

航空制件水洗型荧光渗透检测典型应用问题分析研究

Research on Typical Issues From Water-Wash Fluorescent Penetrant Inspection (FPI) of Aviation Parts

中航工业北京航空制造工程研究所 韩立恒 周炳如 冯小杰

[摘要] 针对叶片、紧固件、外涵道金属铸件、等离子喷涂件4类航空制件,水洗荧光渗透检测时在预清洗、渗透、水洗、烘干、检验等流程中遇到的实际问题,展开分析研究并提出了有效的解决方案。针对叶片类零件榫头及气道口粘附的防护胶粘物难以去除,提出了首先采用SKC-S型去除剂局部集中擦拭去除粘胶物,再整体进行水基清洗剂超声波清洗的方案;针对紧固件表面油污、线切割零件表面的金属屑油污较难清理,提出了增加上一工序车间初级清洗的方案;针对紧固件、外涵道金属铸件等零件烘干不均匀的问题,提出了对零件按规格形状相似相近进行分类并按不易积液的方式摆放优化烘干效果的方案;针对外涵道金属铸件特殊部位、等离子喷涂零件涂层部位缺陷显示不易识别的问题,提出了对不易识别的显示采取丙酮擦拭、重新处理法及实际经验相结合的手段保证显示的准确快速识别和解释。这些方案的应用,优化了检测工艺,保证了检测的有效性 & 可靠性,提高了检测效率。

关键词: 航空制件 水洗型荧光渗透检测 预清洗 干燥 检验

[ABSTRACT] In this paper, practical issues which are encountered in the pre-cleaning, penetration, water rinse, drying and examination process involved in the parts water-wash FPI in aviation are studied and analyzed. The parts include blades, fasteners, external duct castings and plasma sprayed products. And the effective solutions are presented correspondingly. To clean off the glue on the blade's tenon and airway, we suggest using SKC-S detergent to wipe off the glue first, and then using ultrasonic cleaning for the whole blade. For heavy oil and metal particle contaminations on the fasteners and linear cutting parts, we add prior machining workshop cleaning for evident contamination. To solve the problems in parts uneven drying of fasteners and external duct castings, we classify parts according to the specifications and shape similarity, and placed them into work fixture in a certain angle that liquid drains off easily. For the difficulty examination of

indications from plasma spraying layer and external duct castings, we take steps including wiping the indication with a acetone-dampened swab or brush, re-processing or necessary practical experience to ensure a quick identifying and interpreting. Finally, all the testing process have been optimized, the validity and reliability have been insured, and the inspection efficiency have been improved greatly.

Keywords: Aviation parts Water-wash FPI Pre-cleaning Drying Examination

DOI:10.1680/j.issn1671-833x.2015.S2.077

荧光渗透检测技术是五大常规无损检测方法(射线检测,超声波检测,磁粉检测,渗透检测,涡流检测)中渗透检测方法的技术之一。因其对表面开口缺陷拥有较高的检测灵敏度和检测可靠性,以及受被检零件材质、结构影响较小、检测结果直观等优点,在航空航天产品的表面开口缺陷检测中得到广泛的应用。随着航空航天技术的不断发展,高温合金、钛合金、铝合金、镁合金等非铁磁性材料被广泛应用,以及未来高推重比航空发动机对新型轻质耐高温结构材料的需要^[1-2],荧光渗透检测技术在航空航天领域的应用需求也愈加明显。荧光渗透检测技术包括水洗型荧光渗透检测技术及后乳化型荧光渗透检测技术。水洗型荧光渗透检测操作容易,检测灵敏度高,工艺流程相对简单,在能保证检测灵敏度要求的前提下被广泛应用于航空航天产品表面开口缺陷的检测。

荧光渗透检测的基本原理是基于液体毛细作用。将含有荧光染料的渗透液施加于零件表面,毛细作用下渗透液将渗入零件表面的开口缺陷中,保持适当的渗透剂停留时间后,清洗去除零件表面多余的渗透液并恰当干燥零件表面,然后快速在零件表面均匀施加一薄层显像剂材料,同样在毛细作用下,缺陷中的渗透液将反渗入显像剂颗粒缝隙中,最终吸附在零件表面形成缺陷显示。在黑光灯下观察,即可看到缺陷位置的黄绿色显示。通过对显示的评定,即可获得零件表面质量状况。

