

积屑瘤非相关荧光显示的控制

王乃翠¹, 杨学兵², 万 磊¹, 唐建朝¹, 李雪婷¹

(1. 中国航发西安航空发动机有限公司, 西安 710021; 2. 长安大学校长办公室, 西安 710021)

摘要: 针对零件在机加工后, 其圆角根部产生的积屑、积屑瘤等导致材料表面缝隙变得紧密, 引起非相关荧光显示, 易造成缺陷漏检的问题, 通过对实际检测案例的分析, 找出机械加工积屑瘤引起荧光痕迹显示的原因, 并采用相关处理措施, 避免了该类问题的发生。

关键词: 荧光渗透检测; 非相关显示; 积屑瘤; 超声波清洗

中图分类号: TG115.28 文献标志码: B 文章编号: 1000-6656(2022)01-0053-03

Control of unrelated fluorescence indication of build-up edge

WANG Naicui¹, YANG Xuebing², WAN Lei¹, TANG Jianchao¹, LI Xueting¹

(1. AECC Xi'an Aero-Engine Co., Ltd., Xi'an 710021, China;

2. The President's Office of Chang'an University, Xi'an 710021, China)

Abstract: Aiming at the problems of the accumulation of chips and build-up on the root of the fillet after the components were machined, which causes the gaps on the surface of the material to become tight and irrelevant fluorescents display, and easily leaded to missing inspection of defects. In this article, an experimental analysis on existing inspection case was conducted and the causes leading to the fluorescent trace indication of machining build-up edge were found out, and some relevant treatment measures were taken to avoid such problems.

Key words: fluorescent penetrant inspection; unrelated indication; build-up edge; ultrasonic cleaning

在荧光渗透检测中, 常见的缺陷有裂纹、气孔、夹杂、疏松、折叠、冷隔和分层等, 这些缺陷称为真实显示, 也称作相关显示^[1]。机械加工引起的表面粗糙或者刀痕显示则称为非相关显示, 其一般可在打磨、返修后去除。在验收零件时, 通常也不将这类显示作为拒收的依据。

针对零件在机加工后, 其圆角根部产生的积屑、积屑瘤等导致材料表面缝隙变得紧密, 引起非相关荧光显示, 易造成缺陷漏检的问题, 从机械加工工艺和荧光渗透检测角度进行分析, 找到了解决方法, 避免了这类问题的产生。

1 积屑瘤的产生

某航空零件材料为 AMS5613, 碳含量最大为

收稿日期: 2021-04-06

作者简介: 王乃翠(1985—), 女, 高级工程师, 主要从事航空发动机零部件的机械加工及渗透检测工作

通信作者: 杨学兵(1983—), 男, 工程师, 主要从事飞机综合航空电子系统设备的维护检测工作

0.15%。材料硬度越低, 塑性越好, 产生积屑瘤的可能性越大。

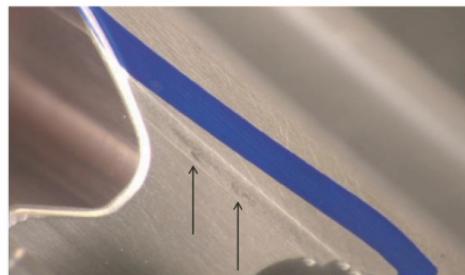
积屑瘤是积屑和碎屑挤压产生的材料粘损, 指在已经机加工的表面上的少量沉积过剩金属, 一般是由机加工过程中夹入的切屑引起的^[2]。其具体为颗粒状, 外观显示为深灰、黑色或闪亮的白色(外观颜色与光度有关, 见图 1)。

