

# 浅析铸钢件焊补过程质量控制

贾旭, 吕昌略, 戴如勇, 周峰

(中车戚墅堰机车车辆工艺研究所有限公司, 江苏常州 213025)

**摘要:**介绍了铸钢件焊补过程中出现的典型缺陷,重点分析了焊接气孔、焊接未熔合的金相组织特征。通过对焊接方式的选择、焊接工艺评定、焊接过程质量控制等方面进行分析,重点阐述了焊接过程中的关键控制节点及要求,以得到稳定的焊接质量。

**关键词:**铸钢件;焊接缺陷;质量控制

**中图分类号:**TG457.11 **文献标识码:**A

**DOI:**10.3969/j.issn.1006-9658.2024.06.013 **文章编号:**1006-9658(2024)06-0059-05

## 0 引言

铸造工艺不受零件大小、产品厚薄和形状复杂程度的限制,可满足各种复杂结构的设计要求,而且成本相对低廉。铸钢件由于具有较高的强度和韧性,能够满足一些对强度要求较高的工程应用场景,在工程机械、轨道交通等领域有较为广泛的应用。由于铸钢的熔点高、流动性差、体积收缩率较大、钢液易氧化和吸气等特点,其铸造性能较差,铸钢件生产过程中容易产生裂纹、浇不足、气孔、缩孔、夹砂、粘砂、变形等铸造缺陷。一般情况下,对于铸钢件缺陷的处置方式采用焊补方式进行修复,因此铸钢件的焊补是铸钢制造厂商生产过程中的必要工序。焊接质量不好,不仅影响产品的后续加工过程,而且会影响铸件的使用性能,甚至造成零部件失效导致质量安全事故的发生,因此控制焊补过程的质量具有非常重要的意义。

## 1 焊补典型缺陷分析

### 1.1 焊接气孔

焊接时,熔池中的气体在凝固过程中未能逸

出而残留下来形成的空穴成为焊接气孔。气孔的存在,使焊接部位的有效承载面积减小,降低了焊接部位的力学性能,特别是金属的塑性、韧性和弯曲性能。气孔的形状有球形、椭圆形等,可以在焊缝内部,也可以在焊缝表面,气孔的分布可以是单个的,也可以是密集的或连续的。

动车组转向架上关键铸钢件在列车运行过程中受到较大的疲劳载荷,在某列车检修过程中发现一件产品表面出现裂纹,经过分析,裂纹源处存在焊接气孔缺陷,造成局部应力集中,在交变载荷作用下发生低应力高周疲劳断裂。对气孔部位进行金相组织分析,可准确地对缺陷的类型进行确定。图 1 为裂纹面宏观形貌,气孔缺陷集中于筋板边缘,沿虚线切取截面进行金相检测,截面低倍腐蚀形貌见图 2,表现为典型的焊修特征。图 3~5 为焊修区不同部位的金相组织,Ⅰ区为表面柱状晶区,金相组织为贝氏体+珠光体+铁素体,Ⅱ区为热影响粗晶区,金相组织以马氏体为主,Ⅲ

