

# 应用多种无损检测技术提升缓冲器箱体质量

孙公军, 陈 庚, 张雨溪, 郭振峰

(中车大连机车车辆有限公司铸锻分公司, 辽宁大连 116022)

**摘要:** 通过磁粉、X射线、超声波多种无损检测技术的结合应用, 确定了缓冲器箱体缺陷类型并对缺陷进行定位, 找出了缓冲器箱体存在质量问题的根源。在改进铸造工艺后, 缓冲器箱体未发现腔区裂纹, 其内部疏松、气孔等缺陷也极大减少, 缓冲器箱体铸件质量符合客户要求。

**关键词:** 无损检测; 缓冲器箱体; 铸件质量

机车车辆用钩缓装置中的缓冲器箱体材质为E级钢, 热处理方式为水淬调质, 若调质前箱体表面存在裂纹或者内部组织不致密, 很容易在淬火过程中出现表面开裂。前期试制阶段, 发现在大部分箱体内部均有裂纹产生, 无法满足客户的技术要求。为了解决缓冲器这一技术难点, 笔者通过磁粉探伤、X射线探伤、超声波探伤等多种无损检测技术相结合的方式, 分析了箱体产生的缺陷类型和原因, 对缓冲器箱体的铸造工艺进行改进。应用改进后的工艺进行批量生产, 获得了合格的箱体铸件, 达到客户需求。

## 1 缓冲器箱体生产现状

### 1.1 缓冲器箱体的结构特点和技术要求

缓冲器箱体的结构如图1所示, 其为环簧摩擦式缓冲器, 主要承载部位为口部的腔区及底部的后壁区。腔区在运用过程中承受导板的摩擦力及压应力, 后壁区承受内部弹簧的压应力, 属于箱体的主要受力部位。

缓冲器箱体的大部分壁厚较均匀, 壁厚尺寸为21~40 mm, 其全身需要磁粉探伤检测, 要求腔区基本无裂纹存在, 按ASTM-94和E142进行整体射线探伤检测, 缺陷A、B、CA、CB、CC、CD类腔区接受等级为3级, 其他区域为4级、D、E、F类缺陷不允许存在。

### 1.2 缓冲器箱体存在的主要问题

缓冲器箱体在小批量验证阶段磁粉探伤时, 在箱体内部的腔区发现了纵向裂纹, 裂纹长度在25~45 mm。缺陷位置区域如图2所示。

经磁粉探伤检测有裂纹缺陷的缓冲器箱体数量约占到该批量验证批次的100%。由于裂纹缺陷处于箱体内壁且离箱体口部有一定距离, 缺陷在去除、焊接修复及余高打磨时, 均难以保证质量。缺陷去除及余高打磨时, 清理工具深入深度有限且不利于边清理边观察; 施焊时的电弧长度也不易保持并且药皮产生的保护气体难以有效覆盖熔池。此缺陷不但影响了产品质量, 还增加了生产成本, 加大了产品生产进度的压力, 降低了经营利润。

## 2 缓冲器箱体质量问题分析及改进措施

### 2.1 质量问题的初步分析

为找出裂纹缺陷产生的根本原因, 将缓冲器箱体的裂纹缺陷部位用锯床解剖成

作者简介:

孙公军(1972-), 男, 高级工程师, 从事铸造工艺研究。E-mail: sgjun@126.com

中图分类号: TG250.6

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2020)01-0058-04

收稿日期:

2019-09-03 收到初稿,  
2019-10-21 收到修订稿。

15 mm厚的切片，将解剖截面及裂纹缺陷附近区域置于强光下进行目视检测，并未发现肉眼可见的缺陷，如图3所示。

初步判定是由于产品浇注后拣箱、打箱时间过早所致的裂纹缺陷。在延长拣箱及打箱时间后，生产出的缓冲器箱体该区域依然存在裂纹缺陷，并没有因此而消除或降低裂纹出现的频率。

