

基于微纳米尺度计量测试仪器的发动机压盘 铆钉失效分析

王珉,唐小聪,郭鑫

(南京市计量监督检测院,江苏南京 210049)

摘要:采用微纳米尺度计量测试仪器对汽车发动机压盘铆钉进行表面形貌观测、金相显微组织观察分析、显微硬度测试、材质质量分数分析等,研究铆钉断裂失效的主要原因。分析结果表明,铆钉为缺口应力疲劳失效,源区表面出现挤压台阶及微裂纹,铆钉外缘与压盘形成挤压折叠是起裂主因。

关键词:汽车发动机;压盘;镀锌铆钉;断裂;失效分析;疲劳损伤

中图分类号:TG306; TG131 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2020)05-0031-03

Fracture Failure Analysis of Spiral Spring Based on Micro Nanometer Measurement Instrument

WANG Min, TANG Xiaocong, GUO Xin

(Nanjing Institute of Measurement and Testing Technology, Nanjing 210049, China)

Abstract: The micro nanometer measurement instrument is used to take an surface topography observation and make the metallographic microstructure analysis, micro-hardness test and material quality analysis of the rivets for finding out the causes of its failure. The analysis results show that the rivet fatigue failure is caused by the notched stress. The extrusion steps and micro-cracks appear on the surface of the source area. The extrusion folding formed by the rivet's outer edge and pressure plate is the main cause of the crack initiation.

Keywords: automobile engine; spiral spring; zinc-plating rivet; fracture; failure analysis; fatigue damage

0 引言

作为机械连接件的一种,铆钉在航空航天、轴承、汽车等领域中广泛应用^[1-3]。发动机是汽车结构中重要一员,为了使其连接方便,许多零件采用铆钉连接。尽管铆钉在压盘发动机中的应用已经很成熟,但在发动机正常工作时,复杂变化的载荷使铆钉连接部位会产生很大的应力,进而导致断裂发生。铆钉的失效将使发动机不能正常工作。扫描电子显微镜、EDS 能谱仪等微纳米尺度的计量测试仪器在微观尺寸观测、材料成分测试等方面起着重要作用,并且伴随着图像处理、机器视觉等新技术的成熟与应用,通过分析判断发动机的失效原因,可改善和提高铆钉的设计加工工艺,从而改善铆钉在发动机中的装配工艺^[4]。

1 试件描述

某公司送检样为压盘发动机铆钉,原材料为 SWRCH10A。试件在实验过程中失效,拆检后发现铆钉断裂。根据断口形貌检测分析结果可知,铆钉为疲劳断裂特

征。为了确定铆钉失效原因,对失效样品进行了断口分析、材质分析、显微组织分析等检测分析。

采取的测试方法有:宏观形貌观察,目眼及体视显微镜;微观形貌观察及能谱 EDS 分析,扫描电子显微镜及能谱仪;氢含量分析,氮氢氧分析仪;硬度测试,显微硬度计;金相分析,蔡司金相显微镜。

2 数据结果分析

2.1 宏观形貌

送检铆钉宏观形貌如图 1 所示。将样品拆解切割分离完毕后进行各项试验。由图 1 可知铆钉侧壁挤压痕迹



图 1 失效件整体形貌

基金项目:国家重点研发计划国家质量基础专项(2018YFF0212300)

