

矿用自卸车机架前座质量改进

贾旭, 吕昌略, 徐贵宝

(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: 介绍了矿用自卸车机架前座铸钢件的失效情况, 重点分析了失效件的断口形貌、金相组织等, 并结合铸造生产过程分析, 确定了断裂的根本原因。制定并实施了工艺改进方案, 解决了铸造裂纹问题, 有效提升了产品质量。

关键词: 铸钢件; 失效分析; 工艺改进

矿用自卸车是指在露天场所为完成岩石土方运输与矿石运输等任务而使用的专业化车辆, 主要用于露天矿山、港口码头、水利水电工地和交通基础设施等大型施工现场。由于载重量较大, 道路状况复杂, 在运行过程中, 电动轮主机架受冲击载荷和交变力的影响, 会发生微变形, 电动轮主轴出现不同位置不同程度的开裂^[1]。某型号矿用自卸车部件, 铸钢件机架前座材料为GS-25CrMo4, 在交付客户使用过程中, 在服役时间未达到客户要求的情况下出现裂纹, 裂纹位于图1所示红色框内毛坯面, 铸造后经调质热处理后进行机加工。为查找原因, 对裂纹部位进行断口形貌、金相组织等分析, 并结合铸造过程进行分析, 确定断裂的根本原因, 并采取改进措施。

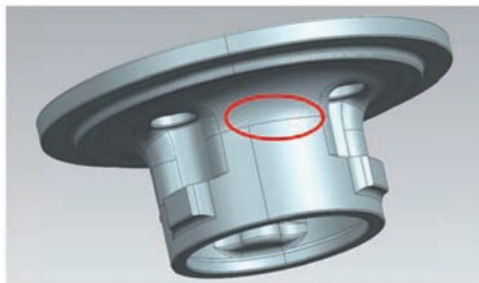


图1 机架前座3D图

Fig. 1 3D drawing of the front seat of the rack

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工作。

E-mail: jx1022@126.com

中图分类号: TG260

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2025)

01-0119-05

收稿日期:

2023-11-03 收到初稿,

2023-12-27 收到修订稿。

1 失效分析

1.1 断口宏观形貌分析

图2是故障铸钢件宏观形貌及其开裂位置局部放大照片, 铸件法兰面与筒部的过渡圆角开裂, 开裂区域无明显塑性变形。为获取铸件裂纹更多信息, 将裂纹处切割取出, 人工将裂纹打开, 图3为裂纹断口宏观形貌和其裂源区域局部放大照片, 裂纹断口较平滑, 存在锈蚀痕迹, 断口可观察到明显贝纹线和台阶形貌, 由贝纹线和台阶形貌聚敛方向判断, 裂纹断口裂源位于铸件法兰面与筒部的