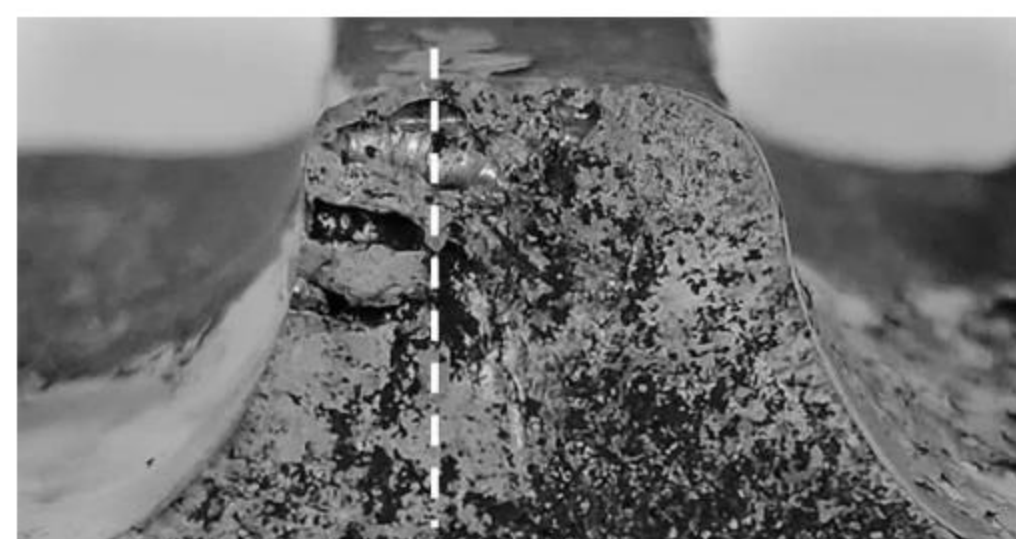


图 1 断口宏观形貌

收稿日期:2024-03-05;修订日期:2023-04-04

作者简介:贾旭(1983—),男,高级工程师,主要从事铸造技术与质量管理。E-mail:jx1022@126.com

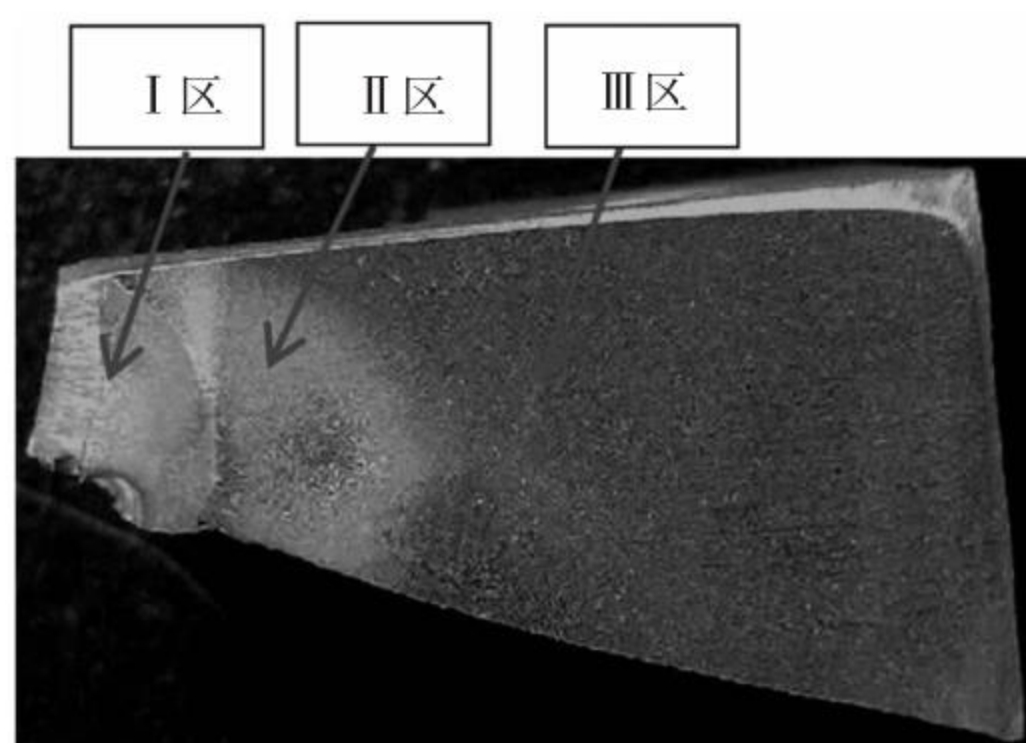


图 2 截面低倍腐蚀形貌

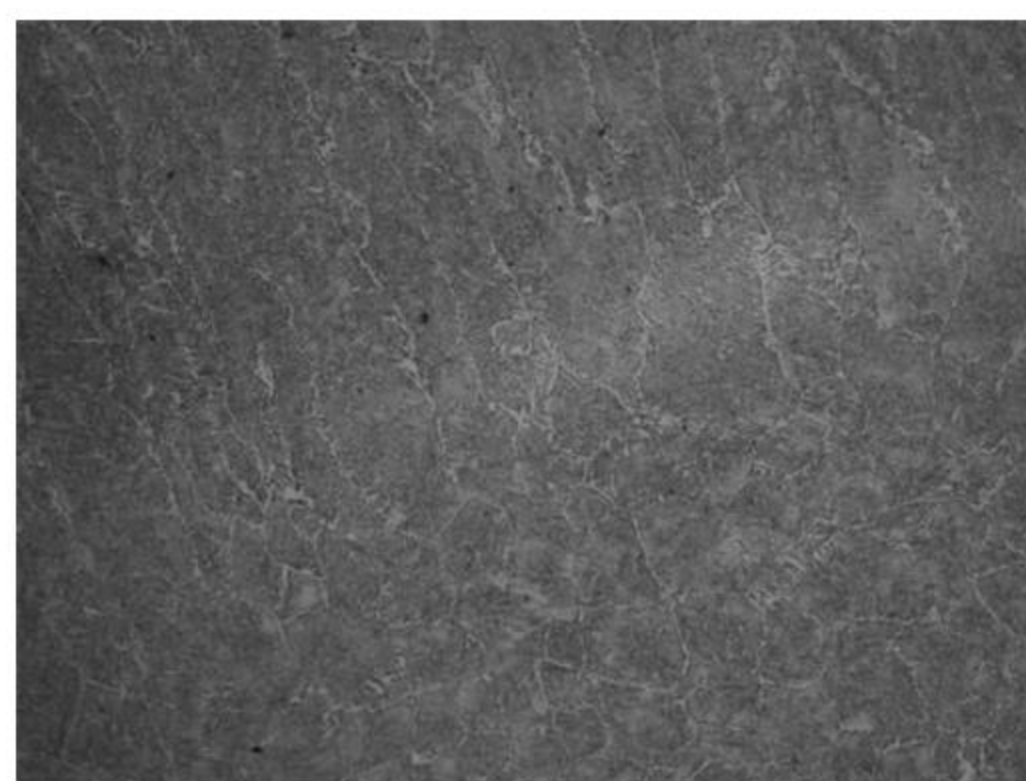


