

低压铸造水冷机壳 X 射线检测图像技术分析与应用

陈晓斌 韩 伟 颜 建 柯世金 詹泽鑫
(广州城市理工学院机械工程学院)

摘 要 针对低压铸造水冷机壳铝合金薄壁组织内部常出现浇不足、缩松和气孔等缺陷,以及由于内部螺旋水道砂芯松散、断裂造成的粘砂、水路不通等问题,采用 X 射线照相检测 DR 系统对铝合金水冷机壳铸件进行无损伤高精度扫描测量分析,并运用 OpenCV 图像增强技术处理图像,使内部组织异常的低压铸件在最短时间内得到识别、剔除及隔离,从而达到品质精细控制的目的。

关键词 X 射线;DR 系统;铸件缺陷;无损检测;图像增强

中图分类号 TG249.2;TG245 **文献标志码** A

DOI:10.15980/j.tzzz.2023.01.025 **开放科学(资源服务)标识码(OSID):**



Analysis and Application of X-ray Inspection Image Technology for Low Pressure Casting Water-cooled Casings

Chen Xiaobin, Han Wei, Yan Jian, Ke Shijin, Zhan Zexin
(School of Mechanical Engineering, Guangzhou City University of Technology)

Abstract: The defects of low-pressure castings such as insufficient filling, shrinkage porosity and air hole often appear in the structure of aluminum alloy thin-wall low-pressure casting of water-cooled casing, as well as the invisible quality problems of internal structure such as sand sticking and water blockage caused by loose and broken sand core of internal spiral water channel. Digital X-ray photography detection DR system was adopted for non-destructive high-precision scanning measurement to analyze aluminum alloy water-cooled casing castings, and OpenCV image enhancement technology was used to process the images. Therefore the low-pressure castings with abnormal internal structure can be identified, eliminated and isolated in the shortest time, achieving fine quality control.

Key Words: X-Ray, DR System, Casting Defects, Non-destructive Testing, Image Enhancement

新能源汽车电动机的外壳为低压铸造铝合金件,为了满足新能源汽车行驶过程中机壳的持续冷却,其内部沿着圆筒形状环绕分布着螺旋状的冷却水道,水道由砂芯形成^[1],见图 1。

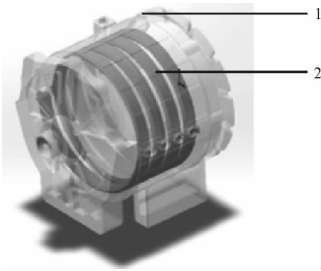


图 1 低压铸造水冷机壳
Fig.1 Low-pressure casting water-cooled housing
1.机壳壳体 2.冷却水道

低压铸造铝合金水冷机壳容易出现气孔、缩松、夹杂、裂纹等缺陷,同时在螺旋水道易出现砂眼、水路不通等问题。螺旋水道对水密性要求较高,要求在 2.3 MPa 水压下保持 4 min 不漏水。

对水冷机壳多采用破坏性检验或者人工目视的检测方法,劳动强度大、效率低、缺陷误判率高,无法直接或准确给出缺陷的具体信息,给产品批量生产带来了挑战。

数字化 X 射线摄影检测系统(Digital Radiography)能对铸件进行各个方向的扫描,获得断面 CT 图像,对水冷机壳的内部缺陷检测具有很高的识别率。对于形状及尺寸超差、气孔、缩孔、夹杂、缩松及裂纹等缺陷,可应用高精度 DR 影像检测技术,进行高效、快速的低压铸造铸件品质检测,提高复杂铝合金零件低压铸造品

收稿日期:2022-04-20;修改稿收到日期:2022-05-16
基金项目:2022 年广东省普通高校特色创新资助项目(自然科学)(2022KTSCX182)
第一作者简介:陈晓斌,男,1983 年出生,实验师,广州(510800),E-mail:55480454@qq.com
通信作者:韩伟,男,1963 年出生,正高级实验师,广州(510800),E-mail:sgghanwei@163.com
引用格式:陈晓斌,韩伟,颜建,等. 低压铸造水冷机壳 X 射线检测图像技术分析与应用[J]. 特种铸造及有色合金,2023,43(1):119-121.
CHEN X B, HAN W, YAN J, et al. Analysis and application of X-ray inspection image technology for low pressure casting water-cooled casings[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2023, 43(1):119-121.

