

航空铝合金机匣铸件荧光渗透检测异常显像问题研究

蔡增辉, 申发明, 陈彦宏, 崔岩峰

(中国航发哈尔滨东安发动机有限公司, 黑龙江哈尔滨 150000)

摘要: 在航空铝合金机匣铸件生产过程中, 通常采用吹砂、人工抛磨方式对铸件表面进行清理以去除表面氧化皮、油污、粘砂等问题, 保证铸件的外观质量。但是机匣铸件在热处理后经过荧光渗透检验时, 出现异常显像问题, 极大影响了铸件表面缺陷的判断。通过光学显微镜和扫描电镜对铸件荧光异常显像进行分析, 确定铸件热处理后荧光显像异常的主要原因是吹砂和人工抛磨对铸件表面造成了损伤。通过调整吹砂工艺参数、调整铸件表面清理工序, 最终解决了铝合金机匣铸件的荧光异常显像问题。

关键词: 铝合金; 机匣铸件; 荧光渗透; 吹砂; 抛磨

铝合金具有密度低、强度高、耐蚀性好等优点, 被广泛应用于航空航天结构零部件中^[1-3]。无损检测是检查铝合金产品表面裂纹缺陷的主要手段^[4-5], 其中, 荧光渗透检验是依靠毛细作用, 当铝合金产品表面存在如裂纹、冷隔和气孔等开口型缺陷时, 渗透剂会渗入表面开口缺陷中, 经过冲洗去除附着在产品表面上多余的渗透剂后, 经干燥后施加显像剂, 缺陷中的渗透剂在毛细现象的作用下重新被吸附到零件的表面, 形成放大的缺陷显示, 在黑光灯下观察缺陷处发出黄绿色的荧光显示。

铸造铝合金的表面状态直接影响荧光渗透剂检测结果。在铝合金砂型铸件生产过程中, 铝合金熔体会与砂型发生复杂的物理和化学反应, 导致其表面出现氧化皮及粘砂、凹陷和气孔等缺陷。通常采用人工表面抛磨和吹砂等手段去除铝合金铸件表面氧化皮、缺陷及其他污染物, 以保证铸件外观整洁, 但这些过程都会影响铸件的表面状态, 进而影响荧光渗透检验结果。在生产过程中, 铝合金铸件在经过热处理后, 表面经常出现荧光下异常显像, 显像状态直接影响荧光渗透检验结果。

某型铝合金机匣铸件产品在热处理后荧光检测的结果照片如图1所示。从图中可以看出, 铸件表面呈现出绵密的绿色斑点, 部分位置表现出粉末颗粒感。在这种异常发绿的背景下, 缺陷的显像与背景融为一体, 无法判定是否存在缺陷。本文针对铝合金铸件荧光异常显像问题, 通过试验分析找到了异常显像的影响因素, 最后调整了表面清理工艺方法, 解决了荧光异常显像问题。



图1 铸件表面荧光异常显像

Fig. 1 Abnormal fluorescence phenomenon on the surface of the casting

1 试验过程

选取ZL114A材质的铸件作为典型的铝合金产品代表, 为准确分析不同表面处理工序、工艺参数对ZL114A铝合金铸件表面状态的影响, 设计了多组对比试验, 包括

作者简介:

蔡增辉(1985-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为镁铝合金铸造。电话: 0451-86572678, E-mail: zenghui120000@163.com

中图分类号: TG115.283

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2024)12-1766-05

收稿日期:

2024-05-24 收到初稿,

2024-07-05 收到修订稿。

吹砂及表面抛磨后铸件表面状态对比,不同砂粒尺寸(400 μm 和300 μm)和不同吹砂强度(0.3~0.6 MPa)对热处理前铸件表面的影响,然后对铸件进行荧光渗透检测,对铸件荧光异常显像位置进行剖切,利用光学显微镜和扫描电镜对异常显像位置横截面和表面进行观察分析。

