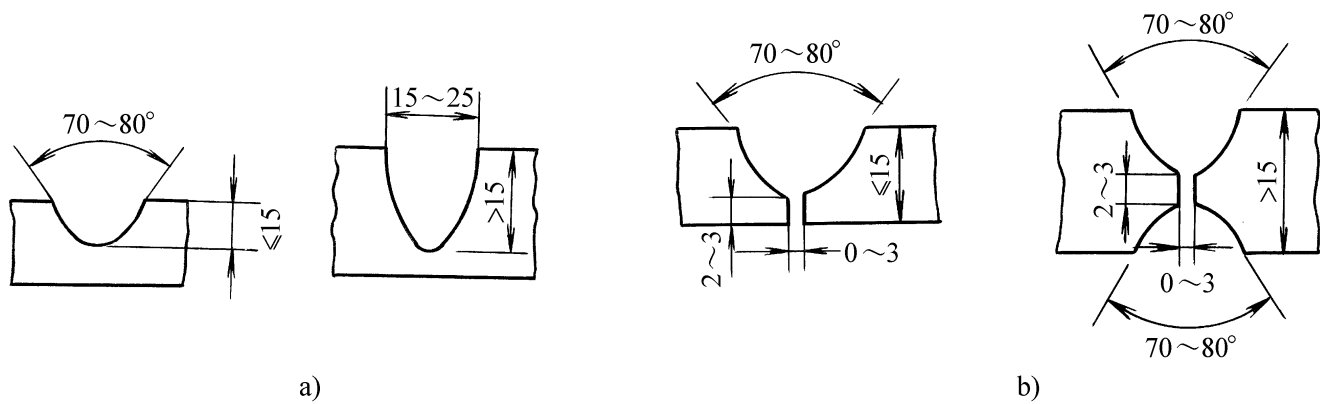


图 1—3 铸件缺陷的坡口
a) 未裂透缺陷的坡口 b) 裂透缺陷的坡口

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：

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。

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。

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。

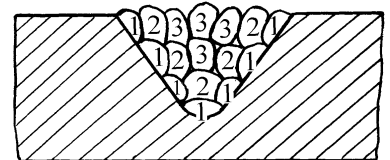


图 1—4 厚铸件多层焊焊接顺序

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。

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 EZC（铸 248）。焊补时的工艺要求如下：

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。

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。

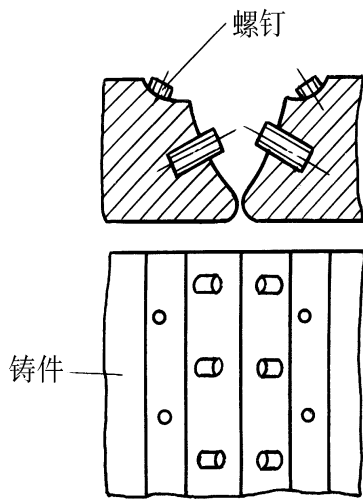


图 1—5 栽丝焊法

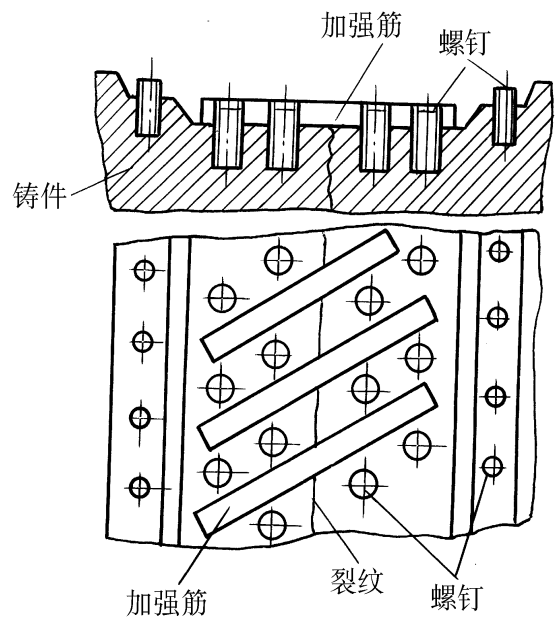


图 1—6 装加强筋焊法

当焊补缺陷面积小于 8 cm^2 、深度小于 7 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。

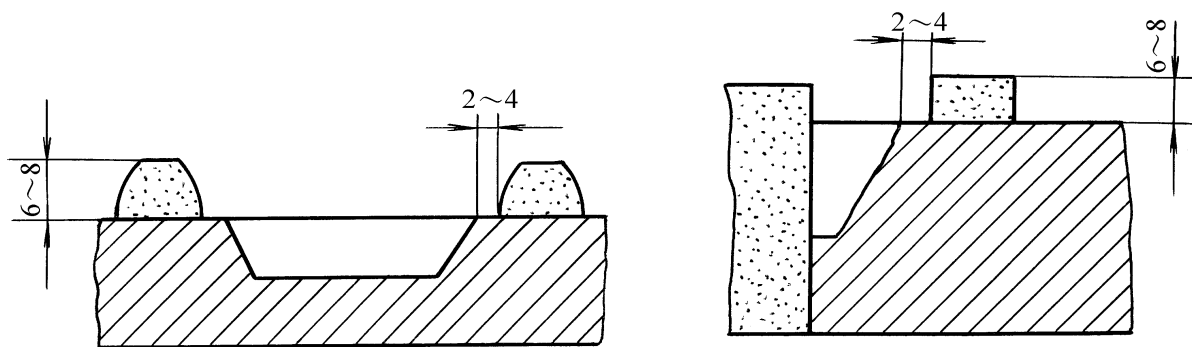


图 1—7 焊补处筑堤造型

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°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：

减应区选在阻碍焊缝热胀冷缩的部位。

减应区本身与其他部位连接要较少，比较坚固，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。

