

DOI: 10.11973/wsje202003006

改善某机涡轮叶片荧光渗透检测背景过度的试验

徐亚亚, 刘兴勇, 曾庆川, 田锦娟

(中国航发动力股份有限公司 无损检测中心, 西安 710021)

摘要: 荧光渗透检测某机高压涡轮叶片时, 批量性出现荧光背景过度导致无法检测叶片的问题。采用理论和工艺试验相结合的方法, 分析了荧光背景过度产生的原因, 制定了有效的解决方法, 较好地改善了该高压涡轮叶片的荧光背景。

关键词: 荧光渗透检测; 荧光背景; 晶粒度腐蚀; 吹砂

中图分类号: V232.4; TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2020)03-0026-03

Improvement of fluorescent background in FPI for turbine blade of aero-engine

XU Yaya, LIU Xingyong, ZENG Qingchuan, TIAN Jinjuan

(NDT Center, AECC Xi'an Aero-Engine Co., Ltd., Xi'an 710021, China)

Abstract: In the course of the fluorescent penetration inspection for engine turbine blade, appearance of over-fluorescence background will lead to the failure in fluorescence detection for blade. In this paper, the method of combining theory and process test is adopted to analyze the cause of over-fluorescence background, and an effective solution is worked out. Test showed that such solution could greatly improve performance of the fluorescence background for the high-pressure turbine blade.

Key words: fluorescent penetration inspection; fluorescent background; grain size corrosion; blasting

飞机发动机中涡轮叶片的工作条件非常恶劣, 在服役过程中, 既要承受复杂的应力, 又要耐受高温腐蚀, 因此涡轮叶片属于故障率较高的零件之一。在制造过程中, 设计要求采用高灵敏度的荧光渗透检测(FPI, Fluorescent Penetration Inspection)^[1-2]方法对所有表面进行检测, 以可靠地检测出其表面微小缺陷。

此方法检测缺陷的原理是: 在黑光照射下, 依靠缺陷处荧光显示与零件深蓝紫色(金属件)背景之间形成的较大对比度来识别缺陷。如零件出现过度荧光背景, 就会减小缺陷显示和检测背景之间形成的对比度, 从而降低人眼对缺陷显示的识别度, 最终可能导致缺陷漏检。笔者采用理论和工艺试验相结合

的方法, 分析了荧光背景过度产生的原因, 制定了有效的解决方法, 较好地改善了该高压涡轮叶片的荧光背景。

1 问题介绍

某机叶片材料为高温合金, 形状较为复杂, 为了获得相对准确的叶片形状和较高的铸造精度, 通常采用 100% 精铸成型工艺。通常, 该工件成型制造过程分为铸造和机械加工两个阶段。众所周知, 铸造工艺和机械加工工艺通常会产生表面缺陷, 这类缺陷对于航空类工件来说是不容许的。为了保证零件的表面质量, 按照设计图纸要求, 分别在零件的铸造和机械加工阶段各设置了两 FPI^[3]。

然而, 实际在叶片的铸造阶段, 检测部门在铸件成型后的第一次 FPI 后多次返工, 原因是被检零件表面的荧光背景过重, 使得后续的荧光检测无法进行, 甚至严重影响到零件的交付周期。

收稿日期: 2019-10-28

作者简介: 徐亚亚(1976—), 女, 本科, 高级工程师, 主要从事航空发动机部件的无损检测工作

通信作者: 徐亚亚, xyyluck@163.com

针对上述问题,笔者在零件第一次荧光渗透检测前的“晶粒度腐蚀”工序和“荧光渗透检测”工序之间增加了“吹砂”工序,较好地改善了该叶片的荧光渗透检测背景过度的问题。

2 零件荧光渗透检测情况

由于该零件属于关键重要件,设计图纸要求对其进行高灵敏度的 FPI。

结合零件的制造工艺及表面状态,在检测时宜采用后乳化 3 级灵敏度的 FPI 工艺,预清洗采用水基清洗的方法。

检测过程中,叶片出现过度荧光背景的阶段为 FPI 工艺处理后,在黑光灯下观察,零件所有表面呈现出较均匀的黄绿色荧光背景(见图 1)。该背景经过擦拭后,显示为深蓝紫色,但放置了一段时间后,此荧光背景重现。在白光下观察,零件表面无异常(见图 2)。

