

# 小螺距螺栓裂纹的荧光渗透检测检出率

孙晓雪,高晓,刘先亮,孙浩,张湘君,曹阳

(中国航发沈阳黎明航空发动机有限责任公司,沈阳 110043)

**摘要:**对比了小螺距螺栓清洗前后的荧光渗透检测结果,发现螺栓根部表面开口裂纹缺陷无荧光显示的主要原因是裂纹开口污染物阻碍了渗透液的有效渗入。对螺栓表面进行彻底清洗,能够有效提高裂纹缺陷的检出率;采用高灵敏度和超高灵敏度的渗透液能提高裂纹的检出能力。综合考虑检测准确性和成本等因素,采用高灵敏度的渗透液进行检测更为适宜。

**关键词:** 荧光渗透检测;小螺距螺栓;裂纹;检出率

中图分类号: TG115.28

文献标志码: B

文章编号:1000-6656(2023)02-0056-04

## Crack detection rate of small-pitch bolts by fluorescence penetration detection

SUN Xiaoxue, GAO Xiao, LIU Xianliang, SUN Hao, ZHANG Xiangjun, CAO Yang

(AECC Shenyang Liming Aero-Engine Co., Ltd., Shenyang 110043, China)

**Abstract:** By comparing the results of fluorescence penetration detection before and after cleaning of the small pitch bolts, it was found that the main reason why the cracks on the surface of the root of the bolts did not show fluorescence was that the dirt at the opening crack impeded the effective penetration. The detection rate of crack can be effectively improved by thoroughly clearing the bolt surface. Furthermore, crack detection ability can be improved by using high-sensitivity and super-high-sensitivity penetrant. Considering the accuracy and cost of detection, it is more suitable to use high-sensitivity penetrant for small-pitch bolt detection.

**Key words:** fluorescence penetration testing; small pitch bolt; crack; detection rate

渗透检测技术在航空发动机的修理过程中具有广泛的应用。通常,渗透检测对于表面开口型缺陷具有很高的检测灵敏度<sup>[1-3]</sup>。某小螺距螺栓修理时,受螺纹的磨损及高温产生的积碳等因素影响,螺纹的受检表面会变得非常粗糙。若受检表面太粗糙,会降低渗透液的润湿性能,同时影响清洗效果<sup>[4]</sup>,并且会产生不良背景,严重时导致表面开口裂纹缺陷无荧光显示(出现漏检)。

为了降低该小螺距螺栓表面开口裂纹的漏检风险,提高裂纹检出率,笔者通过一系列试验确定了影响裂纹检出率的主要因素,并优化了检测工艺,提高了裂纹检出率。

## 1 存在的问题

该小螺距螺栓(见图1)材料为GH4698,螺纹规格为M6×1.0 mm,用于连接高温薄壁构件,其极易产生表面开口裂纹缺陷。在修理过程中,根据该螺栓的结构特性和表面状态,渗透检测时采用水洗型中等灵敏度的荧光渗透液。但在实际检测中,常常出现螺纹根部表面开口裂纹漏检的情况。

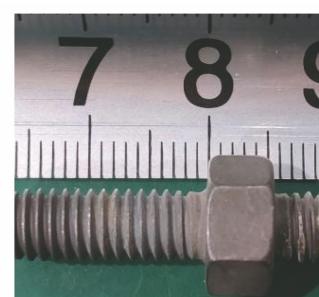


图 1 螺栓实物照片

收稿日期:2021-09-22

作者简介:孙晓雪(1990—),女,本科,工程师,主要从事渗透检测,涡流检测的研究工作

通信作者:孙晓雪,24634794@163.com

## 2 裂纹的产生原因分析

经过分析,认为该螺栓螺纹根部裂纹的产生原因是工作环境冷热变换产生了应力。观察该螺栓的表面,发现螺纹中存在一定量的烧结物、积碳、氧化皮等杂质,这些杂质掩盖了表面开口裂纹;且粗糙的氧化皮表面附着大量渗透液,造成检测过程中对比度降低,难以发现裂纹显示,尤其是细微裂纹显示。另外某些开口裂纹的深宽比较小,采用中等灵敏度渗透液无法检出。

为了验证裂纹缺陷漏检的原因,提高该螺栓裂纹缺陷的检出率,笔者通过放大镜观察、对螺栓表面进行彻底清洗、采用不同灵敏度的渗透液进行一系列试验,了解了渗透检测前螺栓的表面状态、荧光渗透液灵敏度与裂纹缺陷检出率之间的关系。

