DOI:10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2020.06.018

# 汽车液压变矩器铆钉断裂分析

### 胡孝昀

(南京航空航天大学 机电学院,江苏 南京 210016)

摘 要:铆钉是汽车液压变矩器的连接件,铆钉失效将导致液压变矩器不能正常工作。通过对 铆钉断口宏观和微观形貌观测、EDS 能谱分析、显微组织和硬度质量分数分析,发现该断裂铆 钉源区无明显夹杂,材质化学元素正常,显微硬度达标。铆钉断裂可能由局部区域受异常剪切 载荷超出铆钉的承载能力而导致冲切起裂,工作时裂纹扩展导致铆钉的断裂失效。 关键词:汽车;液压变矩器;铆钉;断裂;失效分析 中图分类号:TG306; TG131.1 文献标识码:B 文章编号:1671-5276(2020)06-0073-03

## Failure analysis of fracture of rivet

HU Xiaoyun

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics

#### and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: Rivet is used as the joint of automobile hydraulic torque converter. Its failure can lead to the failure of the hydraulic torque converter. By the macroscopic and microscopic morphology observation, EDS analysis, microstructure and hardness quality analysis of the rivet fracture, it is found that there is no obvious inclusion in the rivet source area. The material chemical elements are normal, and the microhardness is up to the standard. The rivet fracture may be caused by punching and cutting fracture caused by abnormal shear load and exceeding the overload capacity of the rivets in the local areas.

Keywords: automobile; hydraulic torque convertor; rivet; fracture; failure analysis

# 0 引言

铆钉作为一种工艺简单、成本低廉的连接方式,在机械结构的装配中广泛使用。铆钉作为重要的机械固定连接方式,已在航空结构件、汽车零件及轴承等产品装配中承担着重要的角色<sup>[1-4]</sup>。液压变矩器在汽车结构中占有重要地位,与其他连接方式相比,在液压变矩器某些结构中,采用铆钉连接更具优势。

在液压变矩器工作时,铆钉连接处易产生应力集中,导 致各种断裂。在种载荷的作用下,结构的失效主要体现为连 接件的失效。与整体保持架相比,铆接保持架具有更好的加 工及装配工艺性。目前,铆钉结构应用于液压变矩器已是一 种比较成熟的连接工艺。在实际工况中,铆钉连接构件如果 失效,液压变矩器将无法正常工作,进而导致设备不能正常 工作。针对液压变矩器在实际工作状况下铆钉失效的问题, 对铆钉的设计和加工工艺进行分析,以提高和改善液压变矩 器的使用寿命。

# 1 问题的阐述

某公司送检样为铆钉,试件在使用过程中失效,拆检 后发现铆钉断裂,原材料为 SWRCH10A。观察断口宏观 形貌后可知,铆钉为过载起裂后剪切断裂特征。为进一步 判定其断裂原因,对送检样品开展断口分析、材质分析、显 微组织分析等检测分析,判断铆钉断裂原因。

检测方法:1)宏观形貌观察(目眼及体视显微镜); 2)微观形貌观察及能谱 EDS 分析(扫描电子显微镜及能 谱仪);3)硬度测试(显微硬度计);4)金相分析(蔡司金相 显微镜等)。

## 2 数据结果分析

## 2.1 宏观检查和断口宏观形貌

送检铆钉的宏观形貌如图 1 所示,将断裂的铆钉编号 为 1#、2#。按照图中所示线切割截取铆钉断口及其匹配 断口试样,分别进行各项试验。从图中可看出过载及剪切 特征明显。1#、2#铆钉在同一个传动片上连接,两断口失 效分离,1#变形较 2#严重。



将铆钉断口进行清洗、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,如图2所示。由图2可知

作者简介:胡孝昀(1980—),男,江苏南京人,工程师,博士,研究方向为电铸。

#### ・机械制造・

断口呈平直状,根据其受力情况及工况过程可以大致判断 为两铆钉在传动片往复拉拔作用下分别失效,呈现剪切和 拉拔特征,扭转严重。结合断裂铆钉断面磨损情况,初步 判断该试件最早失效起裂位置为:1#铆钉(图 2(a))起源 于铆钉断口侧端面位置,裂纹扩展方向如图中箭头所示, 右边源区断口呈现台阶脊状,左右两端受传动片来回挤压 剪切,裂纹扩展方向如图中箭头所示(断口失效方向初判 如图中箭头所示):2#铆钉(图 2(b))同样起源于铆钉断 口侧端面位置(断口失效方向初判如图中箭头所示)。失 效件断口显示为过载剪切断裂特征,传动片变形,铆钉磨 损严重,侧壁挤压痕迹明显。在莱卡显微镜下观察铆钉外 壁后,断口附近未见异常缺陷,表面挤压磨损。为进一步 判定其断裂原因,继续开展了以下检测。



