

某传动轴裂纹的检验诊断与原因分析

季献余¹,刘松²

(1. 南京康尼机电股份有限公司,江苏 南京 210046;

2. 航空工业南京机电液压工程研究中心,江苏 南京 211106)

摘要:通过断口检查、化学分析、金相检验和硬度测试等方法,对某传动轴裂纹进行了检诊断和原因分析。结果表明:该传动轴的裂纹性质为氢脆裂纹。因感应淬火工艺不当,使该端心部淬透,硬度增高,氢脆敏感性增大是其氢脆裂纹产生的主要原因。

关键词:传动轴;裂纹;氢脆;感应淬火

中图分类号:TB302.5 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2021)03-0062-02

Inspection Diagnosis and Analysis of Transmission Shaft Crack

Ji Xianyu¹, Liu Song²

(1. Nanjing Kangni Mechanical & Electrical Co., Ltd., Nanjing 210046, China;

2. AVIC Nanjing Engineering Institute of Aircraft Systems, Nanjing 211106, China)

Abstract: The crack of transmission shaft was diagnosed and analyzed by means of fracture surface examination, chemical composition analysis, metallographic examination and hardness testing. The results show that the crack feature of transmission shaft is of hydrogen embrittlement. The main reason for the crack embrittlement is improper induction hardening technology which results in the hydrogen embrittlement sensitivity increase.

Keywords: transmission shaft; crack; hydrogen embrittlement; induction hardening

0 引言

准备装配某传动轴时发现存在裂纹。该传动轴的材料为40CrNiMo钢,其制造工艺为:原材料—调质热处理—机加成型—局部感应淬火—磁力探伤—表面处理(酸洗、发蓝)—打标记—入库。本文从传动轴的裂纹分布位置和断口形貌观察与分析,进行金相组织和硬度的检测,确定了裂纹的性质,并对裂纹产生原因进行了分析。

1 理化检验

1.1 外观形貌检查

库存的该批传动轴经检查,裂纹均分布在传动轴感应淬火一端的花键齿底部,未进行感应淬火端无裂纹存在,严重处裂纹已经肉眼可见,见图1-图2。



图1 传动轴形貌

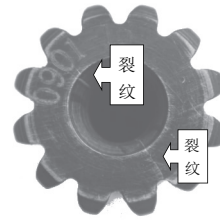


图2 裂纹形貌

1.2 断口形貌检查

打开传动轴裂纹,观察其断口的形貌。该断口形貌分为两个区域:Ⅰ区和Ⅱ区,见图3。Ⅰ区为原始裂纹区,其断口形貌为沿晶,无腐蚀形貌和腐蚀产物存在,见图4;Ⅱ区为人工打开断口区,其断口形貌为韧窝,见图5。

1.3 金相检查

对传动轴进行金相组织检查,结果发现传动轴感应淬火端已经完全淬透,与图样技术要求的感应淬火层厚度0.5 mm~1.0 mm严重不符。传动轴感应淬火端心部组织为细小马氏体,见图6;传动轴未感应淬火端组织为回火索氏体,见图7。