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：

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。

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 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。

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。

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：

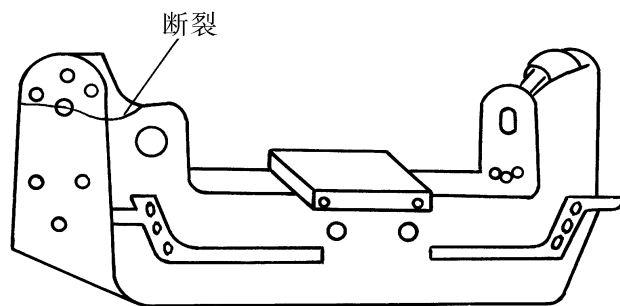


图 1—8 拖拉机前横梁断裂位置

(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 °C，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 °C（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。

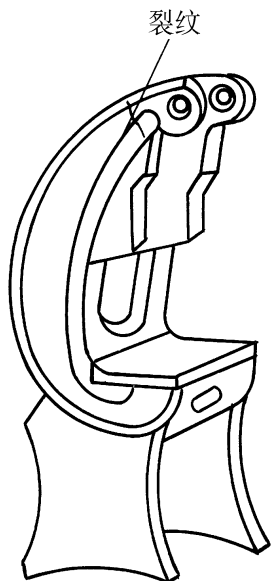


图 1—9 冲床床身裂纹位置

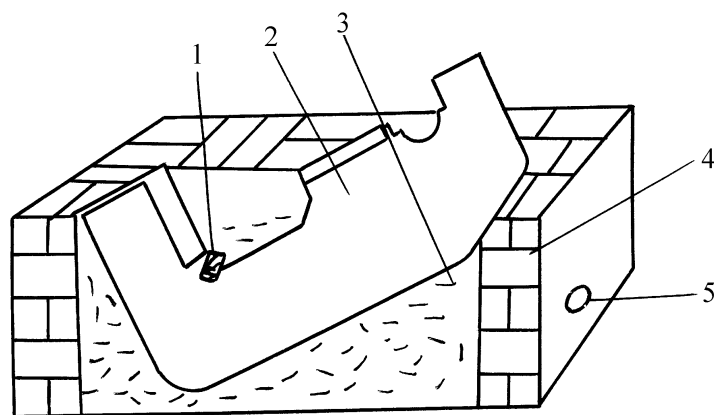


图 1—10 床身加热炉

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 °C，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 °C 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 °C），密度小（ 2.7 g cm^{-3} ），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 等元素而形成铝合金，强度会显著提高，目前在航空、化工，及机械制造工业得到广泛的应用。

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