2 加工方法分析和试验结果

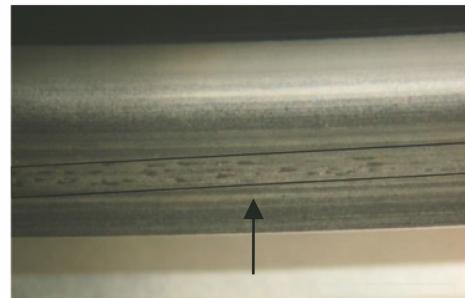
2.1 加工工艺

该零件的加工工艺流程为: ① 粗车加工; ② 粗铣外型面; ③ 去毛刺; ④ 精车加工; ⑤ 精铣外型面; ⑥ 去毛刺; ⑦ 机械加工检验; ⑧ 清洗; ⑨ 荧光渗透检测; ⑩ 入库。

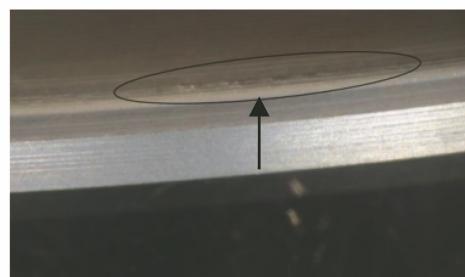
笔者对以上工艺流程进行分析, 发现积屑瘤易产生于精铣外型面的圆角根部。积屑瘤黏附在已加工表面, 形成硬点和毛刺, 增大了工件的表面粗糙度。积屑瘤的存在使刀具实际工作的前角增大, 可减少切削变形和切削力, 使切削变得轻快, 有利于粗加工。



(a) 积屑瘤显示1(亮白)



(b) 积屑瘤显示2(黑灰)



(c) 积屑瘤显示3(黑灰)

图 1 积屑瘤外观显示

从机械加工角度进行分析,精加工过程容易产生积屑瘤,原因是在精铣圆角根部时,切削液不易流入刀尖,不能很好地对刀具进行冷却和润滑,导致刀具的磨损加重。应采用润滑性能很好的切削液对刀具进行充分润滑和冷却;其次,根据相关资料,增大刀具前角可以减少切屑与前刀面的摩擦,特别是在圆角根部切削力和切削热比较集中的情况下,增大刀具的前角,可明显减少积屑瘤的产生。降低或提高切削速度,可以使切削温度低于或高于积屑瘤产生区域的温度,也可控制积屑瘤的产生。

2.2 荧光渗透检测结果

机加工后零件的圆角根部产生积屑瘤,导致零件的表面粗糙度大,在荧光渗透检测时积屑瘤呈现微弱的点状或者几乎没有显示。利用擦拭技术,可以使缺陷中的渗透液很快地渗出到零件表面,形成明显的荧光显示。在全部渗透检测过程完成之后,使用蘸有丙酮的软毛刷对零件的缺陷显示部分进行擦拭,一个方向上最多擦拭两次。挥发性溶剂丙酮很容易把缝隙中的渗透液带到零

件表面,进而形成显示。利用水洗型3级灵敏度渗透液对零件的圆角根部进行检测,擦拭前后的显示如图2所示。



(a) 擦拭前



(b) 擦拭后

图 2 擦拭前后零件圆角根部的渗透检测显示(水洗型)

积屑瘤形成后会受到材料的挤压和拖拽,导致荧光渗透液不易进入也不易渗出,不能很好地形成痕迹显示,极易造成漏检。采用高一级灵敏度的荧光渗透液对零件的圆角根部进行检测[即用后乳化型4级灵敏度荧光渗透液(ID4)代替水洗型3级灵敏度荧光渗透液(IA3)],在未使用擦拭技术的情况下,圆角根部出现明显的荧光显示(见图3)。



图 3 零件圆角根部的渗透检测显示(后乳化型)

虽然高灵敏度的渗透液能有效地检测出圆角根部的积屑瘤,但并不意味着在任何情况下都可选择高灵敏度的检测方法。例如对粗糙表面使用高灵敏度的渗透液会使清洗困难,造成背景过深,甚至造成虚假显示,达不到检测的目的,且检测费用也高。因此,检测人员需综合考虑灵敏度需求与检测成本来确定合适的检测技术。