第一作者简介:王珉(1982—),男,江苏南京人,高级工程师,硕士研究生,从事精密几何量计量与纳米新材料测量方面的研究。

明显,断面扭曲起伏。

2.2 断口宏观形貌

铆钉断口形貌如图 2 所示。

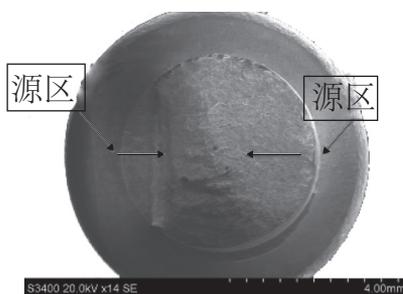


图 2 铆钉断口宏观形貌

将铆钉断口进行了清洗、去锈和除油处理,在扫描电子显微镜下观察断面的宏观形态。由图 2 失效件断口宏观形貌图可知断口平直,断面左侧呈现台阶状断口,右侧呈现剪切+拉拔断口,结合其试验过程可以大致判断起源于铆钉断口两侧端面位置(图 2 所示,断口失效方向初判如图箭头所示),铆钉向心部扩展、最终在中心附近发生断裂的特征。铆钉外壁在徕卡体式显微镜下观察后,侧壁柱面存在挤压折叠(初步判定为 PP 盘挤压),且局部挤压磨损。为进一步判定其断裂原因,继续开展了以下检测。

2.3 断口微观形貌及能谱 EDS 分析

在扫描电子显微镜下继续观察断口,微观扫描分析如图 3-图 10 所示。由图观察可知铆钉微观形态及受力状况。铆钉断口裂纹源区位于图中左、右两侧,侧壁呈现台阶状挤压痕迹(图 3),铆钉右侧源区柱面有压溃损伤,局部出现微裂纹(图 10),具有从表面多源起裂的特征。铆钉起裂后向心部扩展,源区及扩展区以疲劳条带特征为主(图 4、图 6、图 7),最终断裂区由于样品快速撕裂分离,疲劳条带中混杂着大量二次裂纹(图 8)。铆钉向一侧偏离与 PP 盘接触的形成折叠缺陷(图 9)。

图 11-图 15 是铆钉各区域 EDS 分析结果,可以看出铆钉起始区域谱图中未见明显异常元素的峰存在,表面镀锌层(EDS 分析目的为检测源区夹杂物为主,化学元素含量仅作参考)。