图 3 I 区显微组织 200 ×

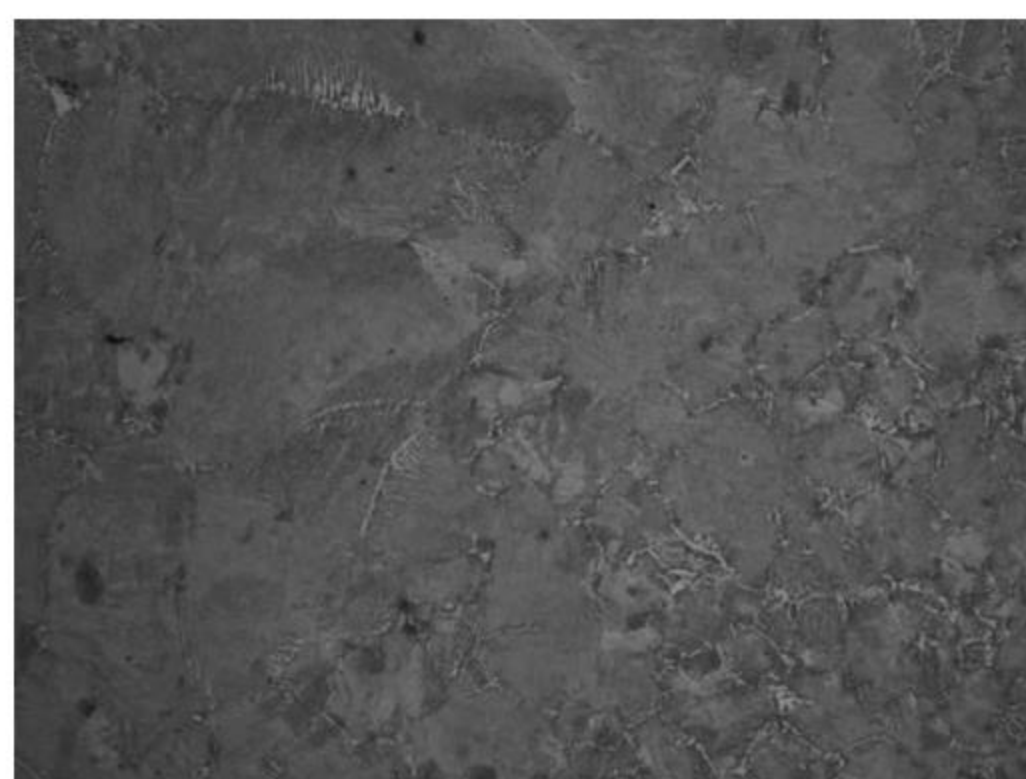


图 4 II 区显微组织 200 ×

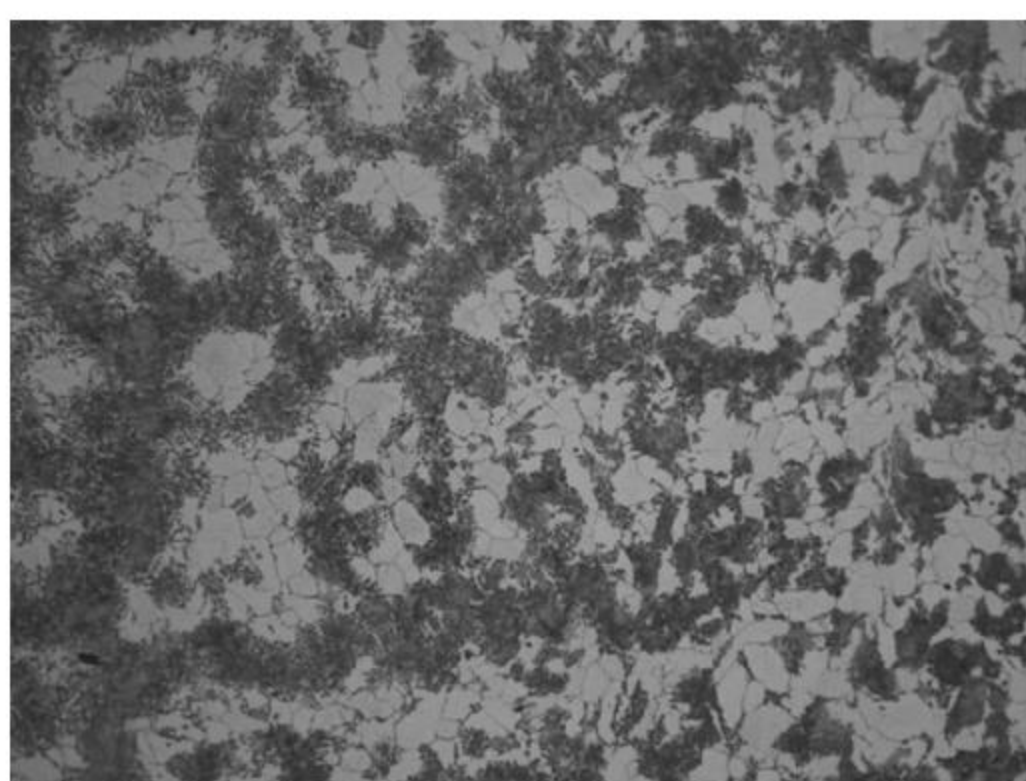


图 5 III 区显微组织 200 ×

区为热影响细晶区，金相组织为马氏体 + 铁素体 + 珠光体，图 6 为铸钢件正常部位的基体组织，主要为铁素体 + 珠光体。

### 1.2 焊接未熔合

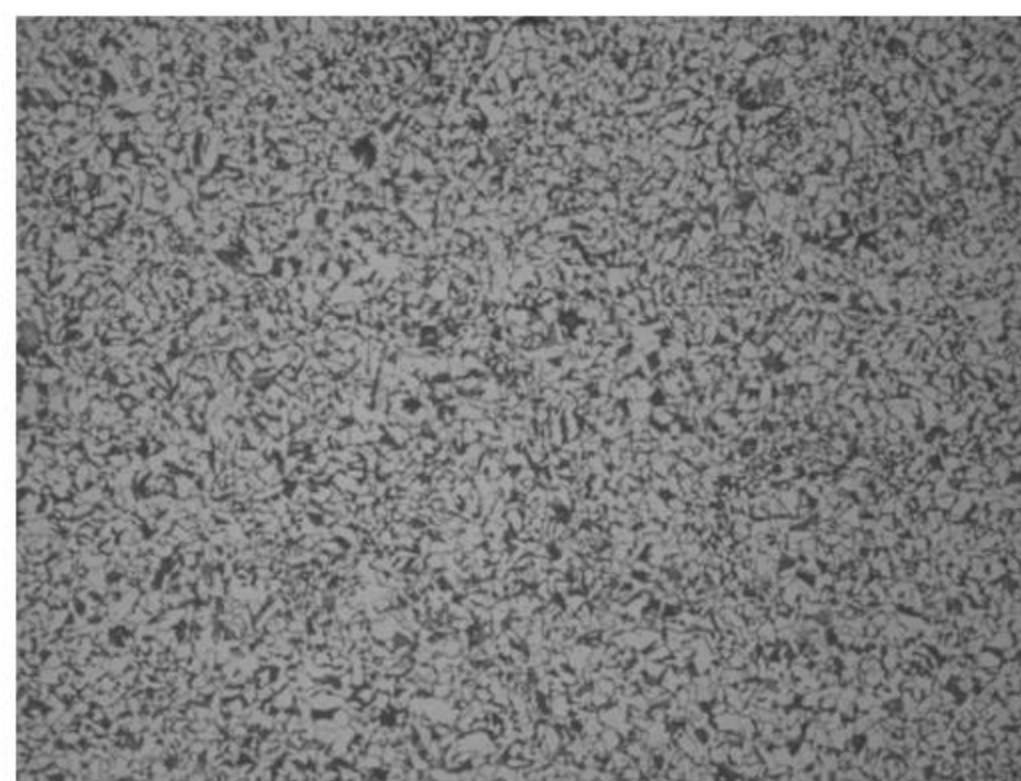


图 6 基体组织 200 ×

焊接未熔合是指在焊接过程中，焊缝金属与母材金属，或焊缝金属之间未熔化结合在一起的缺陷。这种缺陷是由于焊接条件不适当，焊接电流、电压、焊接速度等参数设置不正确，或者焊接材料的性质不匹配等引起的。

动车组转向架上关键铸钢件在列车运行过程中受到较大的疲劳载荷，在某列车检修过程磁粉探伤时发现部分铸件表面出现超标磁痕，见图 7；对磁粉探伤超标部位进行渗透探伤，结果见图 8。对超标磁痕部位进行解剖取样，经过金相分析，孔