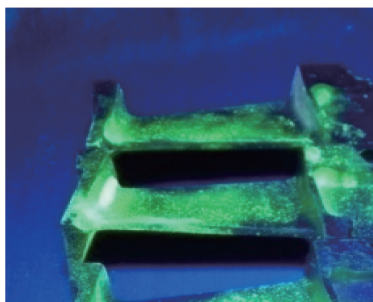


图 1 零件在黑光下的状态



图 2 零件在白光下的状态

3 成因分析

依据理论知识及现场工作经验可知,荧光渗透检测时,影响零件产生荧光背景的因素主要有:① 零件表面有污染物(包括目视不可见的污染物);② 零件表面有吸附性涂层或镀层;③ 渗透前腐蚀工序的影响。针对上述原因可能产生的环节,笔者进行了以下的测试工作。

首先,由于对该零件进行荧光渗透检测前需采

用水基清洗的方式对工件进行清洗,所以针对影响因素①,先从预清洗工艺着手,复查了该零件荧光渗透检测前的预清洗工艺程序。为此,相关人员对出现问题的该批零件重新进行了彻底清洗,在保证清洗工艺合格的情况下,再次对其进行荧光渗透检测工艺处理。但对于经过该工艺处理后的工件,在暗室下未发现与初次检验相同的背景,因此排除了叶片表面存在污染物的原因。

其次,针对影响因素②,相关人员复查了该零件的铸造工艺(其一般工艺流程为:熔炼与浇注-脱壳-切割与打刻标记-初检-化学除芯-吹砂-力学性能检测-打磨修整-吹砂-表面检查-内腔检查-晶粒度腐蚀-荧光渗透检测-X 射线检测-显微疏松检查-外观检验-尺寸检验-吹砂-冷腐蚀-荧光渗透检查-入库),经过全面的流程复核后发现,在零件铸造过程中没有任何会产生涂层或镀层的表面处理工艺。

由于该零件在进行荧光渗透检测前需要进行“晶粒度腐蚀”,问题很有可能出在晶粒度腐蚀的过程中,因此对该零件的腐蚀工艺流程进行了重点分析。

荧光渗透检测前安排“腐蚀”工序的原因为:荧光渗透检测能检出的缺陷类型为表面开口性缺陷(即缺陷本身是开口性的),在现实中缺陷的开口会因各种原因被堵塞,致使渗透液无法通过渗透工序进入缺陷,最终导致缺陷无法被检出。因此,为给渗透检测提供清洁、有效的“表面开口”,使渗透液能最大程度地进入缺陷,特别是对于某些关键零件,或者对于设计图纸要求较高检测灵敏度的零部件,一般要求在进行荧光渗透检测前安排腐蚀工序。

3.1 腐蚀工艺

复查该叶片的腐蚀工艺发现该零件在铸造阶段共经历过 2 次腐蚀工序,其区别在于第一次为晶粒度腐蚀,第二次是专为荧光渗透检测做准备的冷腐蚀。

进一步复查该叶片晶粒度腐蚀与冷腐蚀工艺的具体工艺参数(见表 1),比较两者的工艺参数可知,所用溶液的名称及浓度(配比)相同,其不同点在于溶液温度和腐蚀时间。从表 1 可知,相对于冷腐蚀,晶粒度腐蚀时温度较高,且腐蚀时间长。

对于冷腐蚀工艺,其腐蚀程度较低,材料去除量较少;而对于晶粒度腐蚀工艺,其腐蚀程度比冷腐蚀的要重,表面状态较冷腐蚀的相对较差。

依此推断:该零件批次性出现过度荧光背景可能是由渗透前的晶粒度腐蚀工序造成的。

表1 两种腐蚀的工艺参数

工艺名称	溶液名称	溶液质量浓度/(g·L ⁻¹)	温度/℃	时间/min
晶粒度腐蚀	FeCl ₃ ·6H ₂ O	FeCl ₃ ·6H ₂ O:250~300	45~50	6~10
	某酸	某酸(36%~38%):100~120		
冷腐蚀	FeCl ₃ ·6H ₂ O	FeCl ₃ ·6H ₂ O:250~300	25	1.5~2
	某酸	某酸(36%~38%):100~120		

