

焊工

技能培训与鉴定考试用书

(高级)

主编 张安刚 李士凯 王希保



山东科学技术出版社
www.lkj.com.cn

TG4'
620



焊工

技能培训与鉴定考试用书

HANGONG JINENGPEIXUN
YU JIANDINGKAOSHI YONGSHU

(高级)

主 编 张安刚 李士凯 王希保

图书在版编目 (CIP) 数据

焊工技能培训与鉴定考试用书: 高级/张安刚, 李士凯, 王希保主编. — 济南: 山东科学技术出版社, 2007
ISBN 978 - 7 - 5331 - 4629 - 0

I. 焊... II. ①张... ②李... ③王... III. 焊接—职业技能鉴定—自学参考资料 IV. TG4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 010496 号

焊工技能培训与鉴定考试用书
(高级)

主编 张安刚 李士凯 王希保

出版者: 山东科学技术出版社

地址: 济南市玉函路 16 号
邮编: 250002 电话: (0531) 82098088
网址: www.lkj.com.cn
电子邮件: sdkj@sdpress.com.cn

发行者: 山东科学技术出版社

地址: 济南市玉函路 16 号
邮编: 250002 电话: (0531) 82098071

印刷者: 山东新华印刷厂潍坊厂

地址: 潍坊市潍州路 753 号
邮编: 261008 电话: (0536) 2116928

开本: 787mm × 1092mm 1/16

印张: 16

版次: 2007 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 5331 - 4629 - 0

定价: 24.00 元

编委主任 刘同森

编委副主任 温希忠 潘国平 赵中波

编委委员 王磊 张志远 刘峰善

郭增



焊工技能培训与鉴定考试用书(高级)编写人员

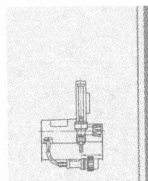
主 编 张安刚 李士凯 王希保

副 主 编 李 潜 崔利华 郭 泰

参编人员 陈 勇 许援朝 张惠成

赵宝平

主 审 樊建利



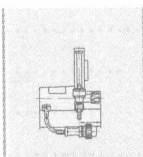
前 言

本书是根据原劳动部、机械工业部颁发的《焊工国家职业标准》高级焊工要求编写的。在编写过程中，内容紧扣《标准》中的理论知识和技能要求，并将两者融入一起，突出了理论与知识相结合的特点，使读者更容易接受，以提高培训质量。在附录中附有高级电焊工试题，包括理论和技能两部分，使读者既能学到知识，又可从容应对职业技能鉴定考试。

本书作为高级电焊工的职业技能培训教材，适用于参加技能鉴定的人员自学使用，也可供焊接专业技校师生、从事焊接工作的工程技术人员阅读。

由于时间仓促，编者水平有限，错误和疏漏在所难免，欢迎广大读者提出宝贵意见和建议。

编 者



目 录

第一章 铸铁的焊接	(1)
第一节 铸铁的种类和性能	(1)
第二节 灰口铸铁的焊接	(6)
第三节 球墨铸铁的焊接	(14)
第四节 白口铸铁的焊补	(15)
第五节 其他铸铁的焊接	(18)
第二章 常用有色金属的焊接	(23)
第一节 铝及铝合金的焊接	(23)
第二节 铜及铜合金的焊接	(29)
第三节 钛及钛合金的焊接	(33)
第三章 异种金属材料的焊接	(37)
第一节 异种金属材料焊接特点	(37)
第二节 异种钢的焊接	(39)
第三节 钢与有色金属的焊接	(50)
第四节 异种有色金属的焊接	(56)
第四章 典型焊接结构的制造	(63)
第一节 锅炉压力容器的焊接	(63)
第二节 梁与柱的焊接	(83)
第三节 大型机械加工件的工地类配与焊接	(85)
第五章 焊接接头试验方法	(87)
第一节 焊接性试验方法	(87)
第二节 焊接接头力学性能试验方法	(99)
第三节 焊接接头的理化试验方法	(105)
第四节 焊接接头的无损检验方法	(109)



第六章 焊接检验	(135)
第一节 特殊材料与结构的焊接缺陷分析	(135)
第二节 焊接检验方法	(144)
第七章 高级工操作技能	(147)
第八章 焊接设备的简介与修理	(180)
第一节 BX ₁ 系列交流弧焊机	(180)
第二节 ZX ₅ 系列晶闸管(可控硅)整流弧焊机使用和故障处理	(183)
第三节 KR 系列 CO ₂ % 半自动焊机使用和故障处理	(185)
第四节 MZ - 1 - 1000 型自动埋弧焊机原理、使用和故障处理	(192)
第九章 焊接安全生产和卫生	(196)
第一节 焊接安全生产和卫生的意义	(196)
第二节 焊接安全技术	(197)
附 录	(208)
高级焊工国家职业标准	(208)
电焊工高级理论知识模拟试题	(210)
高级电焊工理论模拟试题	(230)
高级电焊工技能模拟试卷	(242)
电焊工高级理论知识模拟试题(答案)	(247)
参考文献	(250)