图2 裂纹宏观形貌

Fig. 2 Macro morphology of crack

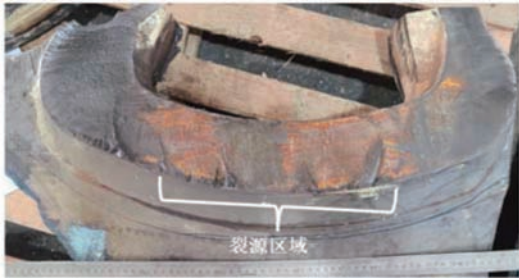


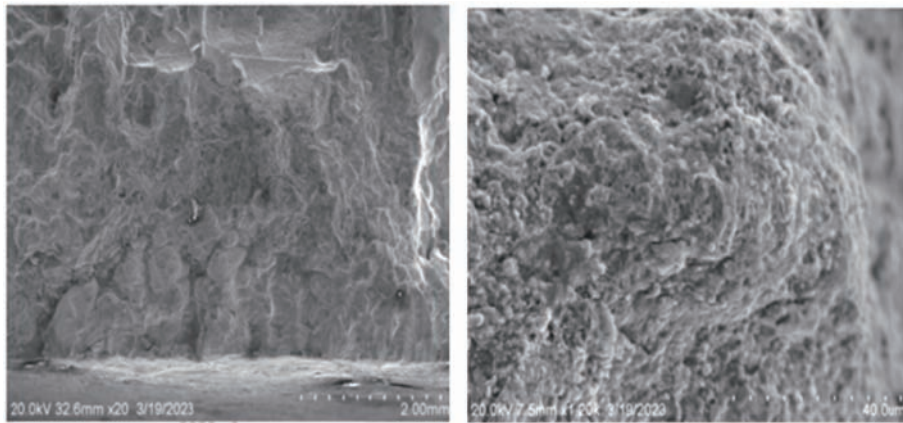
图3 断口宏观形貌

Fig. 3 Macro morphology of fracture

过渡圆角表面，且为多源开裂；裂源断口存在多处最深约17 mm的较粗糙区域。

1.2 断口微观形貌分析

将清洗后的铸件裂纹断口放入扫描电镜观察，铸件裂纹断口裂源微观形貌如图4所示，主要为圆钝自由结晶形貌，还存在较多絮状和颗粒氧化产物。裂源附件较粗糙区域也以圆钝自由结晶形貌为主，见图5。

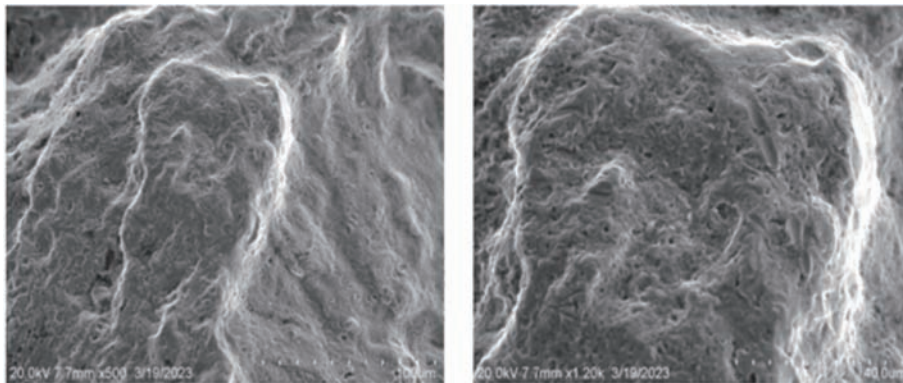


(a) 低倍

(b) 高倍

图4 裂纹断口裂源区域微观形貌

Fig. 4 Microscopic morphologies of the crack source area of the fracture



(a) 低倍

(b) 高倍

图5 裂纹断口裂源附近较粗糙区域微观形貌

Fig. 5 Microscopic morphologies of the rougher area near the crack source of the fracture

1.3 断口裂源截面金相分析

在铸件裂纹断口裂源截面取试样进行金相分析，图6-图8为铸件裂纹断口裂源及其附近较粗糙断口截面金相组织，表面的组织中仅有铁素体组织存在，可以判定裂源断口及其附近较粗糙断口表面存在深约66 μm 的全脱碳层，全脱碳层内还可观察到较多灰色颗粒状

氧化物质点，而裂源处法兰面和筒部过渡圆角表面则仅有轻微不完全脱碳，无全脱碳和明显铁素体组织。脱碳现象是指钢材料在进行加热时表面的碳元素含量出现降低的现象，在力学性能上脱碳层的强度和硬度比正常组织低，脱碳层中存在着较大的残余拉应力，导致其疲劳强度降低。