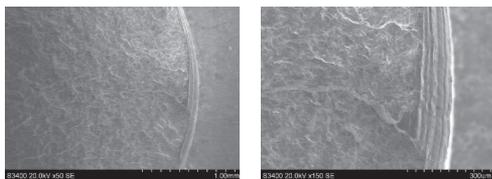


图 3 铆钉右侧源区低倍扫描

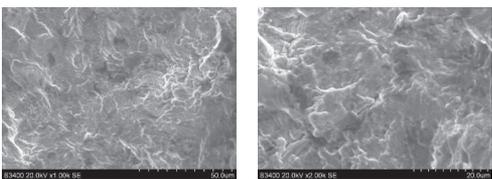


图 4 铆钉右侧源区高倍扫描

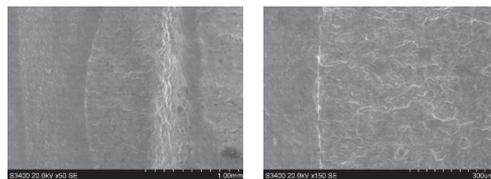


图 5 铆钉左侧源区低倍扫描

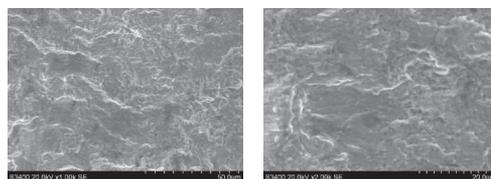


图 6 铆钉左侧源区高倍扫描

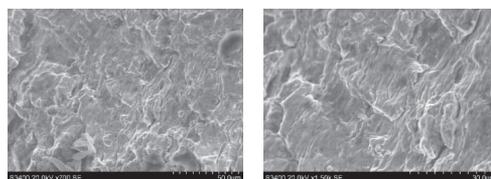


图 7 铆钉扩展区扫描

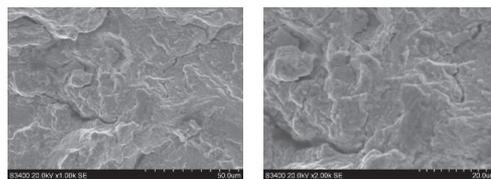


图 8 铆钉瞬断区扫描

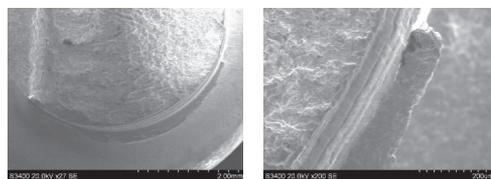


图 9 铆钉侧壁低倍扫描

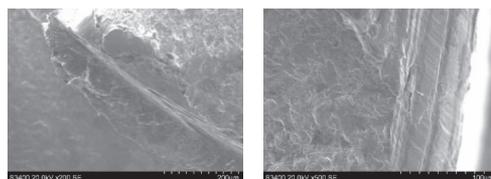
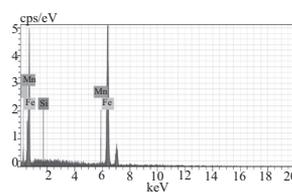
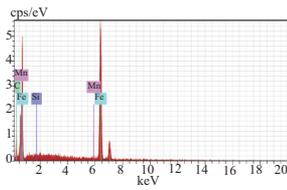


图 10 铆钉侧壁高倍扫描



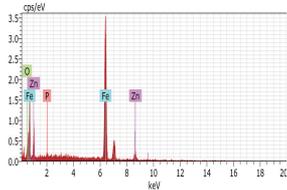
Element	Wt%
CK	00.09
SiK	00.11
MnK	00.40
FeK	99.40
Matrix	Correction

图 11 铆钉左侧断面 EDS 定点元素分析



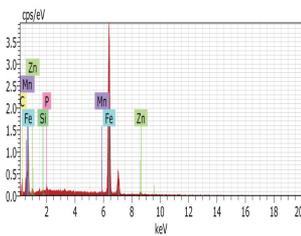
Element	Wt%
CK	00.10
SiK	00.21
MnK	00.40
FeK	99.29
Matrix	Correction

图 12 铆钉右侧断面 EDS 定点元素分析



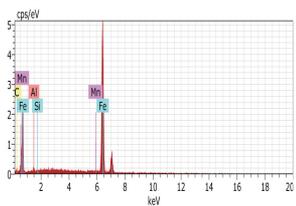
Element	Wt%
OK	03.78
PK	00.62
ZnK	09.16
FeK	86.44
Matrix	Correction

图 13 铆钉左侧表面 EDS 定点元素分析



Element	Wt%
CK	09.95
SiK	00.12
PK	00.70
MnK	00.38
ZnK	11.23
FeK	77.62
Matrix	Correction

图 14 铆钉右侧表面 EDS 定点元素分析



Element	Wt%
CK	00.10
SiK	00.11
AlK	00.47
MnK	00.49
FeK	98.83
Matrix	Correction

图 15 铆钉表面折叠 EDS 定点元素分析

2.4 显微组织观察分析

为进一步判定该试件热处理状态问题,线切割截取铆钉断口,经抛光和 4%硝酸酒精腐蚀后在光学显微镜下观察金相组织,依据 GB/T 6394-2002《金属平均晶粒度测定方法》和 GB/T 13298-2015《金属显微组织检验方法》对其进行分析。图 16 为源区抛光态,表面未见微裂纹,未见异常表面缺陷及夹杂物。