第一章 铸铁的焊接

培训重点和要求

1. 了解铸铁的种类、性能、应用及其焊接性。
2. 熟练掌握灰口铸铁的焊补。
3. 掌握其他铸铁的焊补技术。

铸铁是机械制造业中用得最多的铸造金属材料,它具有成本低、耐磨性和切削加工性能好等优点,在机械制造业中获得了广泛的应用,按其重量比统计,在汽车、农机和机床中铸铁用量约占 50% ~ 90%。铸铁焊接主要应用于以下三个方面:①铸造缺陷的焊补;②已损坏的铸铁成品件的焊补;③零件的生产。

第一节 铸铁的种类和性能

铸铁的力学性能主要取决于显微组织的类型及其分布。在铸铁中,石墨质点的数量、大小和形状,影响着铸铁的强度和塑性;石墨质点周围基体的显微组织,可以是铁素体、珠光体、奥氏体或马氏体等。

铸铁的组织主要决定于化学成分与冷却速度。就化学元素对铸铁中碳的石墨化影响来分,可将其分为两大类。其中一类元素是促进石墨化的,例如 C、Si、Al、Ni、Cu 等;另一类元素是阻碍石墨化的,例如 S、V、Cr、Mo、Mn 等。铸铁的石墨化程度是指在各个结晶阶段中析出石墨碳的数量对于该阶段析出总碳量(包括石墨碳及碳化物中的碳)的相对值。铸铁的性能取决于化学成分和显微组织。工业中常用的铸铁含有大于 2% 碳、1% ~ 3% 硅和少量铝,还含有少量锰及硫、磷等杂质。为了获得某种特殊性能,可添加一定量的其他合金元素,如铬、钼、铜、镍等。这些元素的存在在很大程度上影响了铸铁的使用性能和



焊接性能。与钢相比,铸铁熔点较低,通常为 $1100 \sim 1250^{\circ}\text{C}$,密度为 $6.7 \sim 7.6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,线膨胀系数约为 $10.6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$,塑性低,焊接性能较差,使其在焊接结构中的应用受到一定的限制。

一、铸铁的分类

铸铁按碳的存在状态(化合物或游离石墨)及石墨的存在形式(片状、球状、团絮状等)分为灰口铸铁、球墨铸铁、可锻铸铁、白口铸铁和合金铸铁等五大类,其中以灰口铸铁和球墨铸铁应用最广。

1. 灰口铸铁

灰口铸铁(HT)中碳以片状石墨形态存在,分布于不同的基体上,断口呈灰色。由于基体中的石墨呈片层状分布,与基体结合力弱。因此,灰口铸铁的强度低、硬度低,塑性几乎为零。石墨片数量越多,越粗大,其力学性能越差。灰铸铁的抗拉强度、塑性和冲击韧度较低,但由于灰铸铁中石墨以片状存在,因而它具有良好的耐磨性、减震性和切削加工性,并具有较高的抗压强度,故在工业上应用极广。

灰铸铁件在机械工业和汽车工业中的很多领域中得到应用。典型的汽车部件有制动鼓、离合片及凸轮轴等。高温下工作的炉件、铸模、容罐以及用于压力和非压力两种用途的各种类型的管子、阀门、法兰及各种附件等都是用灰铸铁制作的。灰铸铁抗拉强度的变化是由于基体组织及石墨大小、数量不同而造成的。以纯铁素体为基体的灰铸铁,其强度最低,硬度也最低;以纯珠光体为基体的灰铸铁,其强度较高,硬度也较高。改变基体中铁素体及珠光的相对含量,可得到不同抗拉强度及硬度的灰铸铁。石墨呈粗片状的灰铸铁,其抗拉强度较低;石墨呈细片状的灰铸铁,其抗拉强度较高。

灰口铸铁的类型、牌号及性能见表 1-1;特点及用途见表 1-2。

表 1-1

灰口铸铁的类型、牌号及性能

类型	牌号	σ_b / MPa 不小于	硬度 HBS
铁素体灰铸铁	HT100	100	≤ 75
铁素体 + 珠光体灰铸铁	HT150	150	150 ~ 200
珠光体灰铸铁	HT200	200	170 ~ 220
珠光体灰铸铁	HT250	250	190 ~ 240
孕育铸铁	HT300	300	210 ~ 260
	HT350	350	230 ~ 280