第一作者简介:季献余(1978—),男,江苏南京人,工程师,工程硕士,研究方向为控制工程。

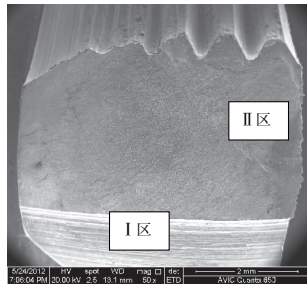


图3 断口形貌

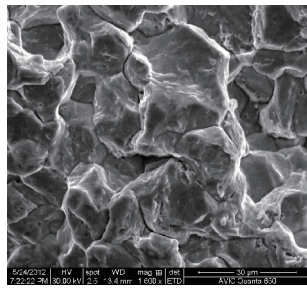


图4 沿晶形貌

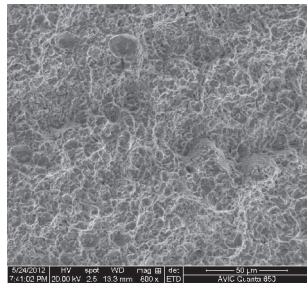


图5 韧窝形貌



图6 感应淬火端心部组织



图7 未感应淬火端组织

1.4 硬度测试

对传动轴进行硬度测试,结果见表1。硬度测试结果

表明传动轴感应淬火端心部的硬度已经严重超出了图样的技术要求。

表1 硬度测试结果

测试部位	测试值(HRC)	技术要求(HRC)
感应淬火端心部	51.0	33~44
未感应淬火端	39.5	33~44

1.5 材料成分分析

应用直读光谱,对传动轴质量分数进行分析,结果见表2。分析结果符合GB/T 3077-2015对40CrNiMo钢质量分数的规定。

表2 传动轴的质量分数 单位:%

项目	元素					
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo
测试值	0.42	0.56	0.20	0.88	1.50	0.24
标准值	0.37~ 0.44	0.50~ 0.80	0.17~ 0.37	0.60~ 0.90	1.25~ 1.65	0.15~ 0.25

2 分析与讨论

分析传动轴理化检验结果和制造工艺可知,裂纹均匀分布在传动轴感应淬火端,但感应淬火后进行磁粉探伤并没有发现裂纹,这说明裂纹并不是在感应淬火过程中产生的。由于严重的裂纹已经肉眼可见,并且有一条正处在打标记刻字部位(图2),但打标记工序并没有发现;裂纹是在从库房领出、准备装配的过程中发现的,这些说明裂纹是在库存过程中产生的。由以上分析可以确定传动轴上的裂纹性质应为延迟裂纹^[1]。延迟开裂是在静应力下,材料经过一段时间后突然脆性破坏的一种现象。这种现象是材料—环境—应力相互作用而发生的一种环境脆化,应力腐蚀、氢脆均属于这类断裂性质。断口检查可知,原始裂纹区断口为沿晶形貌,且无腐蚀形貌和腐蚀产物存在;人工打开断口区为韧窝形貌。通过该断口形貌特征不仅可以更加确定裂纹性质为延迟裂纹,而且还可以进一步判断出该裂纹为氢脆裂纹^[2-6]。

氢脆是由于氢渗入金属内部导致的损伤,从而使金属零件在低于材料屈服极限的静应力持续作用下导致的破断失效。因此应从氢的来源、材料的氢脆敏感性和应力情况三方面来分析氢脆产生原因,并确定致使传动轴氢脆裂纹产生的主要因素。

传动轴制造过程进行过发蓝处理,酸洗是发蓝处理的前处理工序,目的是除锈,为发蓝处理做准备,也就是酸洗过程产生的氢成为传动轴氢脆裂纹产生的氢来源。同样的酸洗过程,形状相同,传动轴两端氢的渗入量也应相近,但该批传动轴的裂纹均分布在其感应淬火一端,而未感应淬火一端并没有裂纹存在,这些说明该批传动轴酸洗过程中氢的渗入量并不是致使传动轴氢脆裂纹产生的主要原因。

(下转第67页)

4 结语

针对合作卫星舱段间的对接与更换任务,介绍了一种新型机电连接接口。根据容差指标要求给出了连接接口方案设计,通过动力学仿真分析得到了位置容差 ± 50 mm、角度容差 $\pm 7^\circ$ 的容差范围,验证了连接接口具有一定的捕获及容差能力且满足容差指标要求。

参考文献:

- [1] 王艳奎. 临近空间飞行器应用前景及发展分析[J]. 国防科技, 2009, 30(2):20-24.
- [2] 林来兴. 四十年空间交会对接技术的发展[J]. 航天器工程, 2007, 16(4):70-77.
- [3] 娄汉文,张柏楠,刘宇. 空间对接机构的技术发展[J]. 航天器工程, 1994(3):1-22.
- [4] 崔乃刚,王平,郭继峰. 空间在轨服务技术发展综述[J]. 宇航学校, 2007, 28(4):805-811.

- [5] 陈宝东,唐平. 空间对接机构技术及其研制[J]. 上海航天, 2005(5):6-9.
- [6] 李磊,聂宏,陈金宝,等. 自动卫星对接结构设计及关键参数研究[J]. 机械设计与制造, 2012(11):143-145.
- [7] 杜昊,朱映远,刘宏. 大容差空间合作目标捕获对接装置设计的研究[J]. 机械设计与制造, 2013(2):12-15.
- [8] 戚杰,张翔,赵勇,等. 面向微小卫星的类杆锥式软对接三维动力学建模与参数分析[J]. 振动与冲击, 2017, 36(23):58-67.
- [9] 章仁为. 卫星轨道姿态动力学与控制[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 1998:157-176.
- [10] 徐颖,邵晓巍,陈吉安,等. 面向智能微纳卫星的锥-杆型对接机构设计[J]. 上海航天, 2009, 26(1):43-47, 56.
- [11] 邓润然,韩增尧,马炜,等. 爪型航天器对接机构容差性能分析[J]. 计算机仿真, 2014, 31(12):79-83, 299.