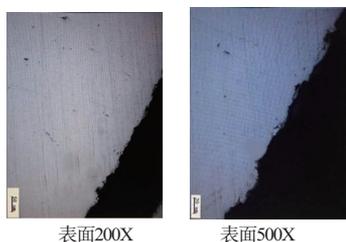


图 16 铆钉材料金相组织

经 4%硝酸酒精腐蚀后,图 17 铆钉组织为球化珠光体和铁素体的混合组织特征,未见明显脱碳和晶间氧化缺陷。抛光后观测表面未见明显夹杂、裂纹陷等缺陷,组织无异常。

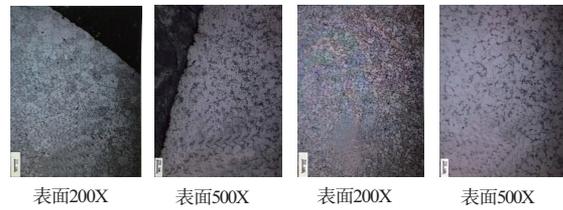


图 17 铆钉金相显微组织照片

2.5 硬度分析

分别针对工件上断裂处采集多点硬度,所得硬度值如表 1 所示,并根据 GB/T 4340.1-2009《金属材料维氏硬度试验第 1 部分:试验方法》进行分析。

表 1 铆钉显微硬度测试结果

测量位置	硬度值 (HV0.2)	结果
铆钉(表面位置)	141/150/145/147	达标
铆钉(心部位置)	148/147/140/141	达标
断口(HRB)	77/79/76/77	达标

对照该工件热处理工艺要求可知断件的硬度达标,表面与心部硬度未见明显差异(由于铆接强化,硬度较铆接前稍高)。

2.6 原材料质量分数分析

铆钉的质量分数检测结果见表 2,从表 2 可以看出其质量分数符合 Q-BQB 517-2009《冷镦钢盘条》标准规定 SWRCH10A 钢材要求。依据 GB/T 14265-1993《金属材料中氢、氧、氮、碳和硫分析方法通则》和 GB/T 223.82-2007《钢铁氢含量的测定》,铆钉的氢含量分析结果如表 3 所示,镀锌后表面含氢元素未见明显异常。

表 2 铆钉成分检测光谱数值 单位:wt%

元素	技术要求	检测结果
C	0.08~0.13	0.09
Si	≤0.10	0.67
Mn	0.30~0.60	0.41
S	≤0.035	0.005
P	≤0.030	0.014
Al	≥0.02	0.08

表 3 氢含量分析 单位:%

元素	ppm
H	11

(下转第 52 页)

主要问题是表面破孔及凹凸不平、基底翘曲与变形等。因此该成型技术的发展还需要在打印速度、温度、层厚上作出改善,得到最优参数。目前该技术可应用在汽车工业、医疗卫生和食品加工等方面,随着技术的发展,未来可预见会在航空航天方面发挥优势,尤其是卫星与空间站方面。

分层实体成型技术的发展已经较为成熟,在材料、精度、尺寸等方面有显著优势。目前该技术以改善零件表面质量、机械及控制方面为目标,拟扩大在医疗、航空、电器和建筑等行业的应用。

光固化成型技术的主要难点在于成型精度以及工作环境。目前,基于此方法的成型产品已经在航空航天领域得到了应用。随着技术的发展,一般要求制件具有微米级或亚微米级的细微结构,未来在微电子和生物工程等领域将得到应用。

激光选区烧结和激光选区熔融技术本质上都为烧结技术。烧结技术的主要难点是去除杂质、提高力学性能等。熔融技术虽然克服了烧结技术的难点,但是在成型精度、表面粗糙度和致密度等方面又增加了难点。目前,这两种技术的发展主要需要降低设备成本,优化成型参数,未来有可能在航空航天和生物医疗得到应用。

总之,3D打印技术对比传统加工方法在形状、速度等方面有显著优点,但是仍需大量科研工作者在材料及技术上有新的突破。

参考文献:

- [1] 晁龙,陈劲松,郭建. 陶瓷3D打印技术的研究进展[J]. 陶瓷学报, 2018, 39(3):272-277.
- [2] 李亚运,司云晖,熊信柏,等. 陶瓷3D打印技术的研究与进展[J]. 硅酸盐学报,2017, 45(6): 793-805.
- [3] RENGLER F, MEHNDIRATTA A, H. von Tengg-Kobligk, et al. 3D printing based on imaging data: review of medical applications[J]. International journal of Computer Assisted Radiology

and Surgery, 2010, 5(4): 335-341.