2 结果与讨论

2.1 吹砂工艺对铸件荧光显像的影响

为分析荧光异常显像的原因,对异常显像位置进行了金相和微观扫描电镜分析。荧光背景异常发绿位置剖切横截面的金相如图2所示。在荧光背景发绿位置有明显的黑色破碎异物嵌入铸件表面,在大颗粒异物周围存在与大颗粒异物对比度相同的小颗粒异物。

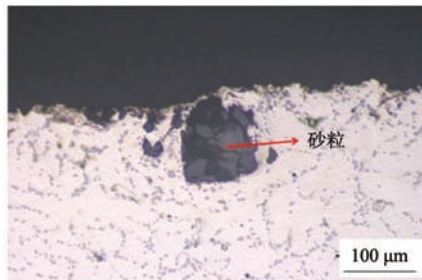
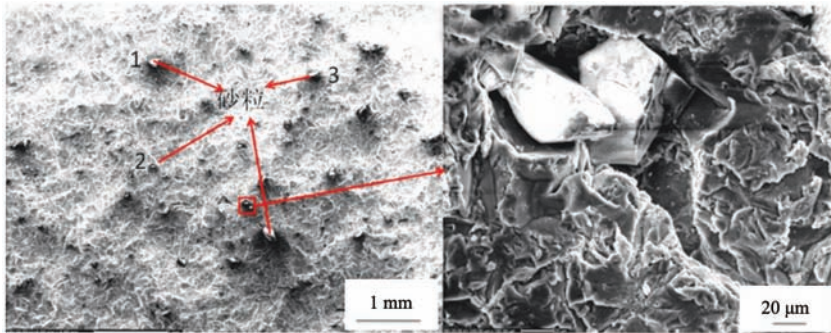


图2 荧光发绿位置的剖切截面金相

Fig. 2 Metallographic section of the section at the fluorescent greening position

为明晰该异物产生的原因,采用扫描电镜对异物的表面形态和成分进行进一步分析,结果如图3和表1所示。从图3a可以看出,荧光异常发绿位置较重的地方,表面密集分布着大小不一的异物,尺寸约为



(a) 表面异物

(b) 异物放大图

图3 荧光发绿位置的表面扫描电镜图片

Fig. 3 Surface scanning electron microscopy images of fluorescent green spots

表1 嵌入异物的化学成分

Table 1 Chemical compositions of embedded foreign objects

测试位置	O	Al	$w_B / \%$
谱图1	50.09	49.91	
谱图2	49.69	50.31	
谱图3	48.91	51.09	

(10~100) μm 。图3b为异物放大后的照片,异物呈现不规则的几何形状,存在较光滑的平面结构,从异物呈现的破碎状态可以判断异物是经过外力压嵌到铸件表面的。图3b显示出异物与铸件组织之间存在间隙,这些间隙可以留存渗透能力较强的荧光液,因此导致荧光背景异常发绿。

异物的成分如表1所示,显示该异物为Al-O的化合物,异物颗粒状明显。典型的铝合金工艺路线如下:震动落砂→表面抛磨→吹砂→X光检测→热处理→吹砂→荧光检测→吹砂→交付。因吹砂的砂粒成分为 Al_2O_3 ,而且吹砂工序存在与铸件表面接触的较大外部

作用力,对吹砂的工艺参数进行试验分析。

以铸态试板为试验对象,在热处理前进行不同吹砂颗粒和不同吹砂强度的吹砂试验,然后进行热处理及荧光显像,结果如图4所示。随着吹砂压力和砂粒尺寸的降低,铸件荧光表面显像趋于正常,当吹砂压力为0.3 MPa和砂粒尺寸为300 μm 时,试板表面无绵密绿点。

进一步通过光学显微镜对试板横截面进行观察,结果如图5所示。从图中可以看出,吹砂工艺对铸件表面的损毁程度有直接影响,砂粒尺寸大和吹砂强度高的情况下,砂粒对铸件表面的侵入较严重,图5a的形貌与问题产品金相形貌一致。

