

接头螺纹咬死失效原因分析

万蕾 孙璐 杨耀东

(北京卫星制造厂,北京 100094)

文 摘 管路接头在拆除时发生螺纹失效,本文对失效螺纹结构件形貌观察与测量,并对其材质进行硬度检验、金相分析。结果表明,管路接头螺纹发生了咬死,属损坏程度最严重的一类黏着磨损。依据黏着磨损发生的机理,结合螺纹连接结构的装配原理,最终确定选用同一种材料作为摩擦副是导致接头螺纹发生黏着磨损的内因;柱塞接头与螺纹接头间隙过小,导致安装过程中接头螺纹的螺纹齿形受损,产生多余物堆积,造成外套螺母向一侧偏斜是造成此次螺纹副发生咬死的主要原因。

关键词 管路接头,螺纹,咬死,黏着磨损,间隙过小

中图分类号:TH131.3

DOI:10.3969/j.issn.1007-2330.2015.01.020

Failure Analysis for Screw Thread of Joint

WAN Lei SUN Lu YANG Yaodong

(Beijing Spacecrafts, Beijing 100094)

Abstract A screw failure was found when the line joints were taken apart. This paper records the results of macroscopic observation, the microscopic observation and measurement, the observation of the screw, and the material tests of the failure part, such as hardness test and metallographic analysis. The results indicated a seizure of the threads on the line joints which originated in an adhesive wear, the type of which causes most severe damage. Combined with the assembly mechanism of the screw thread connection, it is concluded that using the same material is the internal cause of the adhesive wear of the line joint. Too little interspaces between the joint which leading the screw thread of the joint broken during installation and the remainders accumulate made the nut deflexion is the main cause of the adhesive wear of the line joint.

Key words Line joint, Screw thread, Seizure of thread, Adhesive wear, Little interspaces

0 故障描述

管路接头在完成试验后拆除时发现外套螺母与螺纹接头发生咬死,无法拧动。管路接头的连接示意图如图1所示。安装时,先将2个挡圈和1个O形圈按顺序装入柱塞接头的密封槽内,然后将垫圈放入螺纹接头内,再将柱塞接头插入螺纹接头,柱塞接头安装到位后旋紧外套螺母,通过外套螺母与螺纹接头的螺纹连接将柱塞接头、外套螺母、螺纹接头三者压紧,压紧后利用O形圈的变形实现柱面密封,垫圈的变形实现端面密封。发生咬死的柱塞接头、外套螺母、

螺纹接头所用材料均为1Cr18Ni9Ti,状态为固溶态。

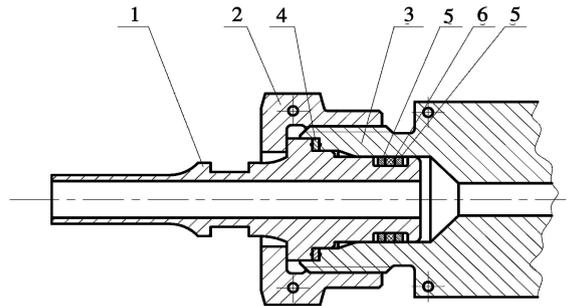


图1 管路接头的连接示意图

Fig.1 Sketch map of line joint

1-柱塞接头;2-外套螺母;3-螺纹接头;4-垫圈;5-挡圈;6-O形圈。

收稿日期:2014-12-20

作者简介:万蕾,1983年出生,硕士,主要从事失效分析工作。E-mail:wanlei1021@126.com

1 分析与试验结果

1.1 失效件宏观观察

为了对管路接头咬死部分进行分析,将管路接头沿着柱塞外径 $\Phi 12\text{ mm}$ 处轴向切开(由于柱塞接头上套有非金属的挡圈和密封圈,无法从组件的中心线切割),采取两端对切的方式进行切割,切割后失效件的宏观形貌如图 2 所示。