## 3 试验方案

### 3.1 试验材料

试验选用 19 件已工作超过 500 h, 表面均存在自然裂纹缺陷的螺栓。

根据螺栓的表面状态,后乳化型荧光渗透液易造成检测不良背景和过多的虚假显示,因此采用水洗型荧光渗透液。

根据不同灵敏度等级和工厂实际情况,采用美国磁通公司生产的水洗型 ZL-60D 中灵敏度渗透液、ZL-67 高灵敏度渗透液和 ZL-56 超高灵敏度渗透液进行检测。

### 3.2 试验步骤

(1) 采用 60 倍放大镜观察 19 件螺栓试件表面情况,并记录结果。

(2) 清洗前,对试件进行一种灵敏度的荧光渗透检测(I类 A 法 a 型,2 级灵敏度)并记录荧光渗透检测结果。

(3) 对试件表面彻底清洗后,进行三种灵敏度的荧光渗透检测[I类 A 法 a 型,2 级灵敏度(ZL-60D)、3 级灵敏度(ZL-67)和 4 级灵敏度(ZL-56)]并记录荧光渗透检测结果。

(4) 对比放大镜观察结果与荧光渗透检测结果,分析荧光渗透检测结果的影响因素。

## 4 试验结果与分析

### 4.1 60 倍放大镜观察结果

19 件螺栓试件在倒数第一扣至倒数第三扣根部

均存在不同数量裂纹(见图 2),裂纹开口大小存在差别。部分试件裂纹开口内存在污物堵塞(见图 3)。

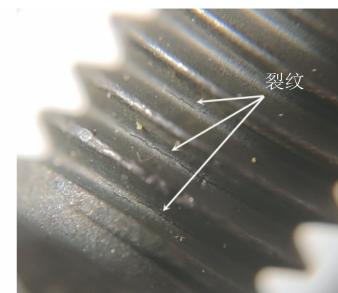


图 2 1# 试件螺纹根部裂纹示意

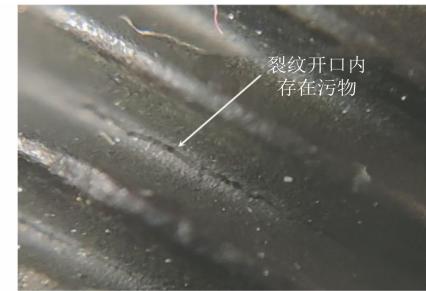


图 3 裂纹开口被污物堵塞示意

### 4.2 荧光渗透检测结果

#### 4.2.1 试件清洗前的荧光渗透检测结果

选取具有裂纹显示的试件 8 件, 分别为 1#, 7#, 8#, 10#, 12#, 13#, 14#, 16# 试件。其中 10#, 12# 试件渗透检测裂纹显示的数量和位置与放大镜观察结果完全一致;1#, 7#, 8#, 13#, 14#, 16# 试件渗透检测裂纹显示数量少于目视观察到的数量。试件清洗前的荧光渗透检测结果如图 4 所示。放大镜观察具有裂纹但荧光渗透检测无裂纹显示的试件共有 11 件, 分别为 2#, 3#, 4#, 5#, 6#, 9#, 11#, 15#, 17#, 18#, 19# 试件。

#### 4.2.2 试件彻底清洗后的荧光渗透检测结果

选取 2#, 3#, 4#, 5#, 6#, 7#, 8#, 16# 试件, 彻底清洗后再次进行荧光渗透检测(I类 A 法 a 型,2 级灵敏度)。具有裂纹显示的试件共 6 件, 分别为 3#, 4#, 5#, 7#, 8#, 16#。其中 4#, 5#, 7#, 16# 试件裂纹显示数量和位置与放大镜观察结果完全一致;3# 试件裂纹显示数量(3 条)多于放大镜观察结果(2 条);8# 试件裂纹显示数量(1 条)少于放大镜观察结果(2 条);具有裂纹但无裂纹显示的试件有 2 件, 分别为 2# 和 6#。