图 2 铆钉断口宏观形貌

## 2.2 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源区表面形态,并 对由宏观形貌初步判定的最先起裂铆钉及后续断裂铆钉 分别进行微观扫描分析如下。

由图 3-图 15 可知,1#、2#失效铆钉断口扫描特征均 以大面积剪切韧窝为主。扫描观察铆钉侧壁源区,未见明 显缺陷及裂纹,传动片挤压拉拔痕迹明显,起裂于边角位 置,源区未见明显氧化产物及夹杂,对磨严重;在传动片拉 挤作用下,表面压痕明显,扩展及瞬断区扫描观测后可见 明显剪切韧窝特征。

观察1#铆钉源区处由于变形与铸铁分离,形成较大 间隙,第2源区被传动片挤压变形,与铸铁分离形成缝隙。 由图3、图4、图6,断面可见往复的压痕及损伤,局部剪切 韧窝两个方向形成重叠。如图5、图8所示,在第2源区 局部出现振动条带特征。如图7所示,最终撕裂区呈现拉 拔韧窝特征。如图9所示,铆钉断裂前受传动片往复应力 拉拔挤压变形,过载振动撕裂。

观察 2#铆钉源区处由于变形与铸铁分离,形成较大 间隙,瞬断区和铸铁接触挤压严重,缝隙较小。图 10、图 14、图 15 中,断面可见横向的压痕损伤以及纵向的挤压损 伤条带和扭转变形痕迹,局部形成褶皱损伤,说明在断裂 过程铆钉表面受到较大的滑动摩擦和挤压损伤,并且源区 附近局部拉拔颈缩特征明显,说明铆钉断裂前受传动片往 复应力拉拔挤压变形。





(a) 低倍率 (b) 高倍率 图 3 铆钉源区表(端面)扫描(1#)



图 12 铆钉起始区高倍扫描(2#)





图 15 铆钉瞬断区 高倍扫描(2#)

1#和 2#铆钉起裂区的 SEM-EDX 能谱半定量分析检测结果如图 16 和图 17 所示。能谱结果表明铆钉含有锌元素,此由表面镀锌的缘故。综合以上各区域 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,局部磨损表面由镀锌层元素带入。





图 17 铆钉 EDS 定点元素分析(2#)

## 2.3 显微组织观察分析

为进一步判定该试件热处理状态问题,对1#和2#断

口试件取样做金相观察,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,检测 结果如图 18 和图 19 所示。由图可知,1#和 2#源区表面未 见微裂纹和异常表面缺陷及夹杂物。



图 18 1#铆钉材料金相组织 表面抛光图



图 19 2#铆钉材料金相组织 心部抛光图

根据图 20 和图 21 可知,经 4%硝酸酒精腐蚀后,铆钉 组织以珠光体+铁素体为主,表面镀层抛光后观测未见明 显夹杂、裂纹陷等缺陷,组织无异常<sup>[5-6]</sup>。



## 2.4 硬度原材料化学成分分析

分别针对工件上断裂处采集多点硬度,硬度值如表1 所示。对照该工件热处理工艺要求可知断件硬度达标<sup>[7]</sup>,表面与心部硬度未见明显差异。

表1 铆钉显微硬度测试结果

测试位置	1#		2#		
	硬度值	结果	硬度值	结果	
表面(HV0.2)	165/167/162/170	达标	168 /169/163/165	达标	
心部(HV0.2)	167/167/165/169	达标	170/165/166/167	达标	
断口(HRB)	82 /79/83/80	达标	80 /81/80/82	达标	

(下转第78页)

#### 2.3 故障机理

前机匣与涡流机匣之间供油导管胶圈槽公称直径超差,导致胶圈压缩率不足,密封不严。试车过程中,由于滑 油油路内部压力增大(0.138 MPa~0.7 MPa),滑油从供油 导管接合处渗漏,在前机匣与涡流机匣下方流道接合缝内 侧的凹槽累积,积满后经接合缝进入鼓风机流路,被鼓风 机抽吸从出口排出。

当发动机状态升高时,油路内部压力增大,滑油泄漏 量随之增大,故在试车过程中,发动机状态越高,鼓风机出 口喷出的油雾越多。

## 3 结语

本文针对某型涡轴发动机鼓风机漏油故障,详细分析 了故障原因,进行了排查、验证,查明了鼓风机漏油故障原 因是前机匣与涡流机匣之间供油导管胶圈槽公称直径超 差。对该型发动机滑油泄漏故障的排除具有参考价值,也 为该型发动机研制积累了经验。

#### 参考文献:

- [1]周海京,遇今.故障模式、影响及危害性分析与故障树分析[M].北京:航空工业出版社,2003.
- [2] 史定华, 王松瑞. 故障树分析技术方法和理论[M]. 北京:北 京师范大学出版社, 1993.
- [3] 张椋. 航空发动机滑油系统常见故障分析[J]. 中国新技术新

产品,2019(3):31-32.