图 7 磁粉探伤结果

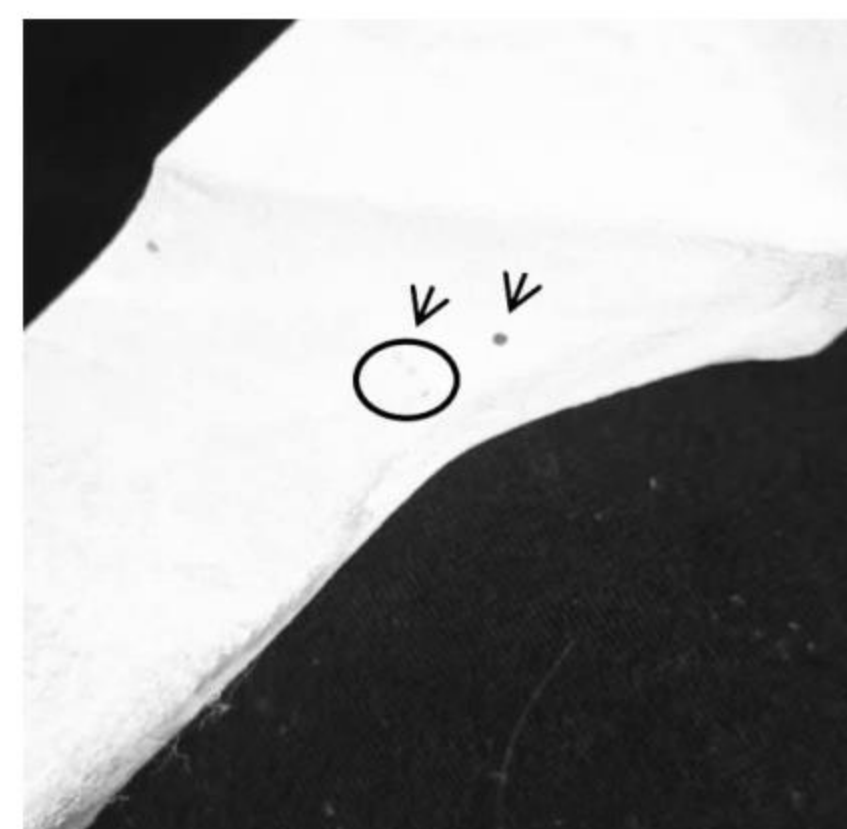


图 8 缺陷位置渗透探伤结果

洞两侧呈现未熔合形貌,分布有多个大小不一的孔洞,大部分呈气孔状,局部可见伴有夹杂物;同时,结合铸钢件的生产流转过程调查,结合缺陷的分布位置、形貌等特征,可以判定异常磁痕区存在未熔合、气孔等焊接缺陷,见图9~12。当缺陷分布近表面时,会在磁粉探伤时出现异常磁痕。