表 1-2

灰口铸铁的牌号特点及用途

牌号	特点	用途举例
HT100	低强度铸铁,对强度及金相组织无特殊要求,用于不重要的铸件	制作油盘、盖、罩、镶装导轨的支柱等
HT150	中等强度铸铁,金相组织为铁素体加珠光体,用于承受中等负荷的铸件	制作机床底盘、工作台等

(续表)

牌号	特点	用途举例
HT200	较高强度铸铁, 金相组织为珠光体基体, 用于承受较高负荷的耐磨件	制作发动机气缸体、气缸盖、拖拉机后壳体, 机床床身, 中等压力的液压筒、液压泵等
HT250		
HT300	高强度铸铁, 金相组织为珠光体基体, 用于承受高负荷的耐磨件	制造剪床、压力机机身, 车床卡盘、齿轮、凸轮导板, 机床床身, 较高压力的液压泵、液压筒等
HT350		
HT400		

2. 球墨铸铁

球墨铸铁(QT)是在浇铸前向铁液中加入一定量的球化剂(如镁),从而使碳全部或大部分呈球状石墨分布在基体上而制成的,因石墨呈球状,大大降低了石墨割裂基体的作用。所以球墨铸铁具有较高的强度和韧性,并能通过热处理显著地改善力学性能。球墨铸铁的强度接近于碳钢,具有良好的耐磨性和一定的塑性,并能通过热处理提高性能,因此,较广泛用于机械制造业中。球墨铸铁可用于电缆管道、下水管道、压力管以及各种附件、阀门和泵。这些产品的优点是:当与灰铸铁的类似部件相比较时,其具有较好的韧性和焊接性。还可以在一定范围内代替铸钢件。球墨铸铁的主要类型、牌号与及力学性能见表1-3。

表 1-3 球墨铸铁的主要类型、牌号与及力学性能

基体类型	牌号	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ / MPa	δ (%)	硬度 HBS
		不小于			
铁素体	QT400－18	400	250	18	130～180
	QT400－15	400	250	15	130～180
	QT450－10	450	310	10	160～210
铁素体＋珠光体	QT500－7	500	320	7	170～230
珠光体＋铁素体	QT600－3	600	370	3	190～270
珠光体	QT700－2	700	420	2	225～305
珠光体或回火组织	QT800－2	800	480	2	245～335
贝氏体或回火组织	QT900－2	900	600	2	280～360

3. 可锻铸铁

可锻铸铁(KT)又称展性铸铁或韧铁,因其有较高韧性而得名,实际上并不可锻。是白口铸铁毛坯经900~1000℃长时间(几十小时)退火后,使渗碳体在固态下分解,形成团絮状石墨,得到强度和塑性都比一般灰口铸铁高的可锻铸铁。可锻铸铁适宜制造薄壁和形状复杂以及受冲击载荷的零件,如各种管接头以及拖拉机、汽车、纺织机零件等。还可用于制作法兰、管子附件及阀门部件。可锻铸铁的一些汽车部件有:转向部件、压缩机曲轴和旋翼、传动部件和差动部件、连接杆及方向接头等。可锻铸铁根据化学成分、热处理工艺、性能及组织不同,可分为黑心可锻铸铁、珠光体可锻铸铁及白心可锻铸铁三类。我国生产的可锻铸铁多数为前两类,白心可锻铸铁生产工艺较复杂,性能与黑心可锻铸铁差



不多,有效应用较少。

黑心可锻铸铁和珠光体可锻铸铁的牌号和力学性能见表 1-4。

表 1-4 黑心可锻铸铁和珠光体可锻铸铁的牌号和力学性能

牌号		试样直径 /mm	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	$\delta(\%) (L_0 = 3d)$	硬度 HBS
A	B		不小于			
KTH300 - 06 — KTH350 - 10 —	KTH330 - 08 KTH370 - 12	12 或 15	300 330 350 370	— — 200 —	6 8 10 12	≤150
KTZ450 - 06 KTZ550 - 04 KTZ650 - 02 KTZ700 - 02	— — — —	12 或 15	450 550 650 700	270 340 430 530	6 4 2 2	150 ~ 200 180 ~ 230 210 ~ 260 240 ~ 290