## 2.2 应用多种无损检测技术

基于X射线检测结果的可靠性和一致性，且能够减少工时的特点<sup>[1]</sup>，将带有裂纹缺陷的缓冲器箱体及磁粉探伤后未发现裂纹缺陷的缓冲器箱体进行射线检测，为保证不遗漏任何缺陷显示，针对21~40 mm的壁厚，避免因采用同一曝光量对不同的厚度检测时使底片黑度过大或者过小而造成缺陷在底片中被遮盖，因此分别采用不同的曝光量，单壁单影透照，同时提高相应的射线灵敏度，保证一定的黑度及对比度，以便能清晰地区分出不同厚度下的缺陷<sup>[2]</sup>。经射线检测，两个缓冲器箱体腔区的相同区域均在底片上有缺陷显示，如图4所示。

射线底片上显示的缺陷为典型的CB类缺陷，即疏松、缩松类缺陷，由此可以判定出裂纹缺陷是由内部疏松及缩松导致的。该箱体的热处理方式为水淬调质，是在完全奥氏体化的高温状态下采用水激冷的方式进行冷却，因此缓冲器箱体的内部疏松及缩松缺陷很容易在水淬时，由于撕裂基体组织进而形成表面裂纹。

射线检测为体积性投影检测，可以检测出透照方向上的缺陷严重程度及面积大小，但不能检测出壁厚

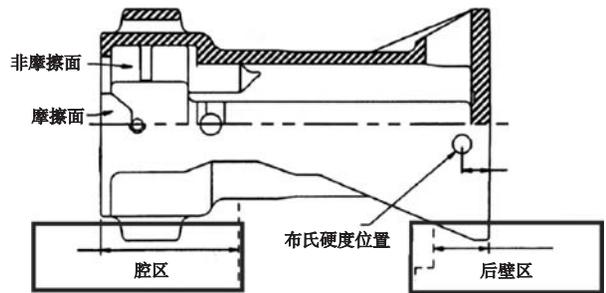


图1 缓冲器箱体结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram showing the structure of buffer box

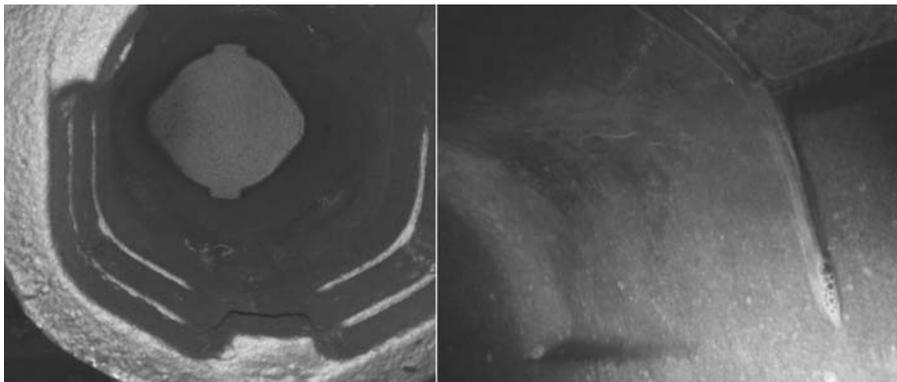


图2 缓冲器箱体裂纹缺陷

Fig. 2 Crack defects in buffer box

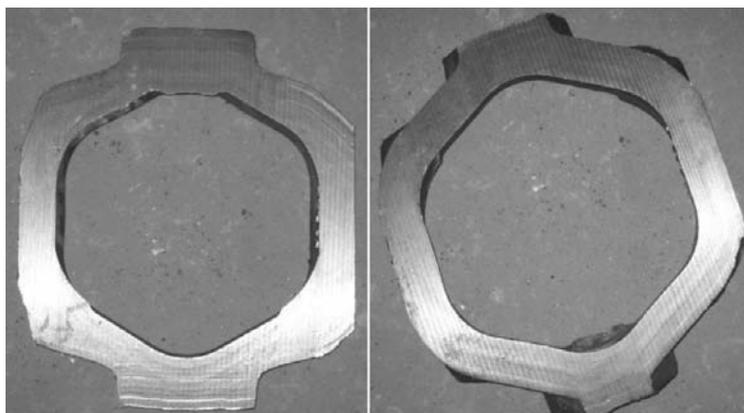
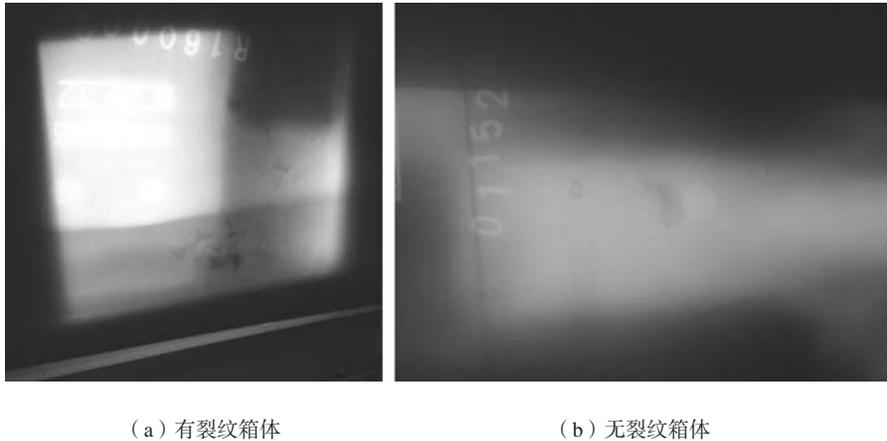