渗透检测的一般过程包括表面准备、渗透、多余渗透液去除、干燥、显像及检验。水洗型荧光渗透的基本工艺流程如图1所示^[3]。

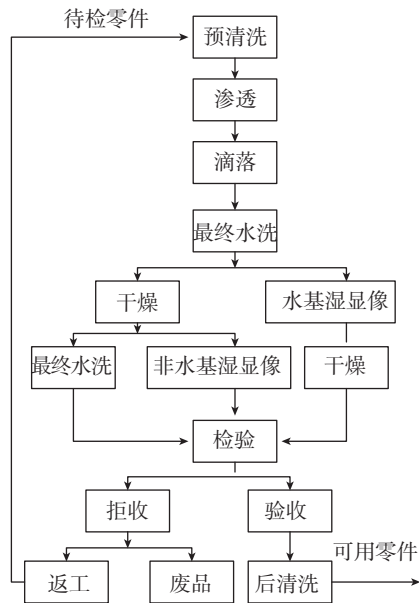


图1 水洗型荧光渗透检测技术的基本工艺流程
Fig.1 Process flow chart for water washable FPI

荧光渗透检测的基本原理及检测材料的性能特点决定了荧光渗透检测工艺各流程的严格控制、检测材料的有效性^[4]、检测人员技术水平都是保证荧光渗透检测结果有效可靠的关键因素。在检测材料有效,检测系统稳定的前提下,零件表面污染物的彻底清洗、渗透液的较好滴落、表面多余渗透液的适当去除、零件的均匀适宜干燥及检验员的实际经验是直接影响检测效果,保证检测灵敏度的关键因素。实际应用中,采用同样的检测技术针对不同的产品进行检测时,可能在各流程遇到一些共性的问题,检测人员要结合产品自身特征、检测技术要求对问题进行分析,采取适宜特定产品的解决措施,才能保证检测有效可靠以及高效率地开展。

1 几类航空制件在实施检测过程中遇到的典型问题

叶片、紧固件、外涵道金属铸件、等离子喷涂零件是当前常见的、广泛采用水洗型荧光渗透检测的航空制件。由于其加工成形方式、型号规格、结构状态的多样化及特殊性,在实施水洗型荧光渗透检测过程中遇到了表面预清洗不彻底、干燥不均匀、显示不易识别等典型问题。

叶片是飞机发动机的关键部件之一,随着航空制造技术不断发展,叶片的成形加工方式也在快速发展,从传统的铸造、锻造加工、切磨削加工制造技术,到先进

的数控加工技术、新型的超塑成形/扩散连接制造技术以及激光/电子束快速制造技术^[5]。叶片光洁的表面成形特性基本保证了在荧光渗透检测阶段具备良好的表面状态,但由超塑成形/扩散连接技术制造的叶片,在制造加工过程中为防止叶片表面划伤和防止有害物质通过气道进入叶片内部从而损伤产品或影响其性能等原因,在流转至荧光渗透检测工序时常发现在零件表面粘附或残留无法采用常规的超声波清洗方法去除的粘胶类物质。另外,对经过线切割加工的整流叶片零件,在零件表面残留的切削液及金属屑残留物难于清洗且造成预清洗槽液的严重污染。

航空用紧固件在制造技术及使用性能上都有着更高的要求,材料涵盖铝合金、钛合金、高温合金等多种材料。常见紧固件有普通螺栓、高锁螺栓、直角管接头、三通管接头等,规格则更加多样。紧固件成形过程包括墩锻、精粗磨削、滚压圆角、螺纹加工等多个环节,其中磨削、螺纹滚丝加工等工序后零件表面会带有严重油污金属屑,不易在短时间内彻底清洗且对预清洗槽液污染严重。同时,紧固件在荧光渗透检测过程常出现在渗透液滴落后、多余渗透液去除(水洗)后存在液体积留现象,在长时间干燥后存在干燥不充分、不均匀的现象。