注:①试样直径 12mm 只适用于铸件主要壁厚小于 10 mm 的铸件。

②牌号 KTH300-06 适用于气密性零件。

③牌号 B 系列为过渡牌号。

4. 蠕墨铸铁

蠕墨铸铁(RT)中石墨形似蠕虫,其力学性能介于基体组织相同的灰口铸铁与球墨铸铁之间。常用蠕铁的抗拉强度为 300~500MPa,延伸率为 1%~6%。蠕墨铸铁的显微组织由蠕虫状石墨和基体组成。蠕墨铸铁有三种类型:铁素体蠕墨铸铁、铁素体+珠光体蠕墨铸铁、珠光体蠕墨铸铁。由于蠕化剂中含有球化元素 Mg、稀土等,蠕虫状石墨总是与球墨共存。与片状石墨相比,蠕虫状石墨较短而厚,头部较圆,对基体的切割作用减小,应力集中减小,故蠕墨铸铁的抗拉强度、塑性、疲劳强度等均优于灰口铸铁,而接近铁素体基体的球墨铸铁。此外,蠕墨铸铁的导热性、铸造性、可切削加工性均优于球墨铸铁,而与灰口铸铁相近。由此可见,蠕墨铸铁是一种具有良好综合性能的铸铁。

5. 白口铸铁

白口铸铁(BT)中的碳几乎全部以渗碳体(Fe_3C)状态存在,断口呈白色,硬而脆,不易机加工,在冶金、矿山、橡胶塑料等轧制机械中获得越来越广泛的应用。由于白口铸铁性质硬而脆,因此主要用来制造各种耐磨件,其在冷加工、热加工和切削加工中都很困难。通常认为白口铸铁是不可焊的,因为其缺乏足以承受母材中热应变的塑性。白口铸铁的主要化学成分为 C 2.1%~3.8%, $Si \leq 1.2\%$ 。有时添加 Mo、Cr、W 等合金元素以提高其力学性能。

二、影响铸铁性能的主要因素

铸铁的性能主要取决于铸铁的组织。其化学成分和冷却速度对铸铁组织的影响最为显著。

1. 化学成分的影响

合金元素会影响铸铁结晶时的石墨化程度、石墨的形态及基体的组织。根据化学元素对铸铁结晶时石墨化程度的影响,把合金元素分为促进石墨化元素,如 C、Si、Al、Ni、Cu



等;另一类是阻止石墨化(促进白口化)元素,如 S、V、Cr、Mo、Mn 等。合金元素对铸铁性能的影响结果如表 1-5。

表 1-5

合金元素对铸铁性能的影响

合金元素	影响结果
C、Si	强烈的石墨化元素,能改变石墨析出的数量、形态和大小,随着碳、硅含量的增加,促使石墨的聚集和粗大
S	强烈阻碍石墨化的元素,是铸铁中的有害元素,易形成 FeS,FeS 熔点很低,与 Fe ₃ S 形成共晶时,易造成偏析,降低晶界强度,使高温铸件开裂
Mn	阻碍石墨化的元素,促进形成 Fe ₃ S;与硫形成 MnS,其熔点高,从而减弱了硫的有害作用;锰同时可以促进珠光体基体形成,从而提高铸铁的强度,但锰量过高,会阻碍第二阶段石墨化,有二次渗碳体沿晶界析出,使铸铁强度降低,脆性增加
P	磷在固溶体中的溶解度很低,随含碳量的增加而降低,当磷含量超过溶解度极限时,会生成 Fe ₃ P 以磷共晶形式存在,磷共晶硬而脆,沿晶界分布,增加铸铁的脆性,易在铸铁冷却过程中产生裂纹,故磷是铸铁中的有害元素,一般控制在 0.3% 以下
Ni、Cu	促进石墨化,同时促进生成和细化珠光体,对壁厚悬殊的铸件有良好的作用,促进壁薄处石墨化,防止产生白口,对壁厚处,可使奥氏体稳定而获得细密的珠光体,使铸件组织均匀化
Cr、Mo W、V	与碳生成合金碳化物,强烈阻碍石墨化,同时可强化铸铁基体,从而提高了铸铁的强度和耐磨性

2. 冷却速度的影响

冷却速度的变化既影响铸铁的石墨化程度,又影响了铸铁基体组织。铸铁的金属基体有三类:铁素体、珠光体、珠光体+铁素体。在(C+Si)量一定时,不同的冷却速度可产生不同的铸铁组织。当液态铸铁冷却速度很快时,形成由珠光体和渗碳体构成的白口铸铁;当冷却速度足够慢时,形成由铁素体和石墨构成的灰口铸铁;当冷却速度介于上述两者之间时,形成珠光体灰口铸铁或珠光体+铁素体灰口铸铁。