#### 4.2.3 试件清洗后再次荧光渗透检测的结果

对 2#, 6# 和 8# 试件清洗后,再次进行荧光渗透检测(I类 A 法 a 型,3 级灵敏度和 4 级灵敏度)。



图 4 试件清洗前的荧光渗透检测结果

(1) 2# 试件

采用 2 级灵敏度进行荧光渗透检测时无裂纹显示;采用 3 级灵敏度检测时裂纹显示 2 条,倒数第二扣裂纹显示长度约 2.3 mm,倒数第三扣裂纹显示长度约 1.2 mm,检测背景较好,但裂纹显示处渗透液回渗较微弱;采用 4 级灵敏度检测时裂纹显示为 2 条,倒数第二扣裂纹显示长度约 4.0 mm,倒数第三扣裂

纹显示长度约 3.1 mm,裂纹显示处渗透液回渗明显,但检测背景稍差(见图 5)。

(2) 6# 试件

采用 2、3 级灵敏度进行荧光渗透检测时无裂纹显示;采用 4 级灵敏度检测时裂纹显示为 1 条,倒数第二扣裂纹显示长度约 3.2 mm,裂纹显示处渗透液回渗较微弱,且检测背景稍差(见图 6)。

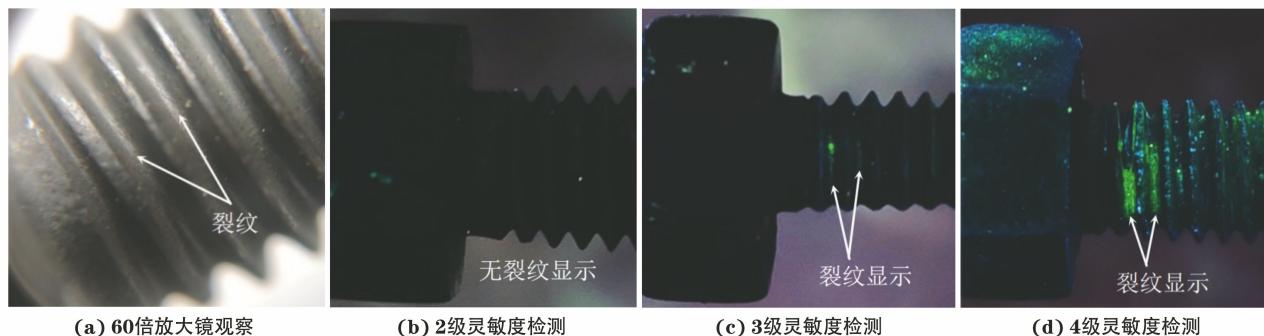


图 5 2# 试件表面的放大镜观察结果与检测结果

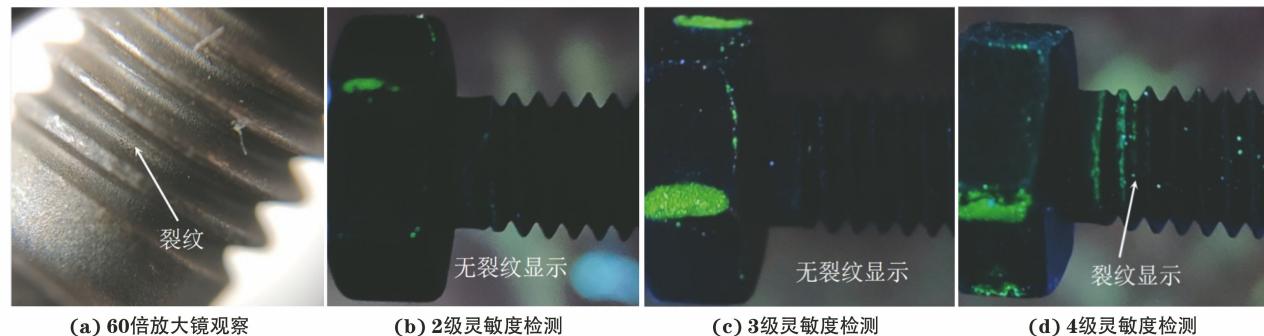


图 6 6# 试件表面的放大镜观察结果与检测结果

(3) 8# 试件

采用 2 级灵敏度进行荧光渗透检测时裂纹显示为 1 条,倒数第一扣裂纹显示长度约为 1.4 mm,渗透液回渗明显,检测背景较好;采用 3 级灵敏度检测时裂纹显示为 2 条,倒数第一扣裂纹显示长度约为 2.0 mm,倒数第二扣裂纹显示约为 1.1 mm,裂纹显示处渗透液回渗明显,检测背景较好;采用 4 级灵敏度检测时裂纹显示 2 条,倒数第一扣裂纹显示长度约