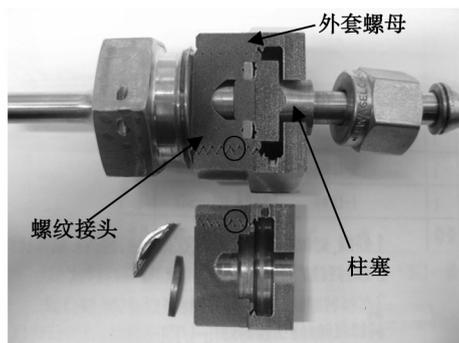


图 2 失效件的宏观形貌

Fig. 2 Macroscopic of the failure line joint

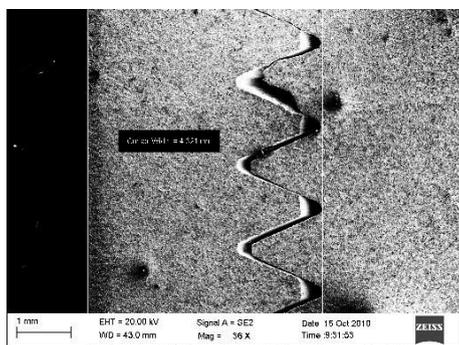
由图 2 可知,外套螺母与螺纹接头的螺纹咬合不对称,整体偏向一侧;螺纹接头的螺纹在间隙偏大的一侧有一处存在明显的缺损现象(图 2 中黑圈内所示);柱塞接头虽已进入螺纹接头的内腔,但柱塞的 $\Phi 18\text{ mm}$ 圆柱面卡在螺纹接头内孔上端,未压紧铜垫圈。

1.2 失效件微观观察与测量

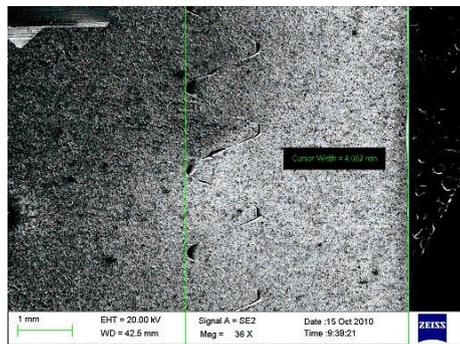
为进一步确定咬死原因,对失效件进行扫描电镜微观观察与测量,如图 3 所示。通过观察可知外套螺母与螺纹接头的螺纹咬合不对称,整体偏向一侧,经测量失效件两侧的螺纹间距相差约 0.229 mm ,这表明外套螺母与螺纹接头轴心偏差明显过大。