3. 基体组织对铸铁性能的影响

铸铁基体中铁素体相越多,铸铁塑性越好,基体中珠光体数量越多,铸铁的抗拉强度和硬度越高。但普通灰铸铁由于粗片状石墨对基体的强烈割裂作用,即使得到全部铁素体基体组织,塑性和韧性仍然很低,因此,只有当石墨为团絮状、蠕虫状和球状时,改变金属组织才能显示出对性能的影响。

4. 石墨对铸铁性能的影响

石墨抗拉强度小于 20MPa,伸长率趋近于零。石墨的数量、大小和分布对铸铁的性能有显著影响。片状石墨数量越多,对基体的削弱作用和应力集中程度越大,灰口铸铁的抗拉强度和塑性越低。石墨数量一定时,石墨片越粗,虽然应力集中程度减弱,但在局部区域使承载面积急剧减少,性能也显著下降;石墨片增多,应力集中程度增大。当石墨片相互连接时,承载面积也显著下降。当石墨的数量和尺寸一定时,石墨分布不均匀,产生方向性排列,则灰口铸铁的强度和塑性也显著下降。当石墨形成封闭的网络时,铸铁的力学



性能最低。石墨形状也影响铸铁的性能。基体为珠光体的铸铁,石墨由灰铁的粗片状分别变成细片状(孕育铸铁)、团絮状(可锻铸铁)和球状(球墨铸铁)时,抗拉强度、伸长率及冲击韧性依次提高。

铸铁的力学性能主要受基体和石墨控制。因此,强化铸铁时,一方面要改变石墨的数量大小、形状和分布,尽量减少石墨的有害作用;另一方面,又可通过合金化、热处理和表面处理方法调整基体组织,提高基体性能,改善铸铁的强韧性。

第二节 灰口铸铁的焊接

一、灰口铸铁的焊接性

灰口铸铁碳成片状石墨形态分布,硫、磷杂质高,增大了焊缝对冷却速度的敏感性。在快速冷却条件下,焊缝结晶时间短,石墨化过程不充分,致使熔合区和焊缝中碳以 Fe_3C 状态存在,形成白口及淬硬组织。此外,灰口铸铁强度低,塑性极低,焊接过程冷却速度快、焊件受热不均而形成较大的焊接应力,使灰口铸铁焊接时对冷裂纹和热裂纹的敏感性很大。灰口铸铁焊接时的主要问题:一是焊接接头易出现白口及淬硬组织,二是焊接接头易出现裂纹。

1. 白口及淬硬组织

灰口铸铁电弧焊时接头的冷却速度远远大于铸件在砂型中的冷却速度。在快速冷却下,石墨化难以进行,会产生大量的渗碳体,形成白口组织。在焊接接头不同部位,产生白口组织的几率不同。铸铁焊接接头的区域划分及组织特征见表 1-6 所示。

表 1-6 铸铁焊接接头的区域划分及组织特征

区域	温度范围	显微组织
焊缝区	$> 1250^\circ\text{C}$	同质材料焊接:焊缝主要由共晶生碳体、二次渗碳体和珠光体组成,即焊缝基本上为白口组织 异质材料焊接:快冷条件下,焊缝易形成脆硬的高碳马氏体组织
半熔化区	$1150 \sim 1250^\circ\text{C}$	白口组织和淬硬组织
奥氏体区	$820 \sim 1150^\circ\text{C}$	冷却速度较快,从奥氏体中析出一些二次渗碳体;共析转变稍快时,奥氏体转变为屈氏体或珠光体;冷却更快时,产生一些马氏体或贝氏体组织
重结晶区	$780 \sim 820^\circ\text{C}$	珠光体或马氏体

采用熔化焊时,焊缝区的化学成分对半熔化区的组织及宽度有重要影响。二区紧密相连,能进行一定的扩散。提高熔池金属中石墨化元素(C、Si、Ni 等)的含量,对消除或减弱半熔化区白口的形成是有利的。用低碳钢焊条焊接铸铁时,半熔化区的白口带较宽,这是由于熔池中含碳、硅量低,而半熔化区含碳、硅量高于熔池,半熔化区的碳、硅向熔池扩散,使半熔化区碳、硅有所下降,增大了该区形成较宽白口的倾向。镍是促进石墨化元素,