质控制技术,分析低压铸造过程中各阶段工艺参数的合理性,改进充型温度、压力和速度等参数,以减少机壳内部缺陷的发生,提高机壳铸件品质^[2]。

1 检测系统设计及设备配置

对低压铸造的水冷机壳内部常见缺陷,采用直接转换型的 DR 检测系统进行铸件缺陷检测,水冷机壳在工作台上定位夹紧,做旋转运动以及沿 X 轴、Y 轴前后的左右移动^[3],检测系统见图 2。

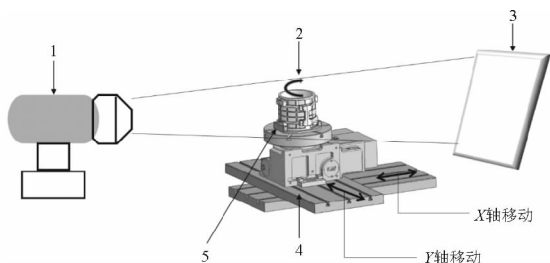


图 2 检测系统组成示意图

Fig.2 Schematic diagram of detection system

- 1.X 射线源 2.待检水冷机壳 3.X 射线探测器
- 4.检测工作台 5.专用夹具

系统硬件主要包括 3 部分:①YXLON/MG452 型 X 射线机,最大管电压为 450 kV,最大功率为 4.5 kW;② $\phi 500$ mm 检测工作台;③XRD0820 型 8 英寸数字平板探测器。选用 MG452 型 X 射线机的原因是水冷机壳形状复杂,除了要作常规静态拍摄之外,还要在工作台上转动时进行实时扫描成像^[4]。MG452 型 X 射线机能保证水冷机壳在旋转过程中,任何角度上的基体材料都能被 X 射线穿透并成像。

DR 成像检测系统的工作过程为:X 射线源→受检机壳→X 射线成像探测器→图像采集→缺陷检测→图像处理→生成检测结果(包括显示、存储、打印、传输等)。图 3 为水冷机壳 DR 扫描成像检测系统的工作流程。

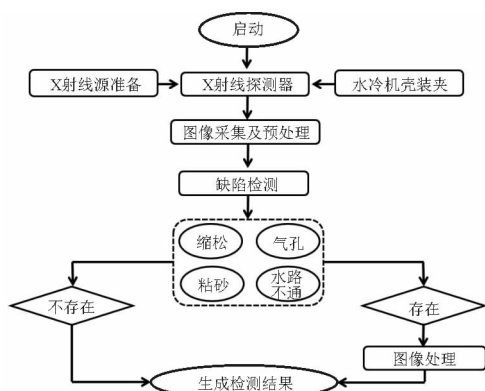


图 3 工作流程图

Fig.3 Workflow chart

由于水冷机壳内部是螺旋水道,与探测器平板面并不是平行或者垂直关系,而是随着铸件旋转呈动态曲

面,会影响检测成像效果,而且还可能会产生衍射斑纹。这些斑纹呈现黑白相间,会影响对铸件的裂纹等面型缺陷的检测识别率^[5,6]。因此检测工作台的旋转必须平顺稳定,同时安装了专用的快速定位夹具,保证水冷机壳在旋转被测试的过程中保持稳定垂直在工作台上,以提高检测识别率。

2 检测图像生成及处理

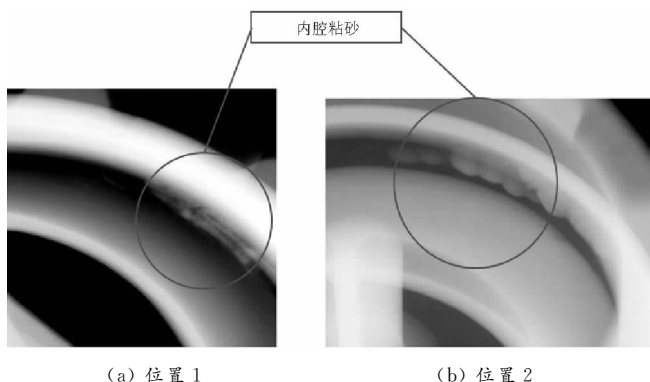
随着企业生产规模的扩大和品质检测标准的提高,对检测系统图像生成及处理的效率和准确率也提出较高要求。DR 检测系统能高速大批量检测水冷机壳,图像生成及处理等过程由电脑完成,最大化程度辅助分析铸件缺陷,避免人为因素影响^[7]。