螺纹接头的螺纹在间隙偏大的一侧有一处存在明显的缺损现象,受损齿形附近存在堆积的多余物,能谱分析结果表明,堆积的多余物与基体成分一致。其微观形貌如图 4 所示。

对失效件螺纹间隙较小的一侧进行微观观察,其形貌如图 5 所示,可知外套螺母与螺纹接头的螺纹材料多处发生黏着。



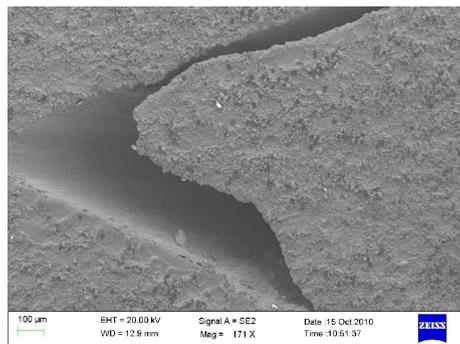
(a) 间隙较大侧



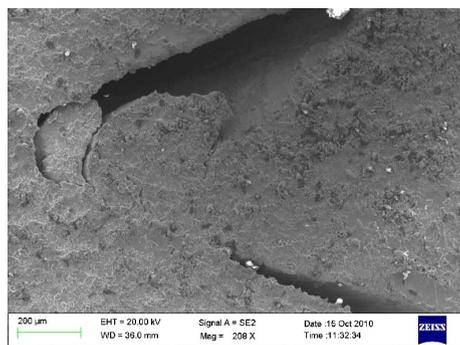
(b) 间隙较小侧

图 3 失效件螺纹间距测量结果

Fig. 3 Test result of space between screw



(a) 受损螺牙



(b) 多余物堆积

图 4 失效件受损螺牙处的微观形貌

Fig. 4 Microscopic appearance of damaged thread tooth

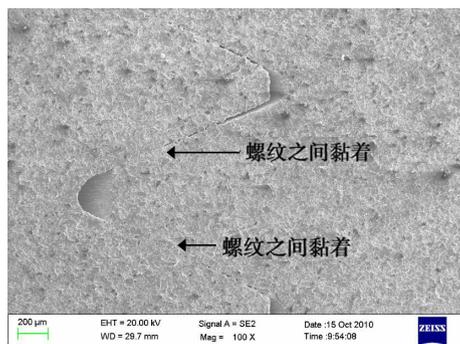


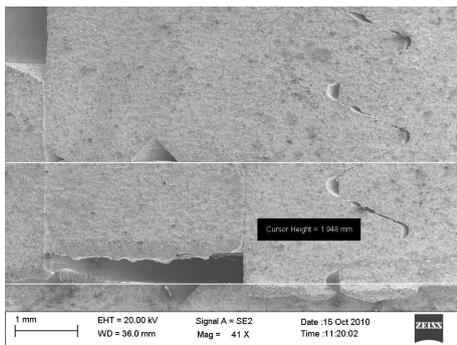
图 5 失效件螺纹间隙较小的一侧的材料黏着现象

Fig. 5 Adhesive phenomenon

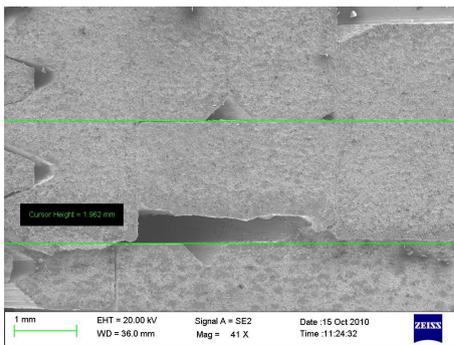
对铜垫圈与柱塞接头连接处的形貌进行观察如图 6 所示。对铜垫圈与柱塞接头之间的距离进行微
宇航材料工艺 <http://www.yhclgy.com> 2015 年 第 1 期

观测量,测量结果表明两侧的铜垫圈距柱塞接头的距离基本相同,由此说明柱塞接头在安装过程中并未发

生偏斜,但柱塞的 $\Phi 18\text{mm}$ 圆柱面卡在螺纹接头内孔上端,与铜垫圈直接存在一定间隙,未压紧铜垫圈。



(a) 右侧



(b) 左侧

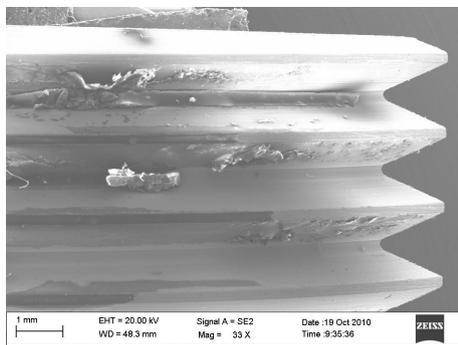
图6 失效件上铜垫圈与柱塞接头连接处形貌

Fig.6 Microscopic appearance between copper washer and joint

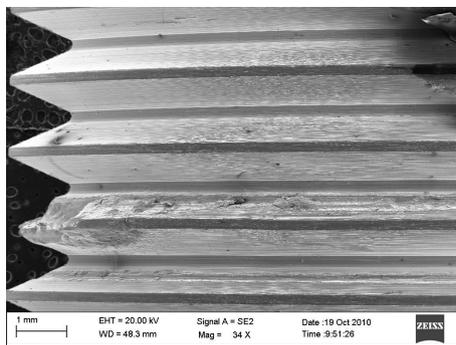
1.3 螺纹形貌观察

将发生咬死的外套螺母与螺纹接头用外力分开并分别对螺纹接头、外套螺母的螺纹进行观察,其螺纹微观形貌分别如图7和图8所示。可知,螺纹接头和外套螺母间隙较小侧的螺纹内存在明显的磨损、撕脱痕迹,且内部存在堆积的金属多余物,对多余物进