- [4] OZKO E, EBERT J, UIBEL K, et al. Development of high solid content aqueous 3Y-TZP suspension for direct inkjet printing using a thermal inkjet printer[J]. Journal of the European Ceramic Society, 2009, 29(3): 403-409.
- [5] 杨忠敏. 陶瓷3D打印快速发展[J]. 办公自动化, 2015, 10(3):16-19.
- [6] WANG B T. A temperature analysis & control strategy on 3D printing nozzle[D]. Changsha: Human Normal University, 2014.
- [7] S.S. Crump. Apparatus and method for creating three-dimensional objects[J]. Google Patents, 1992, 27(6): 8-15.
- [8] STRATASYS. Fused deposition of ceramics: a new technique for the rapid fabrication of ceramic components[J]. Mater Technol, 1995, 10(7/8): 144-146.
- [9] BERTSCH A, JIQUET S, RENAUD P. Microfabrication of ceramic components by microstereolithography[J]. Journal of Micromechanics & Microengineering, 2004, 14(2):197-203.
- [10] 杨少斌,陈桦,张耿,等. 叠层实体工艺制备可控孔隙结构多孔陶瓷[J]. 陶瓷学报, 2019, 40(1): 67-71.
- [11] DECKARD S. Method and apparatus for production parts by selective sintering: US Patent, 5017753[P]. 1991-5-21.
- [12] SUBRAMANIAN K, VAIL N, BARLOW J, et al. Selective laser sintering of alumina with polymer binders[J]. Rapid Prototyping January, 1995, 1(1): 24-26.
- [13] HAGEDORN Yves Christian, WILKES Jan, MEINERS W. Net shaped high performance oxide ceramic parts by selective laser melting[J]. Physics Procedia, 2010(5): 587-594.
- [14] WILKES J, HAGEDORN Y C, MEINERS W, et al. Additive manufacturing of Zr₂-Al₂O₃ ceramic components by selective laser melting [J]. Rapid Prototyping January, 2013, 19(1): 51-53.

收稿日期:2019-06-28

(上接第33页)

从铆钉断口宏观形貌检测后,判定铆钉为缺口应力疲劳失效。综合以上检测结果分析,失效铆钉源区无明显夹杂,材质化学元素正常,显微硬度达标,铆钉从两侧端面起裂(多源起裂特征),在外加拉拔应力作用下向心部疲劳扩展断裂。源区表面出现挤压台阶及微裂纹,铆钉外缘与压盘形成挤压折叠是起裂主因,建议检查该铆钉铆接状态。

3 结语

本文采用了微米尺度的计量测试仪器对汽车发动机机压盘铆钉失效原因进行了探究。对铆钉的断口形貌、金相组织、硬度和化学成分进行了分析,结果表明铆钉工艺指标均达标,其断裂由应力疲劳导致。进一步分析表明铆

钉外缘与压盘挤压折叠是导致断裂的主要原因。建议在发动机压盘验收时,对铆钉铆接状态进行重点检查,以减少诱导其断裂的潜在因素。

参考文献:

- [1] 何惜港,梁英,宋海涛,等. 轴承保持架铆钉失效分析[J]. 轴承,2012(10):37-39.
- [2] 罗志刚,于庆杰,公平,等. 某发动机机匣轴承沟道剥落及铆钉断裂故障分析[J]. 轴承,2018(7):46-47,52.
- [3] 周如东,李湘,翟建华,等. 飞机弹射座椅某活套组件铆钉失效分析[J]. 机械设计与制造,2010(10):179-181.
- [4] 柳宁,赵祥云,倪文波,等. 基于图像识别的铆接质量在线检测系统的设计[J]. 机械制造与自动化, 2018, 47(6): 174-176.

收稿日期:2020-03-18