外涵道金属铸件是航空航天广泛采用的精铸钛合金零件之一。主要有安装座、支座、接口等小型装配零件,由精密铸造及局部机械加工制造成形,形状结构复杂(多含有通孔、凹槽、盲孔、内螺纹结构),规格多样。同类型不同批次产品存在缺陷复现性(等同位置出现类似缺陷),且部分显示不易识别。实际检测时,在渗透液滴落后、多余渗透液去除(水洗)后或较长干燥时间后也存在液体积留现象以及长时间干燥后干燥不充分、不均匀的现象。

等离子喷涂零件如旋翼轴、垂直轴、尾桨操纵轴等轴类零件是直升飞机的关键部件,局部涂层物质可以增强零件承载部位耐磨耐高温等性能,极大提高零件安全使用性能和寿命。轴类零件关键部位经WC等离子喷涂及对涂层进行高精度磨削加工后,在零件表面形成了极薄(约0.15~0.25mm)且光滑的疏松或致密涂层。薄而光滑的涂层常易于产生极小的微裂纹缺陷,经过荧光渗透处理后获得的缺陷显示微弱、轮廓模糊,难于识别。

2 问题分析及方案验证

2.1 表面预清洗

渗透检测材料的性能特点要求施加渗透液前必须保证待检测零件(整体检测)或检测部位及周边一定区域内(局部检测)的清洁干燥。但在实际检测中,检测人员接收的待检测产品都存在不同程度的污染,如上述的

叶片类零件榫头及气道口粘附的防护胶粘结物、螺栓及管接头表面的油污、线切割零件表面的金属屑油污等较难清理的污染,给检测人员带来较大清洗难度。

检测现场日常采用的清洗手段主要为丙酮擦洗或浓度为5%~10%的Daraclean282清洗剂常温超声波清洗(频率28kHz)。实验证明上述手段无法去除防护胶残余粘结物(对渗透液拖带严重,易于引起虚假显示及不合格观察背景),而在清洗油污及金属屑油污时需要的时间过长(至少15min),同时对清洗液污染严重且不能达到满意的清洗效果。

试验发现,SKC-S型溶剂去除剂对防护胶残余粘结物的去除效果较好,将去除剂喷涂至不掉毛清洁布上,集中擦拭粘胶部位即可去除。首先去除粘胶物,再对产品整体进行水基清洗剂超声波清洗,水清洗后获得满意的水膜效果。

针对表面油污及油污金属屑问题,通过与送检部门沟通,要求送检部门在送检前对零件进行初级清洗,保证检测人员接收到的产品不存在明显的油污等污染物。经过清洗试验,由送检部门清理过的产品经浓度为5%~10%的Daraclean282清洗剂常温超声波清洗10min即获得了满意的水膜试验效果。顽固污染物的有效清理及清洗时间的缩短,保证了检测有效性并提高了检测效率。

2.2 零件的渗透、水洗、烘干

渗透前零件的彻底烘干及显像前零件的干燥也是保证检测有效性并保护检测材料性能的关键。

观察工艺操作过程,发现紧固件在超声波清洗处理后(由于液体的浮力作用、工件框的倾斜移动等)容易出现零件聚集、堆积现象。对于外涵道金属铸件主要为零件上的凹槽、盲孔等异形结构处易于积液,零件相互搭接处不易干燥。

试验发现若在开始干燥前将聚集的紧固件重新均匀分布于零件框内,即可保证零件均匀干燥。对外涵道金属铸件,考虑其规格、形状的多样复杂性可能是影响干燥效果的首要因素,特对产品按规格、结构相似相近给予分类,并将零件的凹槽、盲孔按不易积液的角度均匀单层摆放(参见图2),最终在尽可能短的时间内获得了均匀的干燥效果。即通过分类、分批及改善零件在工件框内的摆放角度,配合采用不大于0.17MPa的压缩空气吹去表面多余水珠的方式,零件在设定温度为62℃的热风循环烘箱中干燥10min即可达到均匀的干燥效果。

干燥时间的缩短以及均匀的干燥效果,不仅优化了干燥参数,在渗透液滴落、去除多余渗透液的水洗阶段也表现出很大优势,渗透液滴落效果好,清洗效果均匀,

大大减少手工补洗的需求,也避免了清洗不足、过清洗、干燥不足、过干燥等直接影响检测灵敏度的情况发生,从多方面优化了检测工艺,提高了检测效率并保证了更好的检测灵敏度。