行能谱分析,结果表明与基体成分一致。由此表明螺纹接头和外套螺母间隙较小侧的螺纹由于结合紧密,材料发生了黏着,在外力分开后表面材料发生了明显的磨损、撕脱和材料转移。而在螺纹接头和外套螺母间隙较大侧的螺纹内磨损程度较小,仅在图4(b)所示的螺牙处存在明显的磨损现象。



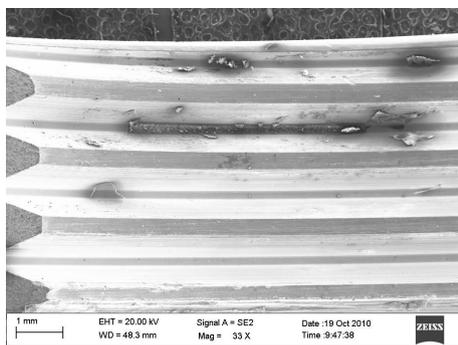
(a) 间隙较小侧



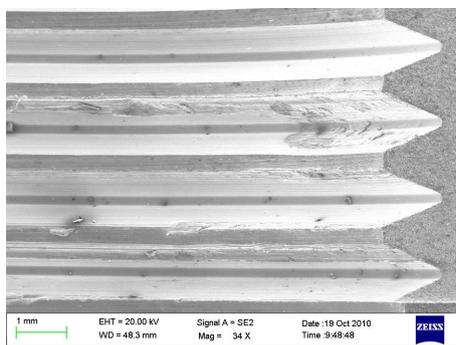
(b) 间隙较大侧

图7 螺纹接头的外螺纹形貌

Fig.7 Appearance of external thread



(a) 间隙较小侧



(b) 间隙较大侧

图8 外套螺母的内螺纹形貌

Fig.8 Appearance of internal thread

1.4 失效件金相分析

在螺纹接头和外套螺母上截取金相试样,磨抛

后,经王水浸蚀后的组织形貌如图9所示。对比标准金相图谱^[1]可知,螺纹接头和外套螺母的金相组织

为奥氏体,部分晶粒呈孪晶分布,金相组织正常。

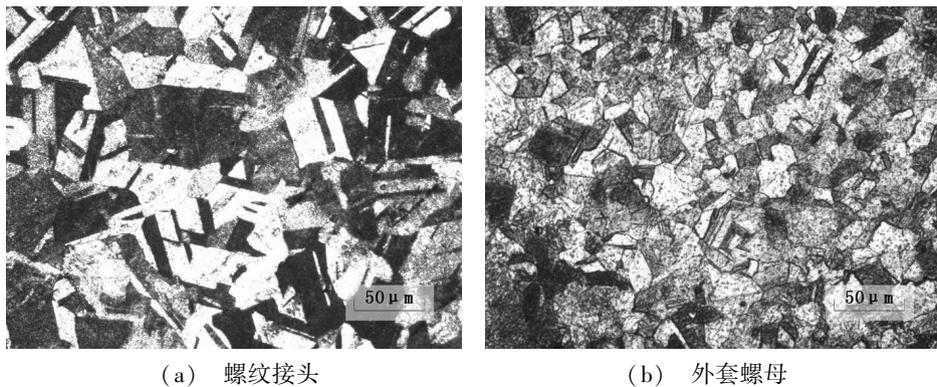


图9 失效件金相组织

Fig.9 Metallurgical structure of the failure line joint

1.5 失效件硬度测量

对螺纹接头和外套螺母进行布氏硬度测量,结果如表1所示,结果表明螺纹接头和外套螺母的材料硬度符合标准要求。

表1 螺纹接头和外套螺母材料硬度测试结果

Tab.1 Test result of hardness

样品名称	测试结果	标准值
螺纹接头	113	HB≤187
外套螺母	127	HB≤187

2 综合分析与讨论

2.1 失效机理分析

通过对螺纹接头和外套螺母的螺纹表面形貌观察可知:螺纹接头和外套螺母的螺纹表面材料发生了黏着,在外力分开后螺纹表面材料发生了明显的磨损、撕脱和材料转移,这表明螺纹接头和外套螺母的螺纹接触表面发生了固相黏着,表面材料发生了转移,即两者表面发生了黏着磨损。