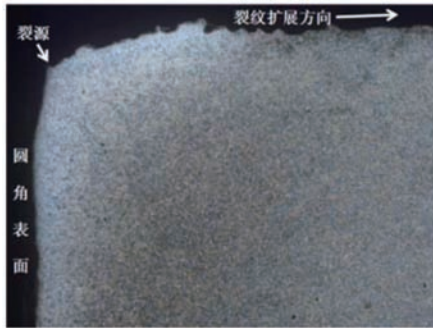


图6 裂纹断口裂源截面金相组织25×

Fig. 6 Microstructure of the section of the crack source at the fracture

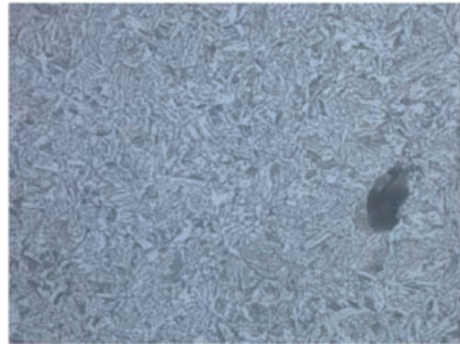


图9 心部金相组织500×

Fig. 9 Microstructure of the core

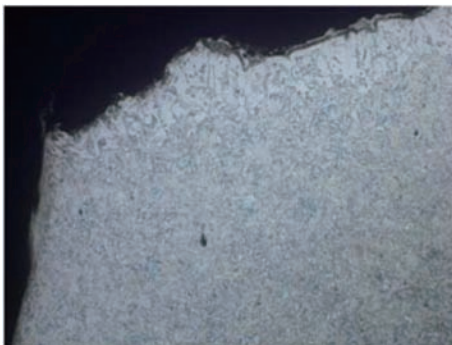


图7 裂纹断口裂源截面组织金相组织100×

Fig. 7 Microstructure of the section of the crack source at the fracture

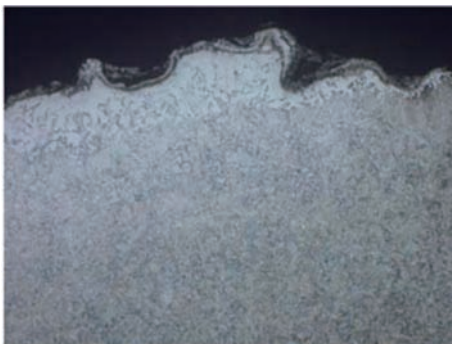


图8 裂源附近较粗糙断面金相组织100×

Fig. 8 Microstructure of the rougher section of the crack source at the fracture

根据淬火裂纹形成时机，可以断定有氧化脱碳现象的裂纹是非淬火裂纹，结合铸造热裂纹裂缝短、缝隙宽、形状曲折等特征，同时根据裂纹断口裂源区域微观形貌判断，裂源较粗糙区域符合铸造热裂纹缺陷特征。

图9为铸件心部金相组织，为回火索氏体+贝氏体+铁素体，组织较细小。

1.4 分析结论

由上述分析结果可知，铸件裂纹具有多源疲劳开

裂特征，开裂处位于过渡圆角的结构应力集中处。裂源处存在深约17 mm铸造热裂纹缺陷，该缺陷会显著增加该区域应力集中系数，在服役载荷作用下，该缺陷作为疲劳源逐步扩展。

2 缺陷原因分析

2.1 热裂纹形成机理

热裂纹是在凝固温度范围内邻近固相线时形成的，关于形成机理目前流行的两种理论为液膜理论和强度理论^[2]。多数铸造从业者在分析铸钢件热裂纹的原因时采用强度理论。铸钢件热裂纹一般是在合金固相线温度以上产生的，但该温度范围的上限是随合金种类、杂质含量、零件结构及冷却条件而发生变化的。在这一温度范围内，温度下降合金将发生收缩，当收缩受到型壳阻碍，甚至此时型壳还因被加热而膨胀，或铸件已有一定刚度的先凝固部分对收缩部位产生阻碍，在铸件的局部形成收缩应力及塑性变形。若应力或塑性变形超过合金在该温度下的强度极限，铸件就会发生热裂^[3]。笔者对该铸钢件结构进行分析，法兰面和筒部的过渡圆角相对较小，铸件的壁厚变化相对较大，主要壁厚从130 mm变化至70 mm，铸件在凝固冷却过程中易在过渡区圆角处形成应力集中，形成热裂纹的倾向性大。

2.2 化学成分分析

铸件材料的化学成分范围见表1，Mn为弱碳化物形成元素，提高材料的韧性、强度、硬度和耐磨性，提高淬透性；Cr为中强碳化物形成元素，使A3和A1温度升高，GS线向左上方移动，显著提高强度、硬度和耐磨性，但同时降低塑性和韧性；Mo为中强碳化物形成元素，使A3和A1温度升高，GS线向左上方移动，可细化晶粒，提高淬透性，在高温时保持足够的强度和抗蠕变能力。

钢液中杂质、有害气体量比较大时，会割裂基

表1 材料化学成分要求
Tab. 1 Chemical composition requirement of the material

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	$w_B / \%$
0.22~0.29	≤0.60	0.50~0.80	≤0.020	≤0.015	0.80~1.20	0.10~0.30	

体,使铸件产生裂纹。硫是钢中有害元素,钢在凝固时,由于硫的存在,在晶界处出现FeS和Fe的低熔点共晶,而使钢在高温时的强度降低。因此含硫量高的钢,其热裂敏感性大。因此降低钢中含硫量是防止铸钢件产生热裂的有效措施之一^[4]。经过对此件化学成分的核对,S含量相对偏高,检测结果为0.015%。