3 检测分析

3.1 检测流程

笔者采用水洗型3级(IA3)荧光渗透液对圆角根部进行荧光渗透检测,并对出现积屑瘤的零件进行反复检测验证。检测流程如下所述。

(1) 预清洗: 用水基清洗剂(型号为ARDROX 6333A, 浓度为5%~10%)喷洗零件120 s; 然后用自来水冲洗90 s; 再用压缩空气吹去表面积水后, 将零件放入110 °C的烘箱内, 干燥30 min。

(2) 渗透: 将干燥后的零件冷却至10~52 °C, 然后浸入SHERWIN HM-604型(水洗型3级)荧光渗透液中15 min, 再滴落15 min。

(3) 水洗: 采用水喷枪冲洗零件, 水温为10~38 °C, 水压不大于0.27 MPa。

(4) 手工清洗: 采用与步骤(3)相同的参数, 在紫外灯下去除零件表面多余的荧光渗透液。

(5) 干燥: 采用压力不大于0.17 MPa的压缩空气吹去零件表面的多余水分, 然后将零件放入热循环空气的烘干箱中进行干燥, 烘干温度为62 °C, 干燥时间为15 min。

(6) 显像: 在喷粉柜里通过爆粉的方式施加显像粉, 显像停留时间为15 min, 停留时间结束后, 吹去表面多余的显像粉, 压力小于0.034 MPa。

(7) 检测: 在暗室黑光下进行检测, 零件表面的黑光照度不小于1 200 $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$, 采用擦拭技术对显示区域进行擦拭。

3.2 检测分析

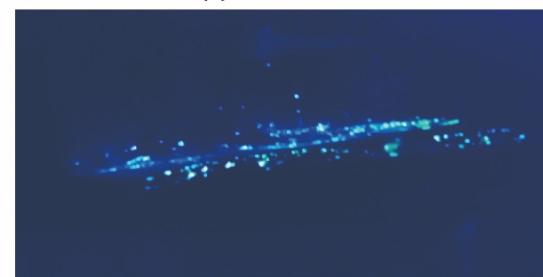
溶剂喷淋清洗适用于表面平整的工件, 但对孔、凹槽等清洗效果不理想。因此, 试验采用超声波清洗试件, 利用超声波的空化作用在工件周围形成巨大的冲击, 使工件表面及缝隙中的污垢迅速剥落, 达到清洗工件表面的目的^[3]。对经超声波清洗后的零件进行渗透检测, 其积屑瘤显示更明显(见图4)。

荧光渗透检测前的预处理对检测结果至关重要。超声波应用的有效性和安全性受许多因素影响, 应对这些因素进行评估和控制。超声系统的设计应满足零件的具体要求, 超声发生器的频率, 零件的夹具, 零件的材料、形状、尺寸、数量及清洗剂的温度、浓度等都会对清洗效果产生影响。超声波清洗系统的参数如表1所示。

对零件进行超声清洗时, 检测人员应控制超声的空化和共振, 确保零件清洗充分而不被损坏。影响空化效果的因素如下所述。



(a) 超声波清洗前



(b) 超声波清洗后

图4 超声波清洗前后积屑瘤的荧光显示

表1 超声波清洗系统的参数

参数	要求
槽液	ARDROX 6333A型水基清洗剂
浓度	5%~10%
温度/°C	50±5
时间/min	5~10
超声波频率/kHz	28

(1) 低频超声波的空化效应更强, 能量更大, 清洗效果更好, 但对零件损伤也更大; 高频超声波的空化效应较弱, 清洗效果较差, 但对零件的损伤较小。超声波清洗零件的最低频率为19 kHz。

(2) 试验应设定并控制最高和最低的操作温度, 因为随温度的升高空化性降低, 所以超声清洗效果不明显。超声清洗温度应低于77 °C。

(3) 零件应悬浮在清洗槽中, 避免与槽体或换能器表面发生金属对金属的接触, 以减少零件共振受损的风险。

(4) 应制定最低和最高的清洗剂浓度, 清洗剂浓度增大会导致空化现象降低。

(5) 应控制槽内同一时间清洗的零件形状、尺寸和数量, 槽内一次清洗的零件数量越多, 空化效应越弱, 且应尽量减少零件间的相互接触。

(6) 清洗材料较软的零件时, 由于铝箔容易受到空蚀破坏, 可以先在溶液中悬挂铝箔来评估超声能量的损坏性和均匀性。

(下转第79页)