从黏着磨损产生的机理分析可知^[2-4]:两个相对滑动的表面在摩擦力的作用下,表面层会发生塑性变形,使新鲜金属表面裸露出来,由于分子力的作用使两个表面发生焊合,如果外力能克服焊合点的结合力,相对滑动的表面可以继续运动,若剪切力发生在原来的接触表面上,就不会发生磨损;若剪切力发生在强度较低的金属一方,则强度较高的材料表面上将粘附对偶件的金属,如此继续摩擦下去,一部分转移的材料会因硬化、疲劳、氧化或其他原因而脱离出来,成为游离的磨屑,造成零件表面的耗失,形成黏着磨损。此次螺纹接头和外套螺母的螺纹发生咬死,属损坏程度最严重的一类黏着磨损,当黏着强度比两个摩擦副基体金属剪切强度大得多时,剪切将发生在摩擦副金属较深处,表面将沿滑动方向呈明显的撕脱,出现严重磨损,滑动继续进行,黏着范围很快增大,摩擦产生的热量使表面温度

剧增,极易出现局部熔焊,使摩擦副咬死,不能相对滑动^[5],此次发生失效的螺纹接头和外套螺母螺纹之间的黏着强度高于螺纹接头和外套螺母材料的剪切强度,且黏着区域大,剪切应力低于黏着强度,最终造成螺纹接头和外套螺母之间发生了咬死。

2.2 失效原因分析

一般来说,摩擦副之间发生黏着磨损主要与材料特性、接触压力与滑动速度两方面因素有关^[6-7]。

2.2.1 材料特性

材料的塑性越大,抵抗黏着磨损的能力越弱;互溶性大的材料所组成的摩擦副黏着倾向大。对于此次发生黏着磨损的螺纹接头和外套螺母,其所用为同一种材料,均为固溶态的1Cr18Ni9Ti,为完全互溶摩擦副;且该种材料塑性、韧性较好^[8];根据对螺纹接头和外套螺母硬度测试,结果表明螺纹接头和外套螺母的硬度基本相同;因此从摩擦副材料构成的角度分析,完全符合发生黏着磨损的条件。

2.2.2 接触压力与滑动速度

在摩擦速度一定时,黏着磨损量随接触压力的增大而增大,当接触压力超过材料硬度的1/3时,黏着磨损量急剧增加,严重时会产生咬死。此次螺纹接头和外套螺母的螺纹发生咬死,属损坏程度最严重的一类黏着磨损,通过观察此次发生咬死的外套螺母与螺纹接头的螺纹咬合明显不对称,整体偏向一侧,如此大的轴心偏差足以造成一侧的接触压力过大,并最终导致整个螺纹发生咬死现象。通过对整个螺纹副连接结构的分析,造成外套螺母与螺纹接头偏心主要有四方面的原因。

2.2.2.1 螺纹副配合间隙过小

螺纹副配合间隙过小会使螺纹副间的摩擦接触面积增大,螺纹面间的摩擦力增大,同时过小的配合间隙会降低螺纹副间容纳多余物以及螺纹变形的能力。此次螺纹副配合选用中等的公差值(中等公差