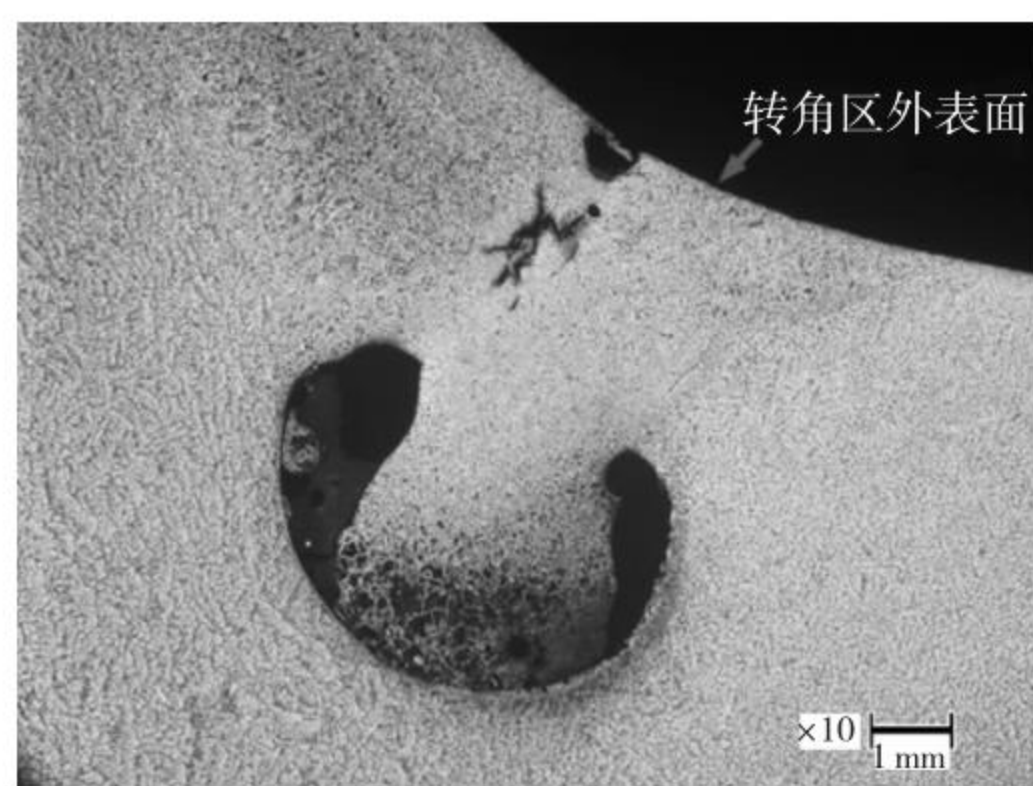


图9 法向截面缺陷分布形貌

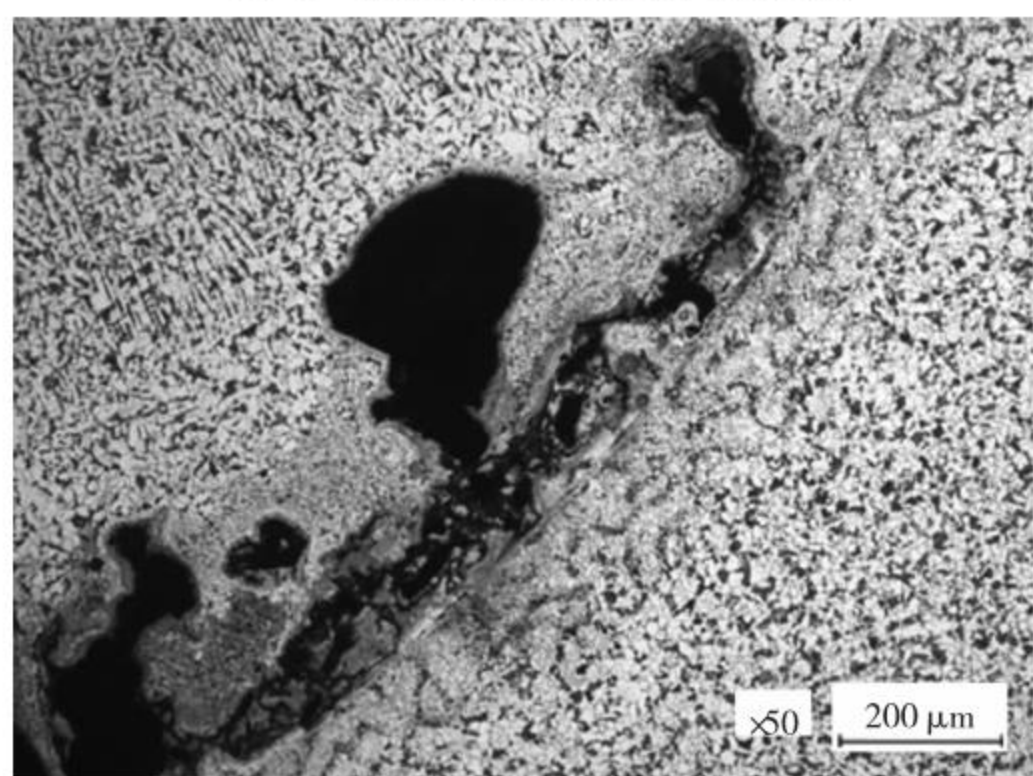


图10 焊合区夹杂及孔隙分布形貌

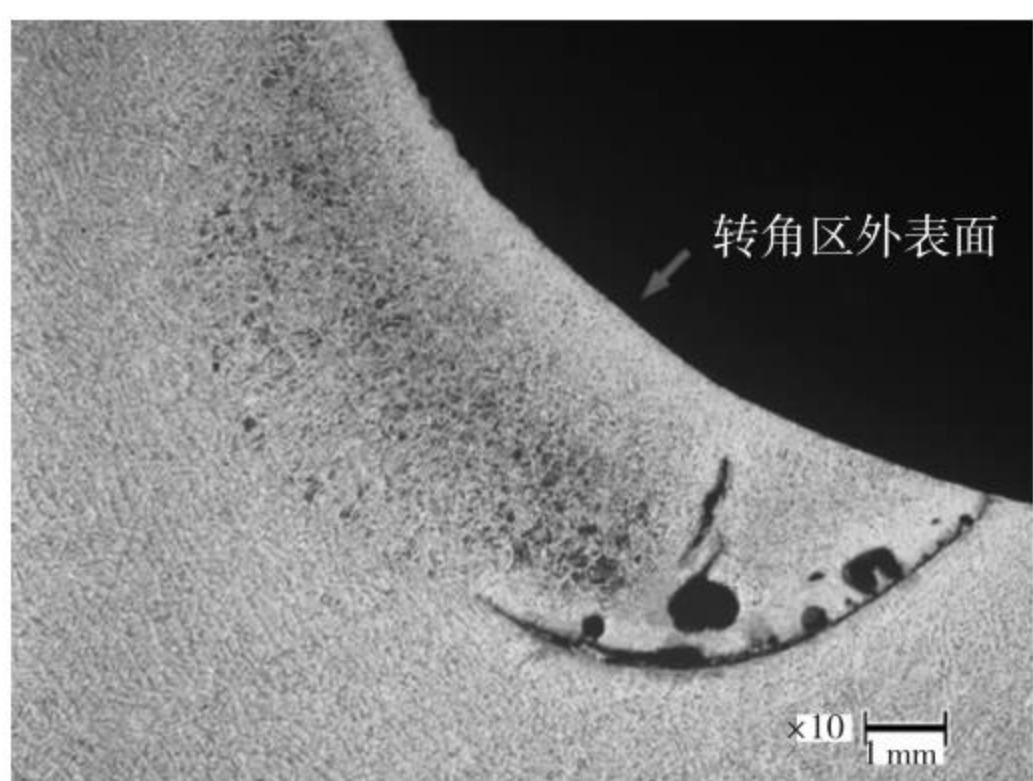


图11 表面开裂区缺陷分布形貌

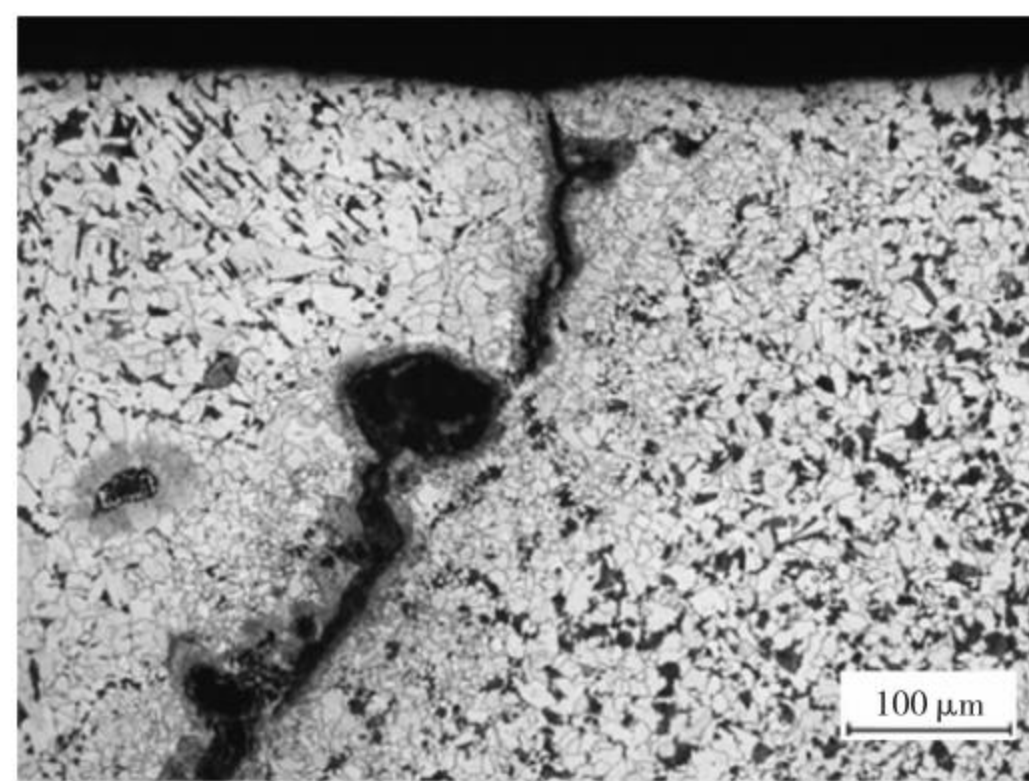


图12 近表裂纹区组织分布形貌

方式时需要考虑铸钢件的缺陷类型、缺陷大小、铸钢件的热处理条件、加工状态等因素,同时还应考虑焊接方式对铸件尺寸、材料强度、残余应力等造成的影响。一般情况下,铸钢件最终热处理前的焊补采用焊条电弧焊和CO<sub>2</sub>气体保护焊,最终热处理后的焊补采用氩弧焊。三种焊接方式的特点如下:

(1)焊条电弧焊:焊接设备简单,便于携带和移动;焊接操作简单,易于掌握;适用于各种材料和厚度的焊接,尤其是对不同材料的连接有优势;焊缝质量受电极类型、规格、焊条质量、焊条保管等因素的影响较大;焊接变形大,热影响区大;焊接效率低,电极消耗大,成本高;焊接过程中产生大量的烟尘和渣层,对环境对人体有一定的影响。