(a) 外涵道金属件

(b) 紧固件

图2 外涵道金属铸件、紧固件FPI渗透液滴落

Fig.2 Penetrant dipping for FPI of the bypass metal castings and fasteners

2.3 零件的检验

零件的检验即检测人员识别荧光显示、对显示进行解释,以及按产品验收标准进行验收/拒收评定处理的过程。其中显示的识别、解释是基础也是关键。

等离子喷涂涂层部位的特点是涂层薄,涂层表面极其光滑且可能存在疏松现象,检测时发现缺陷显示微小且轮廓特征不明显,难于观察。外涵道金属铸件则在零件A位置(该区域也常发现明显裂纹显示)容易出现微弱断续的点、线状显示,在零件的B位置有时发现面积形荧光显示,位置示意如图3。

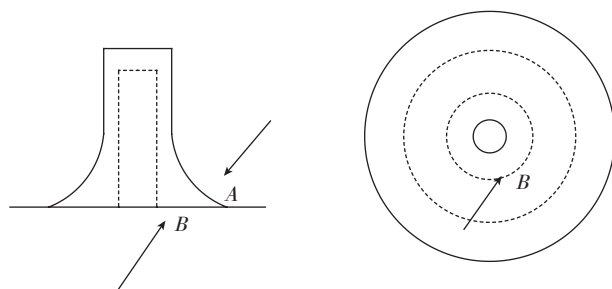


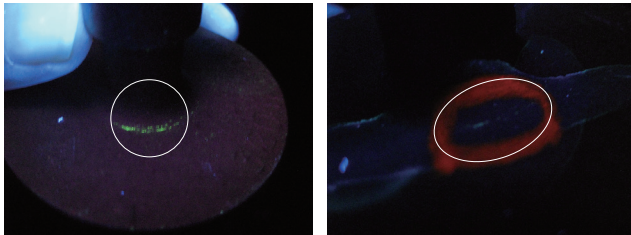
图3 外涵道金属铸件荧光显示位置示意

Fig.3 Drawing of site for fluorescent indication of the bypass metal castings

对外涵道金属铸件位置A区发现的微裂纹显示进行二次显像处理后(即用蘸有丙酮的棉签擦拭显示后,重新施加显像粉进行显像),显示更加微弱,甚至略呈现淡蓝色(如图4所示),考虑该区域属于复现性缺陷易发区,进一步验证显示的真伪性非常必要。故将零件彻底清洗,重新进行荧光渗透检测处理,显像后得到与第一次获得的原始显示相同的结果。因此可以判定,此显示为真实缺陷显示,显示特征为微裂纹缺陷。对于位置B区的面积形显示,类似凹槽内未清洗掉的渗透液积液污染引起的显示,当用沾有丙酮的毛刷擦拭后,立即显现

裂纹缺陷。因此,遇到这些类型的显示都应慎重处理。

对于等离子喷涂零件喷涂位置可疑的显示,使用沾有丙酮的棉签或绸布擦拭显示后,显示立即呈现明显的裂纹或疏松特征(如图5所示)。擦拭过程中发现,涂层表面裂纹、疏松特征立即明显呈现以及缺陷显示由无到有甚至逐渐变粗失去轮廓特征的过程。可以得出,使用沾有丙酮的绸布(丙酮不可浸透绸布)擦拭该等离子喷涂涂层部位的原始显示,无需二次显像即可获得更清晰的缺陷显示。这与该涂层极薄(约0.15~0.25mm)、光滑、疏松的结构特点以及缺陷细小,可能的高深宽比特征密切相关。



(a) 原始显示 (b) 二次显像显示

图4 外涵道金属铸件微裂纹缺陷原始显示与二次显像对比

Fig.4 Comparison of the original indication and second developing indication of the bypass metal castings

对外涵道金属铸件中点、线状显示的解释综合应用了二次显像、重新处理被检测零件的方法,且结合检测人员实际经验,判定了显示的真伪,保证了检测的可靠性,同时相应的验证结果可进一步帮助检验员对类似的显示做出更快更准确的解释。采用丙酮擦拭法,避免了外涵道金属铸件中裂纹缺陷内渗透液扩散引起的缺陷掩盖,提高了等离子喷涂涂层部位显示的识别度。这些方案的采用,使得显示的识别、解释更快更准确,保证了检测的可靠性,提高了检验质量及效率。