2.2 抛磨工艺对铸件荧光显像的影响

图6为不同抛磨工具对铸件抛磨清理后在荧光下的显示,从图中可以看出,当表面抛磨时,铝合金铸件表面荧光出现较大面积异常发绿。

对抛磨后铸件横截面进行观察,如图7所示。从图中可以看出铸件表面有明显的机械损伤。这是由于铝

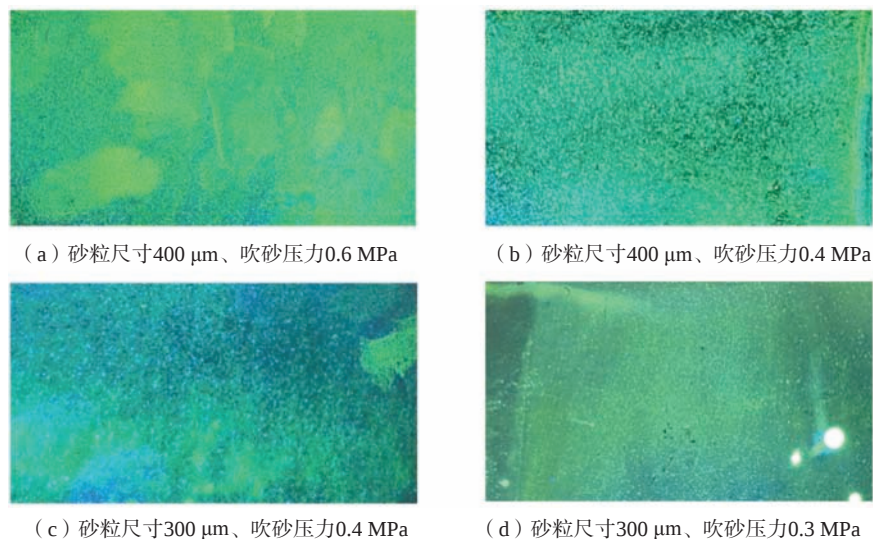


图4 不同吹砂工艺处理的试板表面荧光显像

Fig. 4 Fluorescence imaging of the surface of the test plates treated with different sand blowing processes

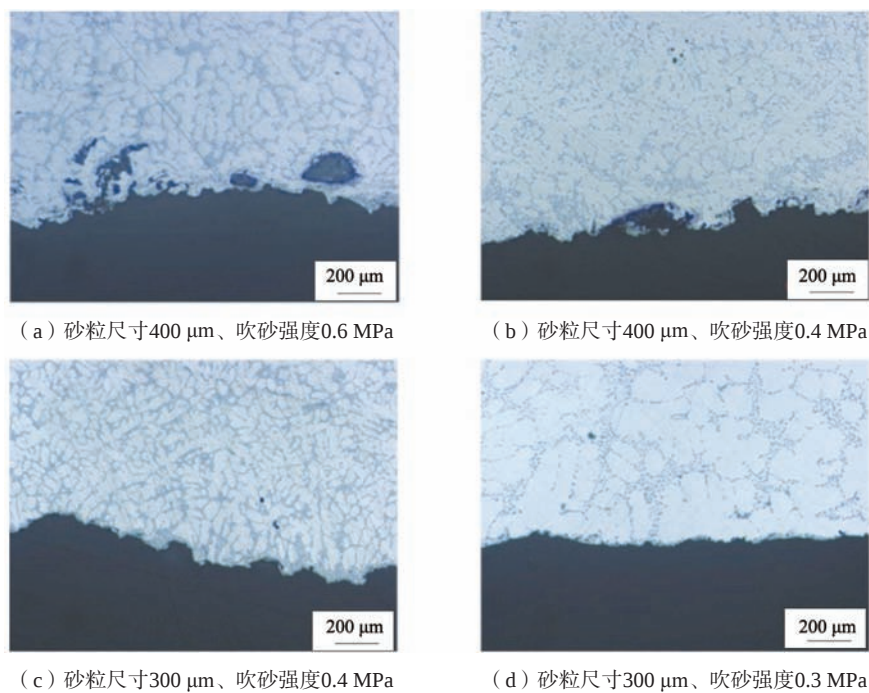


图5 不同吹砂工艺处理的试板表面横截面金相

Fig. 5 Metallographic examination of cross-sectional surfaces of the test plates treated with different sand blowing processes