图3 缓冲器箱体裂纹缺陷部位解剖面

Fig. 3 Dissected crack defects areas in buffer box



(a) 有裂纹箱体 (b) 无裂纹箱体

图4 缓冲器箱体射线底片上的缺陷

Fig. 4 Defects on X-ray film of buffer box

方向上缺陷的深度。因此通过射线检测确定了缺陷类型后，需要明确缺陷在壁厚方向上的不同覆盖深度，以便采用不同的工艺措施进行改进。若缺陷位于壁厚中间则采用冒口进行解决，若缺陷位于壁厚边缘则宜采用冷铁进行消除。由于超声波检测可以利用铸件内部结构对声波的影响差异，对内部缺陷进行精确的定位，因此为准确判定出缺陷在壁厚方向上的覆盖深度，本试验采用超声波进行了检测<sup>[3-4]</sup>。

仔细分析铸件结构，发现如图5所示的小平台位置可以采用斜探头对附近的缩松区域（图5中标记区域）进行超声波检测。

超声波检测该部位的原理类似于管类零件的超声波探伤，可以采用一次、二次及多次波进行检测，若发现回波基本上可以判断为伤波，进而根据声程等参数，运用三角函数公式计算出缺陷的深度。因缓冲器箱体的壁厚较薄且弧度较大，选取K3探头检测，为了便于缺陷深度的更好确认用K2探头辅助检测。超声波探伤原理如图6所示。经超声波探伤检测确认缺陷在箱体壁厚的中心及内壁近表面部位。

在射线底片上发现CB类缺陷的同时也发现了A类缺陷气孔的分布，如图7所示。气孔分布于缓冲器箱体的周身，铸造下型只有少量气孔，上型及冒口附近分布较多气孔，由此可以分析出气孔为析出性气孔，整体呈现出逃逸状态。

析出性气孔多为钢液中气体含量较大所致，在冷却时，钢液溶解度大幅度降低，导致气体大量析出，在气体未完全从钢液中逸出时，钢液彻底凝固成固体，使气体夹埋于铸件之中。钢液中气体溶解量大一般为终脱氧不充分导致。在生产中若采用纯铝条进行终脱氧，因对铸件本体依据GB/T 4336—2016进行残余铝量的化学成分检测。经化学成分检验结果表明，箱体中残余铝量相对偏低，如表1所示。

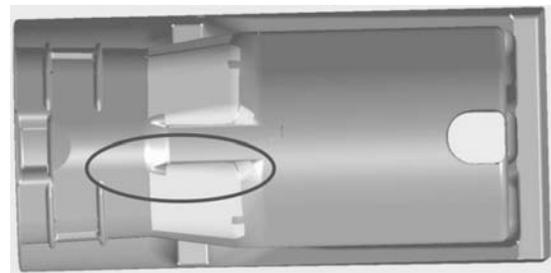


图5 缓冲器箱体超声波探伤探头移动范围

Fig. 5 Moving area of ultrasonic flaw detection probe on buffer box

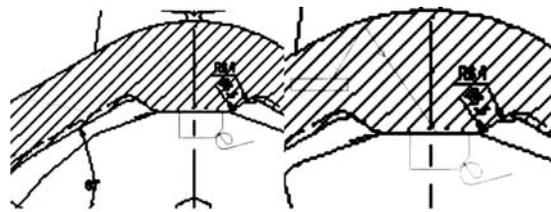


图6 缓冲器箱体超声波探伤原理

Fig. 6 Principle of ultrasonic testing for buffer box



图7 缓冲器箱体射线探伤气孔缺陷

Fig. 7 Blowhole defects in buffer box detected by X-ray inspection

表1 缓冲器箱体本体残余铝量化学成分检测  
Table 1 Chemical composition of buffer box and residual Al content