(2)CO<sub>2</sub>气体保护焊:焊接速度快,生产效率高;焊缝成形好,表面光滑,气孔少;焊接变形小,热影响区小;焊接过程中容易产生飞溅,需要清理;焊接电弧稳定性较差,易受风力的影响;适用于各种位置的焊接,操作灵活;二氧化碳气体易于获取,成本低;焊接过程中产生大量的烟尘,对环境对人体有一定的影响。

(3)氩弧焊:焊缝质量高,纯净度高,力学性能好;焊缝成形好,表面光洁,气孔少;焊接变形小,热影响区小;焊接速度慢,生产效率低;惰性气体消耗大,成本高;焊接设备复杂,操作难度大;焊接过程中容易产生弧光和紫外线,对眼睛和皮肤有一定的危害。

## 2.2 焊接工艺评定

根据选择的焊接方式,依据ISO11970或者

## 2 焊接过程关键控制点

### 2.1 焊接方式选择

铸钢件焊补时常见的焊接方式有焊条电弧焊、CO<sub>2</sub>气体保护焊、氩弧焊等,每种焊接方法都有不同的特点,适用的场景也有所不同。选择焊接

GB/T 40800 标准要求进行焊接工艺评定,以验证焊接工艺的正确性。铸钢件制造企业根据铸钢材料的焊接性能,按照设计文件、制造工艺以及 GB/T 19868.3 的规定,拟定焊接工艺预规程(pW-PS);然后进行试件施焊以及试样制取;确定试验检测结果是否符合规定,形成焊接工艺评定报告。焊接工艺评定用试件的材料、热处理状态、坡口形式、焊接材料、焊接设备及工艺条件应与所代表的产品相符。