3 结束语

上述问题是荧光渗透检测过程中可能遇到的共性问题,解决问题依据的基本原则及预计达到的目标是相同的,但可采取的有效方案较为多样化。通过对这些典型问题的研究分析发现,为保证水洗型荧光渗透检测结果的有效性、可靠性,提高检测效率,必须注意以下几点:

(1) 零件表面的预清洗必须从污染物的自身特点出发,选择恰当的清洗剂。对局部的顽固污物可进行专门清理后再进行全面清洗。对于污染严重的零件,应要求上一工序对明显污物的初级清洗。

(2) 对于数量较多、规格形状复杂的零件,应按结构形状相似相近性进行分类、分批次并按不易积液的方式均匀摆放于检测工装内,检测过程中应注意确保零件

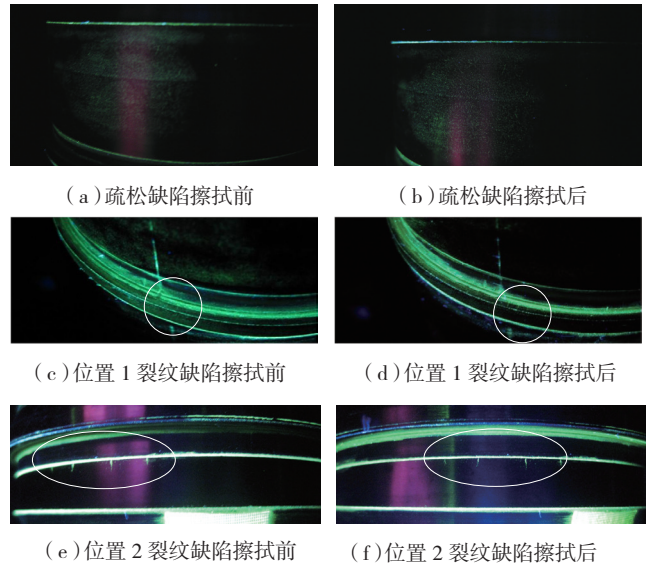


图5 WC等离子喷涂件涂层荧光检测显示丙酮擦拭前后显示状态对比
Fig.5 Comparison of original indication and indication wiped by the acetone dampened swab of WC plasma spraying coating FPI

始终保持均匀分布、方位恰当的摆放姿势。如此,方可保证零件在渗透液滴落、多余渗透液清洗、烘干等阶段以优化的处理参数获得良好的效果。

(3) 在零件的检验过程中,对于零件表面发现的所有荧光显示,应根据零件自身特点考虑应用丙酮擦拭、二次显像、重新处理及检测人员实际经验等手段对显示进行识别、解释。对于细小微弱的显示应用二次显像法应慎重,当实际经验认为有怀疑时,应结合重新处理方式判定。丙酮擦拭法可以提高某些显示的清晰度,但对于丙酮擦拭后显示不能立即复现的显示,应按标准规定进行二次显像处理。

(4) 检测人员的实际经验对显示的准确快速识别、解释有很大帮助,但是特定经验必须是在试验验证基础上获得且只能应用于特定产品中类似显示的识别、解释。对于其他产品的应用,应重新进行验证。

参考文献

- [1] 李成功,傅恒志,于翹,等. 航空航天材料. 北京: 国防工业出版社,2002.
- [2] 戴雪梅,苏清风,朱晓星. 荧光渗透检测在航空发动机研制阶段的应用. 铸造,2011, 60(10): 994.
- [3] 国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证培训教材编审委员会. 渗透检测. 北京: 机械工业出版社,2004.
- [4] GLAZKOV Y A. Evaluation of material quality for liquid penetrant inspection based on the visibility of the indicator patterns of flaws. Russian Journal of Nondestructive Testing, 2012, 48(4): 208 - 217.
- [5] 梁养民,彭颖,谢国印,等. 快速制造技术在航空发动机涡轮叶片上的应用. 第15届中国科协年会,北京,2013.

(责编 李丹)