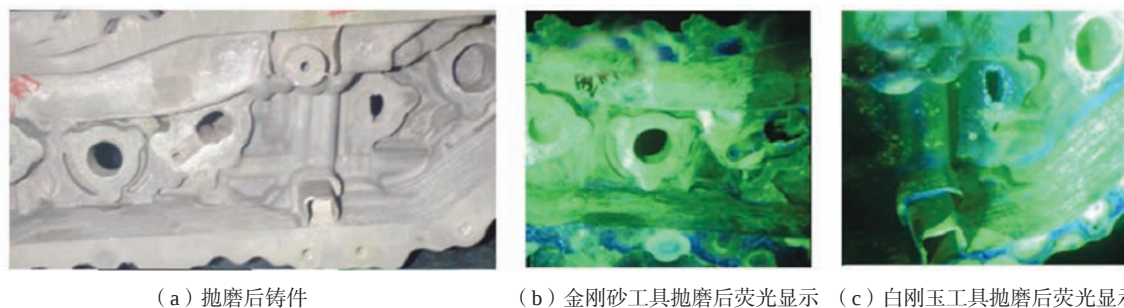
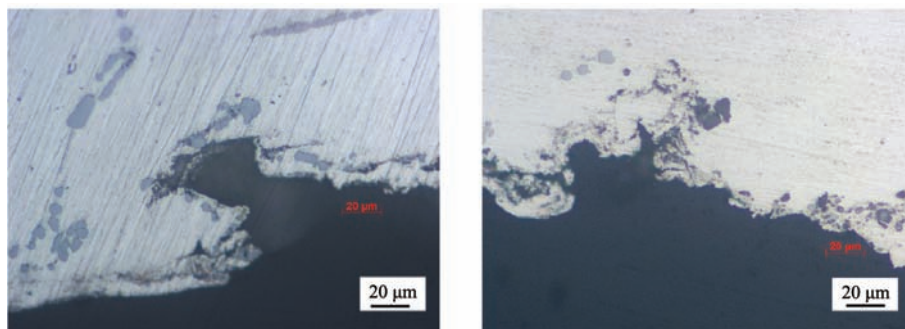


图6 抛磨工具对铸件表面状态的影响

Fig. 6 Effect of polishing tools on the surface condition of the castings



(a) 金刚砂工具抛磨后

(b) 白刚玉工具抛磨后

图7 铸件表面抛磨后横截面

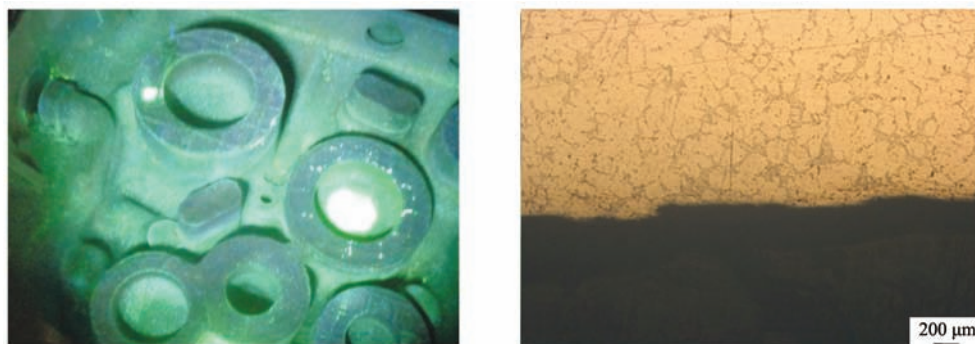
Fig. 7 Cross sections of the castings after polishing and grinding