- [4] 杨家旺,姜会庆,周琳. 航空发动机滑油供油系统建模及应用 [J]. 工业技术创新,2019(3):80-85.
- [5] 黄震,付卫芳. 航空发动机机匣结合面漏油故障研究[J]. 机 械工程师,2019(5):176-177.
- [6] 章楠,薛锋. 某型航空发动机滑油渗漏故障浅析[J]. 航空维 修与工程,2015(10):62-64.
- [7] 屈衍静,曹丽,娜栾旭,等. 某航空发动机滑油位异常下降故 障分析[J]. 航空发动机,2018(1):27-31.
- [8] 夏海波,俞振华,米廪营,等.一起因轴承机匣与中支点不密 封导致发动机滑油消耗量偏大故障分析[J]. 航空维修与工 程,2018(12):93-94.
- [9] 陈农田,马婷,王杰,等. 模糊故障树分析法在航空发动机滑 油渗漏分析中的应用[J]. 计算机测量与控制,2016(6): 64-67.
- [10] 中国航空动力机械研究所. 某型涡轴发动机培训手册[M]. [S.I; S.n]:2018.
- [11] 林基恕. 航空燃气涡轮发动机机械系统设计[M]. 北京:航空工业出版社,2005.
- [12] 秦大同,谢里阳. 现代机械设计手册:润滑与密封设计[M]. 北京:化学工业出版社,2013.
- [13] 杨家旺. 某型涡轴发动机 A 轴承腔漏油故障分析研究[J]. 南华动力,2016(2):1-4.

收稿日期:2020-06-15

#### (上接第75页)

铆钉的质量分数检测结果见表 2,可见其符合标准规 定 SWRCH10A 钢材要求<sup>[8]</sup>。

SWRCH10A	C	Si	Mn	S	Р	Al
	0.08~0.13	≤0.10	0.30~0.60	≤0.035	≤0.030	≥0.02
铆钉	0.091	0.051	0.42	0.006	0.013	0.05

从铆钉断口宏观形貌检测结果判定铆钉为过载起裂 后剪切扩展失效。综合以上检测结果,结合该试件的工艺 及使用工况分析后可知,断裂铆钉源区无明显夹杂,材质 化学元素正常,显微组织和显微硬度达标。1#铆钉在传动 片往复作用下剪切拉拔从侧端面起裂,向内部扩展,最终 在中心附近拉拔分离,随着 1#断裂后,2#被快速剪切发生 横向断裂。结合断口微观扫描形态,铆钉断裂诱因可考虑 工作中铆钉在传动片作用下,局部受异常剪切载荷应力集 中,从而导致加载力超出本身承载能力冲切起裂,进而拉 拔扭转扩展失效。

## 3 结语

通过对液压变矩器铆钉失效情形的检测分析,铆钉断

裂是由局部区域受异常剪切载荷应力集中超出铆钉的承载能力导致冲切起裂,工作时裂纹进一步扩展导致的。本 文通过分析此次铆钉断裂的案例,为液压变矩器的设计和 加工工艺提供参考价值;为改善液压变矩器的性能和带来 更多的经济和社会价值提供借鉴意义。

#### 参考文献:

\*\*\*\*\*\*

- [1] 惠旭龙,牟让科,白春玉,等. 铆钉元件纯剪切失效特性研究 [J]. 科学技术与工程,2015,15(27): 146-151.
- [2] 邓成江,何晓聪,邢保英,等. 基于试验的自冲铆接头失效机 理分析[J]. 热加工工艺,2013,42(17): 220-223.
- [3] 解江,白春玉,舒挽,等. 航空铆钉动态加载失效实验[J]. 爆 炸与冲击,2017,37(5): 879-886.
- [4]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.
- [5] GB/T 13298—2015 金属显微组织检验方法[S].
- [6] GB6394—2002 金属平均晶粒度测定方法[S].
- [7] GB/T 4340.1—2009 金属维氏硬度试验 第1部分:试验方法[S].
- [8] Q-BQB 517-2009 冷镦钢盘条[S].

#### 收稿日期:2019-09-02