2.1 检测图像生成

低压铸件组织一般较为粗大,且不够均匀。铝合金密度约为钢材的 1/3,采用 X 射线对铸造铝合金进行检测时,要求 X 射线密度分辨力比对钢材时更高。由于水冷机壳内部采用砂芯成形,所以内壁表面较为粗糙,且有凸起和毛刺等,都会对检测成像品质产生影响^[8]。所以,低压铸造铝合金机壳对 DR 图像检测判断提出了更高的要求。

2.2 水冷机壳内部典型缺陷分析

扫描完一个 $\phi 400$ mm $\times$ 260 mm 的铝合金水冷机壳需要 25 min 左右。为了缩短检测时间,提高效率,可以在保证灵敏度和清晰度要求下,选择动态重点扫描容易出现铸造缺陷的部位。对顶部微小缺陷采用黑白色显示图像的分辨力要比伪彩色显示高,缩松、砂孔和气孔经扫描后反色显示要比正色显示图像清晰度高。铝合金低压铸造内部缺陷最常见之一是由于螺旋砂芯质地松散,铝合金液充型时冲击产生砂芯局部散落,造成内腔粘砂,见图 4。



(a) 位置 1

(b) 位置 2

图 4 水冷机壳壳体内腔砂芯松散造成粘砂

Fig.4 Sand sticking caused by loose sand core in the inner cavity of the water-cooled casing

铝合金低压铸件会出现缩孔、缩松是因为铝液在凝固过程中,不是顺序凝固,在铸件内部形成不规则微小

空洞,内壁粗糙,晶粒呈树枝状,使得循环水冷时不畅通。缩孔、缩松缺陷用反色图像显示清晰度会更高,通常呈现云雾、海绵体状或黑色带状^[9],图 5 为反色和正色显示图像对比。

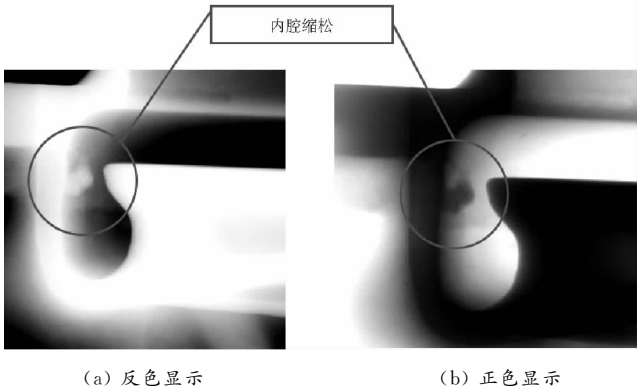


图 5 水冷机壳壳体内腔缩松图像对比

Fig.5 Images of shrinkage cavity in the water-cooled housing

2.3 水冷机壳内部典型图像增强处理

水冷机壳内部组织图像中的像素值范围分布较为均匀,因此需要扩大水道空白处与铝合金组织间的对比度和灰度色调差别,并使图像的细节更加清晰丰富。根据输入图像的直方图信息,利用直方图均衡化方法可以将输入图像达到上述效果。通过函数对图像中像素数量多的铝合金组织灰度级进行展宽,而对像素数量少的水道空白的灰度进行归并,从而增大水道空白部分和铝合金组织灰度之间色调对比度。均衡化后图像的灰度级范围更宽,水道空白部分图像更加清晰,砂芯损伤的部分更容易检出。经过 OpenCV 图像增强运行的水冷机壳铸件内部图见图 6。经过 Open CV 图像增强运行的水冷机壳壳体内腔缩松图像见图 7。