合金铸件显微组织中的基体在未经热处理时的硬度较低, 仅为HB40左右, 在抛磨过程中, 抛磨位置的铝合金基体容易发生变形和卷曲等损伤。这些损伤在经过热处理过程的膨胀和收缩后会产生缝隙, 易造成荧光液残留, 进而产生荧光异常显像。

从图5和图7对比还可以看出, 吹砂和抛磨对铸件表面的影响有明显的差异。吹砂工艺是将砂粒通过高流速的压缩空气打击到铸件表面, 所以其对铸件表面的损伤主要靠具有较高动量的砂粒, 部分砂粒冲击在铸件表面时会嵌入铸件。而抛磨工艺是抛磨工具通过

剪切力对铸件表面破坏, 相对于吹砂造成的相对平整破坏, 抛磨后的表面变形和扭曲更加明显。

根据上述分析, 热处理前对铸件进行表面抛磨会造成表面堆叠, 当铸件经过热处理后, 其显微组织中的基体硬度得到提升, 在抛磨过程中可以抵抗塑性变形, 防止铸件表面产生间隙。因此, 通过将表面抛磨工序调整至热处理后进行, 荧光异常显像现象将得到改善。图8为热处理后的铸件经过抛磨后的荧光检测照片, 从铸件的荧光检测结果来看, 铸件表面未出现荧光异常显像现象。



(a) 荧光显像结果

(b) 横截面金相

图8 改善后合金铸件

Fig. 8 Improved alloy castings

3 结论

(1) 吹砂工艺对铝合金铸件表面荧光显像有较大影响, 铸件热处理前吹砂所用砂粒直径应不高于300 μm, 吹砂压力不高于0.4 MPa。

(2) 热处理前对铝合金进行表面抛磨, 会对铸

件表面产生较大损伤, 损伤位置的基体易产生缝隙, 进而造成热处理后荧光异常显像。将抛磨工序移到热处理工序后, 可以有效解决铸件荧光检测异常显像问题。

参考文献:

- [1] 熊艳才, 刘伯操. 铸造铝合金现状及未来发展 [J]. 特种铸造及有色合金, 1998 (4): 1-5.
- [2] 熊柏青, 闫宏伟, 张永安, 等. 我国航空铝合金产业发展战略研究 [J]. 中国工程科学, 2023 (25): 88-94.
- [3] 熊俊杰, 李 尹, 冯志军, 等. Al-Si 系铸造合金热处理工艺研究进展 [J]. 铸造, 2022 (5): 544-550.
- [4] 刘甜甜, 徐桂荣, 迟天佐, 等. 荧光渗透检测法在铝合金件上的应用及分析 [J]. 兵器材料科学与工程, 2021 (11): 118-122.
- [5] 褚宏宇, 于玉杰, 高婧, 等. 渗透检测在铝合金车体中的实际应用 [J]. 焊接, 2015 (1): 61-63.

Research on Abnormal Imaging Problems in Fluorescence Detection of Aviation Aluminum Alloy Case Castings

CAI Zeng-hui, SHEN Fa-ming, CHEN Yan-hong, CUI Yan-feng
(AECC Harbin Dong'an Engine Co., Ltd., Harbin 150000, heilongjiang, China)

Abstract:

In the production process of aluminum alloy aircraft case castings, sand blowing and mechanical polishing are usually used to clean the surface of the castings to remove surface oil stains, sand sticking and other issues, ensuring the appearance quality of the castings. However, during the fluorescence penetration inspection of the gearbox castings after heat treatment, abnormal imaging problems occurred, greatly affecting the judgment of surface defects in the castings. This article analyzed the abnormal fluorescence imaging of the castings through optical microscopy and scanning electron microscopy, and determined that the main reason for the abnormal fluorescence imaging of the castings after heat treatment was mechanical damage to the surface of the castings caused by the sand blowing and surface polishing. By adjusting the sand blowing process parameters and adjusting the casting surface cleaning process, the problem of the abnormal fluorescence imaging in the aluminum alloy casing castings after heat treatment was ultimately solved.

Key words:

aluminum alloy; case castings; fluorescence detection; blowing sand; polishing and grinding