2.3 生产过程分析

通过对铸造工艺生产流程进行分析,发现铸造生产厂的铸件检验流程设置不合理,外观检查和磁粉探伤检查同时进行,造成缺陷返修后再次进行确认造成裂纹漏探的概率。同时经过对生产过程调查发现,由于抛丸机存在异常,导致铸件表面的氧化皮未完全去除,磁粉探伤的表面铸件状态不符合要求,对后续磁粉探伤过程中的判定造成一定的干扰,导致了裂纹的漏探。

3 改进方案及结果

3.1 结构优化

铸钢件拐角处易产生热裂纹,一是因为该处应力集中,二是因为此部位是热节处。增加圆角半径,能有效降低热裂倾向,能大大减小应力集中系数。笔者增加该部位的铸造圆角半径,使过渡圆角达到R195 mm,使铸件壁厚尽量均匀,避免壁厚的突然改变,同时在此部位设置了加强筋。

3.2 铸造工艺优化

对于应力集中部位的拉裂纹,使用冷铁局部激冷是一种最有效的消除热裂纹的方法,它使铸件局部区域的温度迅速降低至开裂的敏感温度范围之下,使材料的应变应力在大量出现之前得到有效清除,从而抑制裂纹的产生^[5]。该铸钢件的造型过程中不易放置冷铁,采取在法兰面和筒部的过渡圆角部位放置一定厚度的铬铁矿砂,起到一定的激冷作用,以防止裂纹的产生。针对放置铬铁矿砂前后两种方案进行铸件凝固过程数值模拟分析,结果表明,放置铬铁矿砂后过渡

圆角部位的温度明显降低,铸件的温度场分布更加合理,温度的变化较为平稳。

3.3 过程管理改进

优化铸造生产工艺流程,制定合理的工艺路线。同时,加强过程质量控制,细化过程质量控制要求,从过程六要素(人、机、料、法、环、测)着手,制定合理的管理手段有效管控铸件的关键质量特性。经过对过程的梳理分析,主要制定以下措施:

(1)加强熔炼用废钢、合金等原材料的质量管控,强化原材料的采购验收要求,确保P、S等有害元素在控制范围内的下限,同时熔炼工艺要求中增加对添加合金的烘烤,提升钢液纯净度;

(2)加强设备的状态管理,制定关键生产设备的点检制度,定期进行设备保养和检修,对设备的运行效果进行验证,杜绝设备异常对铸件质量的影响,例如抛丸后对铸件表面质量进行确认;

(3)优化铸造生产工艺流程,将外观检查和磁粉探伤检查作为单独的工序分开,在外观检查合格后方能进行磁粉探伤检查,减少过程中不合格的非预期流转。

采用上述改进方案后生产了200多件,此铸钢件在后续的使用过程中再无类似情况出现,有效解决了铸件热裂纹缺陷,提升了铸件质量。

4 结论

(1)通过对矿用自卸车机架前座铸钢件断口裂纹进行金相显微镜和电镜分析,快速确定了造成断口的原因为铸造热裂纹。

(2)通过增大铸件开裂处过渡圆角尺寸、降低合金S元素含量和优化工艺生产流程等工艺措施,并加强生产现场的工艺控制和严格管理,有效地消除了铸造热裂纹缺陷。

参考文献:

- [1] 汪星, 张再利. 激光熔覆在矿用机车架上的表面修复应用 [J]. 露天采矿技术, 2021 (2): 123-125.
- [2] 盛雁龙, 王文先, 李志杰, 等. 侧架铸钢件热裂纹的形成及防止方法 [J]. 机械工程与自动化, 2015 (1): 202-204.
- [3] 陈国桢, 肖柯则, 姜不居, 等. 铸件缺陷和对策手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [4] 王文清, 李魁盛. 铸造工艺学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.
- [5] 徐贵宝. 讨论砂型铸钢件热裂纹的成因与对策 [J]. 铸造工程, 2020 (5): 4-10.

Quality Improvement of the Front Seat of the Rack for Mining Dump Trucks

JIA Xu, LÜ Chang-lue, XU Gui-bao

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

Abstract:

The failure of the front seat steel casting of dump truck frame used for mining was introduced, and the fracture morphologies and metallographic structures of the failed parts were emphatically analyzed, and combining with the analysis of casting production processes, the primary causes of the cracks were confirmed. A process improvement scheme had been developed and carried out, solved the casting crack problem and effectively promoted the product quality.

Key words:

steel casting; failure analysis; process improvement