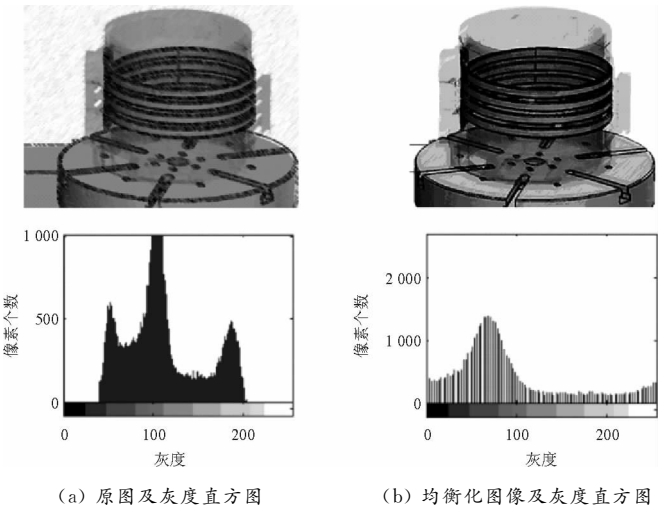


图 6 OpenCV 图像增强运行的水冷机壳铸件内部图

Fig.6 Internal view of water-cooled casing casting operated by OpenCV image enhancement

在进行变换时,先根据扫描原始图像像素计算旧灰

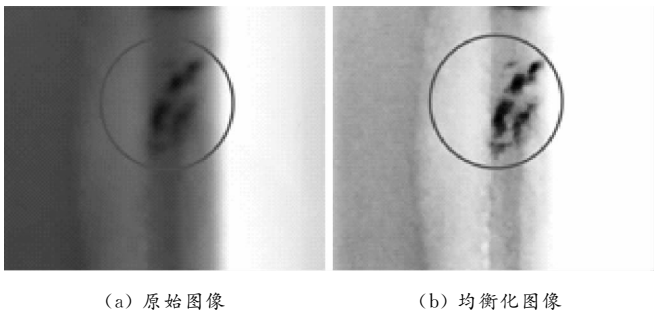


图 7 OpenCV 图像增强运行的水冷机壳壳体内腔缩松图像
Fig.7 Image of shrinkage cavity of the water-cooled casing operated by OpenCV image enhancement

度直方图的灰度值比例,再通过累积分布函数,求出源灰度值到水道空白部分和铝合金组织新灰度值的灰度映射关系。按照所得到的映射关系,对原始图像各个像素进行转换,即可全面更新旧图像的灰度,完成直方图均衡化^[10]。

运用 OpenCV 图像增强技术处理图像,可以使内部组织异常的低压铸件于最短时间内得到识别、剔除及隔离,从而达到品质精细控制。

3 结 语

针对水冷机壳的主要常见缺陷和已有的机壳缺陷检测方法的不足,搭建了基于 X 射线图像技术的水冷机壳缺陷检测系统。该系统能进行高效检测,同时对图像进行增强处理,获得更加清晰、准确的图像结果,辅助技术人员识别、判定水冷机壳内部缺陷。

参 考 文 献

[1] 韩伟,段海峰,童洲,等.电动客车水冷机壳低压铸造工艺设计与优化[J].特种铸造及有色合金, 2020, 40(8): 857-860.
[2] 敖波,周笔文,王婵,等.精铸涡轮叶片 X 射线 CR 成像[J].特种铸造及有色合金, 2016, 36(5): 508-512.
[3] 韩伟,陈宇娜,刘建光,等.水冷机壳低压铸造机器人下芯设计与编程[J].铸造, 2019, 68(4): 402-407.
[4] 李兴捷,朱智. GB/T39638-2020《铸件 X 射线数字成像检测》国家标准解读[J].铸造, 2021, 70(7): 876-879.
[5] 薛蛟,王京京,郑渝,等.阀门铸件射线检测中表面缺陷对检定的影响及对策[J].铸造, 2013, 62(10): 991-994,998.
[6] 王广坤,王化龙.X 射线 DR 技术在铝合金铸件检测中的应用[J].影像技术, 2012, 24(6): 47-55.
[7] 卓辉,韩跃平,郭静.基于 X 射线的气缸套缺陷检测研究[J].自动化技术与应用, 2018, 37(2): 93-96.
[8] 吕金旗.低压铸造轮毂缺陷 X 射线检测系统的原理及应用[J].特种铸造及有色合金, 2013, 33(2): 155-156.
[9] 傅连莺.薄壁铝合金差压铸件的射线检测研究[J].科技与创新, 2021(16): 59-60.
[10] 徐丽,刚铁.铸件缺陷无损检测方法的研究现状[J].铸造, 2002 (9): 535-540.

(编辑:张正贺)