以轨道交通转向架材料牌号为 G20Mn5QT 的铸钢件为例,首先根据铸钢件的材料分组确定材料组别,参考铸件的壁厚范围确定焊接试件的评定厚度范围,然后浇注焊接试板进行焊接试件制作。焊接试件完成后,首先进行目视检测、超声波探伤检测、磁粉探伤检测,接着根据标准规定进行测试试样的取样,进行横向拉伸试验、弯曲试验、冲击试验、硬度试验、宏观金相等项目的检测。各项检测结果均符合要求后,出具焊接工艺评定报告,铸钢件生产企业根据报告的焊接过程参数,制定产品的焊补工艺规程。按照以上方法,确定了材料 G20Mn5QT 的铸钢件焊接工艺,CO<sub>2</sub> 气体保护焊焊接参数见表 1,氩弧焊焊接参数见表 2。

### 2.3 焊接过程质量控制

表 1 CO<sub>2</sub> 气体保护焊焊接参数

焊道	方法	填充材料	焊丝直径 /mm	电流/ A	电压/ V	电流类型	焊接速度/ (mm·min <sup>-1</sup> )	热输入/ (kJ·min <sup>-1</sup> )
1	135	G3W1	φ1.2	180	22	DC+	275	0.69
2	135	G3W1	φ1.2	240	27	DC+	255	1.22
3	135	G3W1	φ1.2	240	27	DC+	225	1.38
4	134	G3W1	φ1.2	240	28	DC+	175	1.84

表 2 氩弧焊焊接参数

焊道	方法	填充材料	焊丝直径 /mm	电流/ A	电压/ V	电流类型	焊接速度/ (mm·min <sup>-1</sup> )	热输入/ (kJ·min <sup>-1</sup> )
1	141	W3W1	φ2.0	110	11	DC-	100	0.44
2	141	W3W1	φ2.0	130	13	DC-	110	0.55
3	141	W3W1	φ2.0	130	13	DC-	110	0.55

#### 2.3.1 焊前准备

(1)清除缺陷时,可使用机械方法(砂轮打磨、风铲铲削或者机械加工等)或采用火焰切割、电弧气刨等热切割法;采用热切割法施工时,应清除表面的脱碳或碳累积,确保缺陷清除干净。

(2)制备坡口使用机械方法,坡口形状应根据截面厚度、坡口部位及焊工操作条件等确定,坡口形状一般为 U 型或 V 型坡口;坡口底部与侧壁过渡要圆滑,坡口表面应露出母材金属本色。

(3)焊补前应对清除缺陷的部位进行外观检查,线性缺陷还需采用磁粉探伤进行检查,确认缺陷清除干净后方可进行焊补。

#### 2.3.2 焊补

(1)焊补前根据铸件的材料和环境温度等情况确定铸件施焊区域的预热温度,对于碳当量相对较高的产品,宜采用整体预热;采用局部预热时,预热的范围为焊缝两侧至少焊缝处截面厚度三倍的宽度。

(2)焊补过程中应检测焊接区温度,确保层间温度不低于预热温度。

(3)焊后应采用机械法消除焊接应力,即用手锤轻击补焊处消除应力;锤击时应注意施力适度,避免施力过度而击伤铸件本体。

(4)焊后采用石棉被覆盖缓冷或者随炉冷却,待冷却至室温后,将焊接部位打磨平整或平滑过渡。

### 2.3.3 焊后质量检验

(1)铸件焊补后,对焊补部位及周围进行目视检测、磁粉探伤检测,焊缝上不允许存在裂纹、咬边、未融合、夹渣等缺陷。

(2)焊补过程中如果产生了二次缺陷,必须清理干净,重新焊补,直至缺陷消除,同一部位焊补一般情况下不允许超过两次。

(3)根据产品的焊补工艺规程,采取与铸件相同的热处理工艺、回火以及局部消除应力热处理等方法进行应力消除。

(4)修复后的铸件尺寸应符合铸件图纸要求。

## 3 结束语

(1)结合铸钢件缺陷部位的金相组织分析可以快速有效的确定缺陷产生的原因。

(2)焊接过程中影响质量的因素较多,通过对焊接方式的选择、焊接工艺评定、焊接过程质量控制等方面进行有效控制,可以得到稳定的焊接质量。

### 参考文献:

- [1] 赵丽玲.低合金铸钢件的 CO<sub>2</sub> 气体保护焊工艺[J].金属铸锻焊技术,2012(10):178-179.
- [2] 贾旭,曹健峰,李亚军,等.浅谈轨道交通铸钢件的质量控制[J].中国铸造装备与技术,2021(5):71-74.

## Analysis of the quality control of the welding and repair process of steel castings

JIA Xu, LÜ Changlüe, DAI Ruyong, ZHOU Feng

(CRRC Qishuyan Institute Co.,Ltd., Changzhou 213025, Jiangsu China)

**Abstract:**The typical defects in the process of welding and repairing steel castings are introduced, and the metallographic microstructure characteristics of welded porosity and welded non-fusion are analyzed. Through the analysis of the selection of welding methods, welding process qualification, welding process quality control, etc., the key control items and requirements in the welding process are emphatically expounded to obtain stable welding quality.

**Key words:**Steel castings;Welding defects;Control point



**弘扬科学家精神  
勇当高水平科技自立自强排头兵  
第八个全国科技工作者日**