电压响应进行了测试,结果如图 17 所示。从图 17 可以看出,在 19 kHz~43.5 kHz 频带内,发射电压响应起伏为 8 dB,发射电压响应为 137~145 dB,相较于仿真结果,实测的响应值整体有所降低,起伏增加了 1 dB。

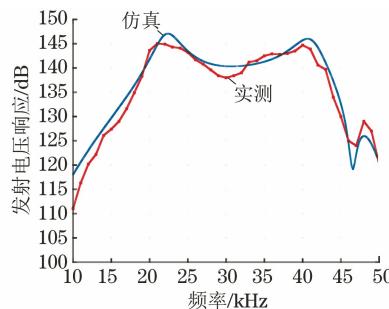


图 17 双激励纵振换能器水中发射电压响应的
实测与仿真结果

4 结语

首先基于双激励换能器的共振频率方程初步确定换能器尺寸,并通过有限元软件验证了理论计算的正确性。同时在理论设计的基础上,利用有限元软件对换能器进行优化设计,并分别计算了其在空气、水中的导纳曲线和发射电压响应。在此基础上制作了双激励纵振换能器,并对其性能进行测试,实测结果与仿真结果基本吻合。这表明了双激励纵振换能器理论设计方法可以为实际换能器的制作提供依据,为进一步研制双激励纵振换能器奠定了基础。

(上接第 55 页)

经过试验,笔者建议:当暗区环境白光强度小于 20 lx 时,零件表面最低黑光灯照度为 $50 \mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$;当暗区环境白光在 20~100 lx 时,零件表面最低黑光灯照度为 $100 \mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$,且每月采用高一级灵敏度的渗透液对零件进行复查。

4 结语

结合零件荧光渗透检测的结果,笔者通过更改加工刀具和加工参数,采用润滑性能好的切削液,避免了精加工中积屑瘤的产生。优化了渗透检测预处

参考文献:

- [1] 刘孟庵,连立民.水声工程[M].杭州:浙江科学技术出版社,2002.
- [2] 何祚镛,赵玉芳.声学理论基础[M].北京:国防工业出版社,1981.
- [3] 刘伯胜,雷家煜.水声学原理[M].哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2002.
- [4] 栾桂冬,张金铎,王仁乾.压电换能器和换能器阵[M].北京:北京大学出版社,2005.
- [5] 赵欢.双激励源宽带纵振换能器研究[D].北京:中国舰船研究院,2014.
- [6] 莫喜平.水声换能器研究新进展[J].应用声学,2012,31(3):171-177.
- [7] 周天放.宽带纵向换能器研究[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2011.
- [8] YAO Q S, BJORNO L. Broadband tonpilz underwater acoustic transducers based on multimode optimization [J]. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, 1997, 44(5):1060-1066.
- [9] 孟祥迪,林书玉.级联式变截面压电换能器尺寸对其性能的影响[J].陕西师范大学学报(自然科学版),2019,47(2):51-56.
- [10] 林书玉.夹心式复频功率超声压电换能器及其电端匹配电路的研究[J].声学与电子工程,1997(3):24-28.
- [11] 林书玉.双激励源压电陶瓷超声换能器的共振频率特性分析[J].电子学报,2009,37(11):2504-2509.

理清洗方式及手工补洗时零件表面的黑光照度参数,同时规定了定期进行现场监控,更好地控制了零件的品质,对零件后续工序的正常进行有重要意义。

参考文献:

- [1] 林猷文,任学冬.渗透检测[M].北京:机械工业出版社,2004.
- [2] 郭建烨,于超,张艳丽.机械制造技术基础[M].北京:北京航空航天大学出版社,2016.
- [3] 刘素平.从外贸航空发动机零部件的荧光检测要求浅析荧光检测时规范与工艺控制的重要性[J].无损检测,2012,34(2):52-56.