| 材质  | $w_B / \%$ |      |      |       |       |      |      |      |      |       |      |
|-----|------------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|-------|------|
|     | C          | Mn   | Si   | S     | P     | Cr   | Mo   | Cu   | Ni   | Al    | CE   |
| E级钢 | 0.26       | 1.28 | 0.26 | 0.009 | 0.014 | 0.48 | 0.22 | 0.08 | 0.40 | 0.015 | 0.65 |

### 3 工艺改进及效果分析

#### 3.1 铸造工艺改进

从射线及超声波无损检测结果来看,不致密的缺陷位于缓冲器箱体壁厚的中心及内壁的近表面,需要增设冒口才可以消除缺陷,根据现有工艺方案,在不致密的缺陷产生部位增加边保温冒口,通过大的冒口颈进行补缩,以消除疏松、缩松。具体如图8所示。

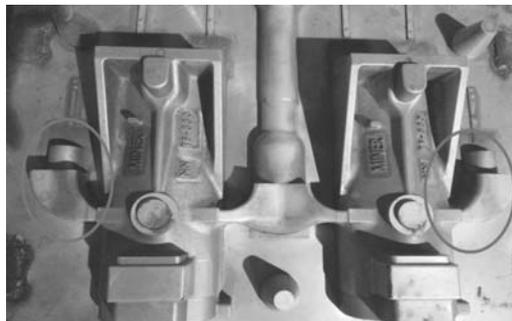


图8 增加了边冒口及冒口颈的缓冲器箱体  
Fig. 8 The buffer box with a side riser and a riser neck

#### 3.2 熔炼工艺改进

为消除箱体中的气孔,需降低钢液中的气体氧含量,提高钢液终脱氧处理效果,因此将化学成分检测后残余铝含量控制在0.020%~0.080%。改进工艺后,缓冲器箱体未再发现裂纹,其内部的疏松、气孔等缺陷也得到了明显改善。

口,同时将残余铝含量控制在0.020%~0.080%范围内,缓冲器箱体未再发现腔区裂纹,其内部疏松、气孔等缺陷也得到极大改善。

### 4 结论

(1) 通过磁粉、射线、超声波无损检测技术的结合,改进了缓冲器箱体的铸造工艺,增加了边保温冒

(2) 缓冲器箱体目前已经持续生产2 000余件,成功供货360件,没有出现一例裂纹产品,且经过客户射线检验复查后,完全符合产品质量要求,成功实现该处裂纹缺陷为0,气孔缺陷降为0.2%的目标。

#### 参考文献:

- [1] 徐丽, 刚铁, 张明波, 等. 铸件缺陷无损检测方法的研究现状 [J]. 铸造, 2002 (9): 535-540.
- [2] 王雪梅. 无损检测技术及其在轨道交通中的应用 [M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2010: 132-145.
- [3] 何远山. 无损检测应用新论 [M]. 东营: 中国石油大学出版社, 2009: 89-92.
- [4] 冯小平, 杨峰, 李亚维, 等. 铸件的超声波检测分析 [J]. 热加工工艺, 2014, 43 (3): 79-80.

## Improving the Quality of Buffer Box with Various Nondestructive Testing Techniques

SUN Gong-jun, CHEN Geng, ZHANG Yu-xi, GUO Zhen-feng  
(Casting and Forging Branch, CRRC Dalian Co., Ltd., Dalian 116022, Liaoning, China)

#### Abstract:

Through the combined application of magnetic particle testing, X-ray and ultrasonic nondestructive testing technologies, the type of defects existing in the buffer box was determined and the defects were positioned to find out the root of the quality problem existing in the buffer box. After the improvement of the casting process, no cavity cracks were found in the buffer box, and the defects such as internal porosity and blowhole were also greatly reduced. The quality of the buffer box casting meets the customer's requirements.

#### Key words:

nondestructive testing technology; buffer box; casting quality