为 4.8 mm,倒数第二扣裂纹显示约为 1.2 mm,裂纹显示处渗透液回渗明显,但检测背景稍差(见图 7)。

#### 4.3 试验结果分析

由 60 倍放大镜观察结果、清洗前后荧光渗透检测结果、更换不同灵敏度渗透液的荧光渗透检测结果对比分析可知,某些在放大镜下可观察到的表面开口裂纹缺陷在荧光渗透检测时无裂纹显示的原因如下所述。

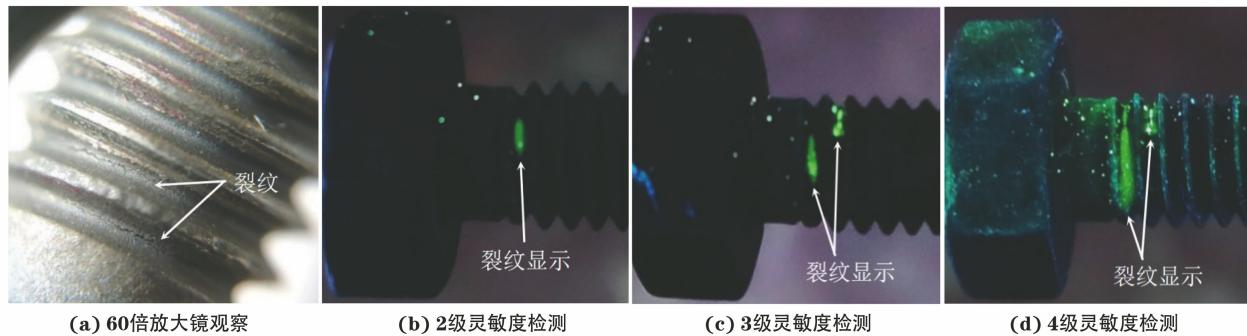


图 7 8# 试件表面的放大镜观察结果与检测结果

(1) 零件使用过后,积碳等污物堵塞了裂纹开口,阻碍了渗透液在裂纹开口处的毛细作用,使渗透液渗入过程失效(如4#,5#,7#,16#试件);裂纹开口的堵塞同时影响了放大镜的观察结果(如3#试件)。

(2) 对于同一表面开口缺陷,中等灵敏度、高灵敏度、超高灵敏度渗透液在缺陷中的截留能力依次升高,裂纹缺陷显示长度依次增大(如2#,6#,8#试件)。

## 5 结论

(1) 小螺距螺栓修理时,螺纹根部的表面裂纹开口被污物堵塞,可能造成荧光渗透检测时无裂纹显示。将螺栓彻底清洗能够提高荧光渗透检测的有效性,同时提高裂纹缺陷的检出率。

(上接第 27 页)

- [15] HUANG N E, SHEN Z, LONG S R, et al. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis[J]. Proceedings of the Royal Society of London Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 1998, 454(1971): 903-995.
- [16] 陈是抒,彭志科,周鹏.信号分解及其在机械故障诊断

(2) 对于细微的表面开口缺陷,使用超高灵敏度渗透液更易检出,但超高灵敏度渗透液的检测背景稍差。为提高裂纹的有效检出率、减少显示的误判及降低检测成本,综合考虑,宜采用水洗型高灵敏度的荧光渗透液进行检测。

## 参考文献:

- [1] 刘琪峰.军工产品无损检测诊断标准与新技术应用及规范操作全书[M].北京:中国知识出版社,2006.
- [2] 孙金立.无损检测及在航空维修中的应用[M].北京:国防工业出版社,2004.
- [3] 刘贵民,马丽丽.无损检测技术[M].北京:国防工业出版社,2010.
- [4] 杨波,胡学知,龚固,等.工件表面状态对渗透检测的影响[J].无损检测,2016,38(8):57.

中的应用研究综述[J].机械工程学报,2020,56(17): 91-107.

- [17] 吴宏亮,尚坤.基于 EMD 分解及 Hilbert 包络的电机轴承故障诊断[J].电子技术,2021,50(7):112-115.
- [18] WEISCHEDEL H R, RAMSEY R P. Electromagnetic testing, a reliable method for the inspection of wire ropes in service[J]. NDT International, 1989, 22(3): 155-161.