3.2 试验验证

将被检测叶片表面状态相同的报废叶片按照正常叶片的晶粒度腐蚀工艺参数进行处理,且进行荧光渗透检测工艺处理后,在暗室黑光下观察时,发现叶片表面呈均匀的黄绿色(见图3),其背景情况和问题批叶片的基本相同。

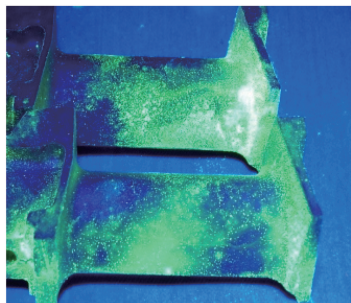


图3 黑光下叶片表面的黄绿色背景

将被检测叶片表面状态相同的另外一些报废叶片按照正常叶片的冷腐蚀工艺参数进行处理后,进行荧光渗透检测处理操作,在暗室黑光下观察时,发现叶片表面呈现良好的深蓝紫色背景(见图4)。

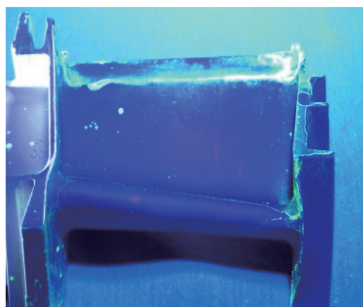


图4 黑光下叶片深蓝紫色检测背景

试验结果表明:将冷腐蚀后的叶片进行荧光渗透检测时背景良好;而对晶粒度腐蚀后的叶片进行荧光渗透检测时,叶片呈现过度的荧光背景(和问题批叶片类似)。

因此可判定:该叶片表面荧光背景过重是晶粒度腐蚀工序造成的。

3.3 采取的措施

铸造车间一般采用吹砂的方法来改善叶片表面的粗糙度,而荧光渗透检测的相关规范规定:当

采用吹砂的方法对零件表面进行预处理时,如果采用的砂粒足够细(粒度150目或更细),则吹砂可作为一种合格的渗透检测前的预处理方法。

针对该问题批叶片,采用吹砂的方法来改善其表面状态,即在叶片晶粒度腐蚀工序后增加吹砂的方法,不但可以降低零件表面的粗糙度,而且能使零件表面形成比较均匀、细致的“麻面”。此“麻面”在进行荧光渗透检测时可得到良好的检测背景。

相关规范还规定,在铸件的铸造阶段,应至少安排一次荧光渗透检测前的腐蚀工序。由于该零件在荧光渗透检测前安排了一次冷腐蚀工序,充分暴露了缺陷,所以从保证该叶片的荧光检测质量上来说,最后一道腐蚀工序的安排完全能保证铸件入库前的检测质量。

经过前期的试验和分析,拟在叶片的“晶粒度腐蚀”和“荧光渗透检测”工序之间增加一道“吹砂”工序(粒度150目或更细),因此该叶片的铸造工艺可调整为:熔炼与浇注-脱壳-切割与打刻标记-初检-化学除芯-吹砂-力学性能检测-打磨修整-吹砂-表面检查-内腔检查-晶粒度腐蚀-吹砂-荧光渗透检测-X射线检测-显微疏松检查-外观检验-尺寸检验-吹砂-冷腐蚀-荧光渗透检测-入库)。经过以上分析,调整后的检测工艺不但可以改善叶片的表面粗糙度,而且通过荧光渗透检测前的冷腐蚀工序,能保证其检测质量。

4 效果验证

在制定了以上改进措施后,对现场出现过重荧光背景的叶片增加吹砂的方法进行返修,返修后重新进行荧光渗透检测工艺处理,在暗室的黑光灯下观察,叶片无缺陷显示的部位呈现良好的深蓝紫色背景。为了进一步验证改进效果,相关人员对调整工艺流程后的后续叶片的相同荧光渗透检测工序进行了跟踪(结果见表2),结果表明,通过此工艺流程的调整,相同的问题再未发生。

(下转第80页)