其扩散能力在液态时很强,故采用镍基焊条对于减弱半熔化区白口倾向是有利的。

2. 灰口铸铁焊接出现的裂纹

(1) 冷裂纹 当焊缝金属为铸铁型(同质)时,焊接灰口铸铁容易出现冷裂纹。冷裂纹可发生在焊缝上或热影响区上,多在 400°C 以下温度产生,多以横向分布。冷裂纹的产生与铸铁的性能和组织有关。灰口铸铁存在片状石墨,削弱了基体组织的连续性,而片状石墨的尖端极易成为裂纹。焊接时,因接头局部不均匀的加热和冷却,焊缝在冷却过程中产生很大的拉应力,温度越低,产生的拉应力越大,在拉应力的作用下,石墨片的尖端产生的应力集中,当应力超过焊缝金属的强度时,使微裂纹发展成宏观裂纹,并可能扩展到整个焊缝横截面。焊缝石墨化程度也影响冷裂纹的产生。石墨化不充分,存在白口层时,由于白口铸铁的收缩率比灰口铸铁大,也易产生裂纹。

焊补处的刚度、焊缝体积和焊缝长度,对焊缝裂纹的敏感性有明显的影响。刚度大、焊缝体积大、焊缝越长都将使焊接应力增大,促使裂纹的产生。当采用异质焊缝金属(如采用低碳钢或某些合金钢焊条)时,容易在焊缝区产生冷裂,这主要是由于母材与焊缝金属性能的差别较大以及焊接工艺的影响,熔合区和热影响区产生较多的渗碳体和马氏体造成的。裂纹主要出现在熔合区和热影响区交界处,沿熔合区开裂,多纵向分布,也有横向或斜向分布。

(2) 热裂纹 采用低碳钢焊条或镍基铸铁焊条时,焊缝易出现结晶裂纹,常见的热裂纹有火口裂纹、焊缝横向裂纹及沿熔合线焊缝内侧的纵向裂纹。采用镍基焊条焊接含硫、磷杂质较高的铸铁时,硫、磷易与镍形成低熔点共晶体,会增加焊缝对热裂纹的敏感性。若采用氧化铁型焊条焊接灰铸铁,由于熔合比增大,母材中的碳、硫和磷大量溶入焊缝金属,形成大量铁的低熔点共晶体,同样易产生热裂纹。

防止焊缝产生热裂纹的措施有:调整焊缝金属的化学成分,使其脆性温度区间缩小;加入稀土元素,增强焊缝的脱硫、脱磷冶金反应;加入适量的细化晶粒元素,使焊缝晶粒细化。采用正确的冷焊工艺,降低焊接应力,使母材的有害杂质较少熔入焊缝中等方法,都能提高焊缝的抗热裂性能。

二、灰口铸铁的焊接工艺

灰口铸铁的主要焊接方法及特点见表1-7。选择焊接方法的主要依据为:

(1) 铸铁件的状况 (化学成分、组织和力学性能,铸件的大小、厚薄和结构的复杂程度等)。

(2) 焊接部位的缺陷情况 (缺陷的类型、缺陷的大小、缺陷部位的刚度大小和缺陷产生的原因等)。

(3) 焊后质量的要求 (焊后接头的力学性能、焊缝颜色、密封性以及加工性等)。

(4) 现场设备和经济性等要求来选择。



表 1-7

灰口铸铁焊接方法的特点

焊接方法		焊接材料	接头加工性	致密性	热裂纹倾向	冷裂纹倾向	主要用途
手工电弧焊	热焊	铸 408 铸 208	很好	好	很小	几乎不产生	
	半热焊	铸 208 铸 408	较好	好	很小	几乎不产生	
	不与热焊	铸 408	较好	好	很小	刚度大的部位易裂	
	冷焊	铸 308	较好	较好	小	小	加工面、导轨面铸造缺陷及划伤、大型设备修复等。预热 200℃ 左右可以进一步改善机械加工性能
		铸 408	较好	较好	小	较小	
		铸 508	较好	稍差	较小	小	
		铸 100 结 507	很差	较差	大	大	一般用于非加工面,劳动条件较好,成本较低,效率较低
		铸 117 铸 116	稍差	好	极小	较小	
		铸 607 铸 612	较差	稍差	较小	小	
气焊	热焊	灰口铸铁焊丝	很好	好	很小	极小	劳动条件差
	不与热焊		很好	好	很小	较小	机床及类似缺陷(加工面积一般导轨面)
	加热减应法		很好	好	很小	加热不当 时易裂	汽车、拖拉机缸体、缸盖的修复
钎焊		黄铜、白铜钎料	很好	较差	小	小	导轨面研伤修复,也可用于熔焊时不宜熔合的铸铁
CO ₂ 气体保护焊		H08Mn2SiA	较差	较好	较小	较小	缸体、排气管等
电渣焊		灰口铸铁削	很好	好	很小	较小	用于厚大件,劳动条件差
氧-乙炔火焰粉末喷焊		F103 F302	很好	较好	较小	较小	修复铸件在加工过程中出现的小缺陷