收稿日期:2020-05-13

(上接第 63 页)

金属材料的氢脆敏感性随其强度、硬度的升高而增加。文献[7]介绍,一般钢中的含氢量在(5~10) mg/kg 以上就会产生氢脆裂纹,但对高强度钢,即使钢中的含氢量 < 1 mg/kg 也可能发生氢脆。另外钢的显微组织对其氢脆敏感性也有影响,奥氏体、珠光体、索氏体、贝氏体、马氏体,氢脆敏感性依次增大^[8]。从金相和硬度测试结果可知,传动轴感应淬火端心部已经淬透,组织为马氏体,硬度明显比图样技术要求高。这些都说明传动轴感应淬火端由于感应淬火工艺或操作不当,致使该端氢脆敏感性增大;同时也很好地解释了在相同的氢渗入量情况下,氢脆裂纹均分布在传动轴感应淬火一端的原因。由于氢并不是均匀分布在金属内部,而是受应力梯度的影响,向高应力区扩散^[9]。在应力集中的区域,氢与局部应力场交互作用,在此处形成氢的局部高浓度偏聚而发生氢脆开裂。传动轴裂纹分布在其感应淬火一端的花键齿底部,就是因为花键齿底部位置残余应力较高,应力较为集中。

通过上面的分析可以确定,传动轴的裂纹性质为氢脆裂纹;因感应淬火工艺或操作不当,使该端心部淬透(正常情况下花键齿的底部位置应无感应淬火层,花键齿的顶部位置要求有 0.5 mm~1.0 mm 的感应淬火层),导致氢脆敏感性增大是其氢脆裂纹产生的主要原因。后来制造的传动轴优化了感应淬火的工艺,增加了对感应淬火层深度的控制和检测,规范了酸洗和除氢操作,就再也没有产生过氢脆裂纹。

3 结语

- 1) 传动轴的裂纹性质为氢脆裂纹;
- 2) 感应淬火工艺不当,致使该端心部淬透,硬度增高,氢脆敏感性增大是其氢脆裂纹产生的主要原因;
- 3) 建议传动轴从库房领出准备装配前,再次对其进行磁粉探伤,确保传动轴无裂纹缺陷;
- 4) 建议优化传动轴感应淬火的工艺,增加对感应淬火层深度的控制和检测。

参考文献:

- [1] 惠卫军,董瀚,翁宇庆. 高强度钢耐延迟断裂性能的评价方法[J]. 理化检验(物理分册), 2001, 37(6):231-235.
- [2] 王永庆. 30CrMnSiNi2A 螺栓断裂分析[J]. 理化检验(物理分册), 2000, 36(10):461-463.
- [3] 杨力,孙浩,奚建法,等. 超高强度螺栓断裂失效分析[J]. 理化检验(物理分册), 2004, 40(4):195-198.
- [4] 王斌,刘高远,吴伟. 某型导弹发射装置用压气阀断裂分析[J]. 失效分析与预防, 2007, 2(1):55-58.
- [5] 傅国如,陈卫东,吕凤军,等. 飞机起落架支柱固定螺栓环境氢脆断裂研究[J]. 装备环境工程, 2007, 4(6):50-53.
- [6] 张家付,王维,冯抗屯. 起落架 40CrNi2Si2MoVA 钢螺栓断裂分析[J]. 失效分析与预防, 2008, 3(4):51-54.
- [7] 张栋,钟培道. 失效分析[M]. 北京:国防工业出版社, 2004.
- [8] 王玉玲,王俊. 30CrMnSiA 螺栓失效分析[J]. 机械工程材料, 2008, 32(5):71-73.
- [9] 别守信. 高强度钢氢脆检测方法及其镉钛镀层性能研究[J]. 材料工程, 1993, 21(6):30-31, 25.

收稿日期:2020-12-14