表 2 相控阵超声检测数据汇总

mm

检测顺序	检测方法	缺陷数据				
		距离端面	距离外圆面	自身高度	周向长度	轴向长度
1	二维面阵探头端部垂直面阵三维检测	78.9	—	—	—	—
2	一维线阵探头外圆面轴类切面成像检测	78.9	—	—	5.6	—
3	一维线阵探头外圆面横波斜探头检测	78.9	4.9	6.4	5.8	14.5

实施提供依据。对发现缺陷的区域进行轴类切面成像检测, 可以获得缺陷圆周方向的尺寸, 并且进一步缩小检测范围。最后, 利用横波斜探头沿外圆面轴向扫查, 对缺陷进行三维动态成像, 对缺陷进行精确测量和成像, 最终获得缺陷自身高度、轴向尺寸等关键数据, 并且从表 2 中可以发现 3 种方法的检测数据可以很好地相互印证。

为了验证检测结果和消除缺陷, 在距离端面 70 mm 处进行了线切割解剖验证。缺陷解剖结果如图 8 所示, 在距离外圆面 4.5 mm 处发现了该缺陷, 缺陷轴向长 14 mm, 圆周方向长 5 mm, 缺陷形貌与图 6, 7 中的俯视图极为相似; 继续打磨该缺陷, 打磨

至距离外圆面 7 mm 时, 该缺陷消失。

通过解剖缺陷, 进一步验证了相控阵超声检测结果的准确性。

3 结语

相控阵超声检测技术在仪器、各类型工艺软件标准和应用等方面日益成熟, 从而受到广泛的关注, 在特种设备领域的应用需求也不断增加。伴随着国内涉及该技术应用的相关法规标准的发布, 相控阵超声检测技术在特种设备、石油石化、电力等领域的应用被正式认可。

文中案例是相控阵超声技术在轴类键槽磨损修复中的成功应用, 可以实现对电机转子键槽堆焊修复部位内焊接缺陷的有效检测和精确定量, 为轴类键槽堆焊修复的检测工作提供了新思路。

参考文献:

- [1] 刘宪. 内燃、电力机车在役车轴超声波探伤[J]. 无损检测, 2006, 28(12): 662-667.
- [2] 牛卫飞, 姜斌, 韦晨. 超声相控阵在游乐设施轴类检测中的应用[J]. 无损检测, 2013, 35(6): 14-17.

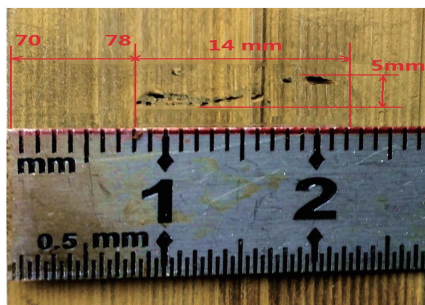


图 8 缺陷解剖结果

(上接第 28 页)

表 2 叶片检测情况

批次	数量/件	结果
...18M09...	400	无过重荧光背景
...18M10...	349	无过重荧光背景
...18M11...	210	无过重荧光背景
...18M11...	82	无过重荧光背景
...18M11...	329	无过重荧光背景
...18M11...	413	无过重荧光背景
...18M11...	425	无过重荧光背景
...18M12...	428	无过重荧光背景

5 结语

对某机涡轮叶片进行荧光渗透检测时出现的荧

光背景过度的原因进行了分析, 得知这是由荧光渗透检测前的晶粒度腐蚀工序造成的。要达到既能改善零件荧光检测背景的目的, 又能保证叶片的荧光渗透检测质量, 采用在叶片的“晶粒度腐蚀”和“荧光渗透检测”工序之间增加一道“吹砂”工序, 可有效解决该问题。

参考文献:

- [1] 周兆, 白海龙, 张泽彪, 等. 荧光渗透法无损检测的原理与应用[J]. 实验科学与技术, 2009, 7(1): 50-53.
- [2] 董务江, 胡诚, 冯佩军. 荧光渗透检测中渗透温度对灵敏度的影响及其对策[J]. 无损检测, 2017, 39(9): 80-83.
- [3] 苏清风, 戴雪梅, 朱晓星. 某型高压涡轮工作叶片的荧光渗透检测工艺改进与细化[J]. 无损探伤, 2010, 34(3): 30-32.