1. 手工电弧焊

手工电弧焊主要特点是加热集中,焊件受热面积小,焊接变形小。根据铸件的复杂程度、缺陷的位置和不同铸铁焊条对工艺的不同要求,手工电弧焊焊接灰口铸铁分为:热焊、半热焊和电弧冷焊等几种工艺方法。

(1) 电弧冷焊 电弧冷焊法是采用非铸铁型焊接材料,焊前铸件不进行预热的一种焊接方法。在焊接过程中尽量防止焊接区局部过热,缩小受热面积,焊接区温度应尽量控制的低些,以减少热应力和由此产生的冷裂纹。该方法具有不预热、劳动条件良好、工件变形小、操作简单等优点。其缺点是焊接接头冷却速度较快,极易形成白口和淬硬组织,工件受热不均,形成较大热应力,易产生冷裂纹。

① 焊前准备:对缺陷所在的部位进行清理,将油、锈、杂质等清除干净;检查裂纹的长度,查清走向、分枝和端点所在的位置;为防止裂纹的扩展,应在裂纹端部处钻止裂孔($\phi 5 \sim 8\text{mm}$),深度应比裂纹所在的平面深 $2 \sim 4\text{mm}$,穿透性裂纹则应钻透。为了保证接头焊

透和良好成形,焊前应开坡口或造型。开坡口的原则是在保证顺利施焊及焊接质量的前提下,尽量减小坡口角度及母材的熔化量,以降低焊接应力及焊缝中碳、硫、磷的含量,防止裂纹发生。工件壁厚 $h \leq 5\text{mm}$ 时,可不开坡口; $5\text{mm} \leq h \leq 15\text{mm}$ 时,可开 V 形坡口; $h \geq 15\text{mm}$ 时,可开 X 形或 U 形坡口。对未穿透缺陷坡口底部应圆滑,上口稍大,以预防应力集中,同时便于操作。对于边角部位缺陷,为防止焊接时金属流淌,保持一定焊缝形状,可在待焊部位造型。

②焊补工艺:采用细焊丝、小电流、快速焊,交流或直流反接法焊接,以减小熔深,降低熔合比,保证熔池中碳浓度的稀释及减少硫、磷等杂质进入熔池的数量,以利于防止热裂纹、降低淬硬倾向,也利于降低焊接应力,防止冷裂纹;焊接电流的选择应根据焊条的类型和焊条的直径来确定,可参照表 1-8。采用短段焊、断续焊、分散焊、分段倒退焊等,并在每焊 10~15mm 左右长度后,立即用小锤迅速锤击焊缝,待焊缝冷却到约 60°C 时,再焊下一道,以降低焊接应力,防止裂纹的产生。采用合理的焊接顺序,当坡口较大时,应采用多层焊。多层焊的后层焊缝对前层焊缝和热影响区有热处理的作用,可以降低硬度,但多层焊焊缝收缩应力较大,易产生剥离性裂纹,因此应合理安排焊接顺序。

表 1-8 常用灰口铸铁电弧冷焊焊条的类型、直径及焊接电流

焊条类型	焊条直径(mm)			
	2.0	2.5	3.2	4.0
氧化铁型焊条	—	—	80~100	100~120
高钒铸铁焊条	40~60	60~80	80~120	120~160
镍基铸铁焊条	—	60~80	90~100	120~150
低碳钢焊条	—	—	120~130	—
铜铁焊条	—	90	90~110	—
	—	100	100~120	—

③焊接方向:焊接方向应视焊件上裂纹产生的部位来确定,一般应先从刚度大的部位起焊,刚度小的部位后焊。

④大型厚壁受力铸铁补焊工艺

a. 栽丝法:工件受力大,焊缝强度要求较高时,为防止焊缝剥离,可采用栽丝法进行补焊。栽丝焊就是通过碳钢螺丝将焊缝与未受焊接热影响区的铸件母材固定在一起,使该区应力的大部分由螺丝来承担,从而防止剥离性裂纹的发生,提高了焊接接头强度。栽丝法主要用于承受冲击载荷,厚大铸件(如大型机器机座等)裂纹的焊补。

栽丝法补焊的工艺要点:在坡口处钻孔攻丝,孔一般分两排,使之均匀分布。拧入钢质螺丝,直径应根据铸件厚度确定,一般为 8~16mm,拧入深度应等于或大于螺丝直径,螺丝凸出待焊表面 4~6mm。拧入螺丝的总面积为坡口表面积的 25%~35%。先绕螺丝焊接,再焊螺丝之间,以提高强度。

b. 加垫板焊补法:按坡口形状将低碳钢板预制成多块垫板,再将垫板先后放入坡口内,用抗裂性能高且强度较高的铸铁焊条(如 Z408, Z116 焊条等),将母材与低碳钢垫板逐层焊接,并使垫板与铸件焊牢。该法的优点是:减少焊缝金属量,降低焊接接头应力,防



止焊缝剥离;提高焊补接头的强度和刚性;缩短焊补时间,节省焊条。垫板一般采用厚度为4mm的低碳钢板,垫板与坡口侧面的间隙以 $\phi 3.2$ mm焊条能够一次将其焊透、填平为宜。加垫板焊补法也可用于有一定深度的大面积铸造缺陷的焊补上。必要时垫板可用灰口铸铁。

c. 镶块焊补法:如果焊补处有多道交叉裂纹,若采用逐个裂纹焊补工艺,则会由于焊补应力集中而发生裂纹。可将该处挖除,再镶一块比工件薄的低碳钢板,为减少应力,低碳钢板预制成凹形,若镶块采用平板,则宜在平板中部预割一条缝,以降低局部刚度,减少应力。

(2) 电弧热焊及半热焊 热焊是焊前将铸铁件整体或局部预热到 $600 \sim 700^{\circ}\text{C}$ 进行焊接,焊接过程中焊件的温度不能低于 450°C 。其优点是焊件受热均匀,冷却速度缓慢,有利于焊缝金属石墨化,减少和避免出现白口组织,有利于减低焊接热应力,防止产生裂纹。缺点是劳动条件恶劣,加热费用大,工件变形大,表面易氧化等。

电弧半预热焊是焊前将铸件整体或局部预热到 400°C 左右。与热焊法相比能改善焊工的劳动条件,也能获得较好的焊接质量。但由于预热温度低,冷却速度较快,在石墨化能力更强的焊接材料配合下,才有可能获得灰口组织,但接头温差大,且由于 400°C 以下铸铁的塑性几乎为零,故热应力大,接头易形成裂纹。

电弧热焊及半热焊焊接时,焊前准备与电弧冷焊相同。预热温度的选择主要根据铸件的体积、壁厚、结构的复杂程度、缺陷位置、焊补处的刚度及现场条件来确定。预热方法可采用加热炉、砖砌的明炉加热,也可以采用火焰加热。根据缺陷的部位处刚度大小,采用整体或局部预热;采用大直径焊条、大电流、长弧、连续焊接,以保持预热温度,促进石墨化,降低焊接应力。焊接时注意母材熔化不能过多。当熔池高出坡口表面以后,电弧应沿熔池边缘靠近造型材料移动,使熔合区得到充分热量,保持较长时间的红热状态,可以防止白口。焊至高出母材表面 $5 \sim 8\text{mm}$ 时,焊后撒上一薄层煤粉,如立即燃烧,再撒一些;焊后保温缓冷,对于重要铸件,进行 $600 \sim 900^{\circ}\text{C}$ 消除应力处理。

(3) 铸铁芯焊条不预热焊 工件不预热或预热温度低于 200°C 而进行的焊接方法,主要是针对电弧热焊的恶劣劳动条件而采取的。通常可以连续焊接直至焊完。选择合适的焊条,配合适当的工艺,可以避免产生裂纹,且接头具有良好的机械加工性能。不预热焊开坡口时,通常坡口面积应大于 8cm^2 ,深度大于 7mm ,角度为 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 。坡口周围用石墨或耐火泥围筑。焊补过程中采用大电流、连续焊接,使焊缝高出母材 $5 \sim 8\text{mm}$,以防止半熔化区的白口。

2. 气焊

灰口铸铁气焊工艺的优点是设备简单,操作工艺不复杂,火焰温度($< 3400^{\circ}\text{C}$)比电弧温度低,而且热量不集中,加热速度缓慢,加热区面积较大,加热到焊接温度的时间较长,起先行局部预热作用,焊后还可以利用气体火焰对焊缝进行整形,或对焊补区继续加热,促进石墨化过程,有利于防止白口和减小焊接应力。气焊前对清理污物要求不高,可以用火焰直接进行清理,简化了准备工作。其缺点有:加热时间较长,工件受热面积大,收缩应力增大,在焊补刚度大的缺陷处易形成裂纹等。

气焊也分热焊和冷焊两种,生产中均有应用。热焊能有效地防止白口、淬硬组织及裂