等级),且在外套螺母、螺纹接头在安装前均采用环(塞)规对其螺纹尺寸公差进行了检测,结果均符合要求,因此该原因可排除。

2.2.2.2 螺纹副存在多余物

螺纹副的多余物直接破坏螺纹副正常配合状态,是导致螺纹咬死的可能原因。操作人员在进行操作前对螺纹接头和外套螺母的螺纹及柱塞接头的外表面均用酒精进行擦拭,且通过微观观察和能谱分析发现此次发生咬死的外套螺母与螺纹接头螺纹仅有一处存在堆积的多余物,多余物成分与基体一致,因此判定多余物是在装配过程中螺纹损伤堆积形成的,当其超过螺纹副容错能力时,便造成螺纹严重偏斜,从而使螺纹间的接触压力增大,导致螺纹发生咬死现象,因此该原因不可排除。

2.2.2.3 柱塞接头未对中

在螺纹连接的过程中,柱塞接头虽没有参与螺纹连接,但其安装的垂直度和配合面的间隙直接影响螺纹接头和外套螺母安装的同轴度,进而影响到了螺纹副连接的正确性,通过观察发现柱塞接头虽未压紧铜垫圈,但通过测量发现两侧的铜垫圈距柱塞接头的距离基本相同,由此原因可排除。

2.2.2.4 柱塞接头与螺纹接头间隙过小

当柱塞接头与螺纹接头间隙过小时,柱塞接头的 $\Phi 18$ mm 外圆在螺纹接头倒角的影响下,能部分下落进螺纹接头中,但很难完全进入螺纹接头内,若此时按照正常操作将外套螺母拧紧到位,结果柱塞接头 $\Phi 18$ mm 外圆挤压螺纹接头的 $\Phi 18$ mm 内孔发生严重变形,从而使螺纹齿形变形。随着柱塞接头的深入,螺纹接头 $\Phi 18$ mm 内孔变形越严重,呈喇叭状。由于外套螺母的螺纹开口处应力可适当释放,应力集中在 $\Phi 18$ mm 内孔的根部附近。外套螺母的转动相当于丝套,将螺纹接头 $\Phi 18$ mm 内孔根部附近的外螺纹表面切伤,产生金属碎屑,造成外套螺母向一侧偏斜。对同批生产的其余两套产品柱塞接头与螺纹接头的配合间隙进行测量,配合面间隙为 $0 \sim 0.04$ mm,出现 0 mm 间隙的配合情况,表明柱塞接头与螺纹接头确实间隙过小,且通过观察发现柱塞的 $\Phi 18$ mm 圆

柱面卡在螺纹接头内孔上端,与铜垫圈直接存在一定间隙,未完全进入螺纹接头内,且外螺纹存在一处明显损伤,受损齿形附近存在堆积的多余物,与之前分析的失效现象吻合。

通过以上分析,此次发生黏着磨损的螺纹接头和外套螺母选用同一种材料作为摩擦副是导致其发生黏着磨损的内因;柱塞接头与螺纹接头间隙过小,柱塞接头压入螺纹接头的过程中,使螺纹接头的螺纹齿形受损,产生多余物堆积,造成外套螺母向一侧偏斜是造成此次螺纹副发生咬死的主要原因。

3 结论

(1)外套螺母与螺纹接头的螺纹表面发生了黏着磨损,造成管路接头螺纹发生咬死。

(2)此次发生黏着磨损的螺纹接头和外套螺母选用同一种材料作为摩擦副是导致其发生黏着磨损的内因;柱塞接头与螺纹接头间隙过小,柱塞接头压入螺纹接头的过程中,使螺纹接头的螺纹齿形受损,产生多余物堆积,造成外套螺母向一侧偏斜是造成此次螺纹副发生咬死的主要原因。

参考文献

- [1] 李炯辉. 金属材料金相图谱上册[M]. 北京:机械工业出版社,2006:941-948
- [2] 温诗铸,黄平. 摩擦学原理[M]. 北京:清华大学出版社,2003:310-315
- [3] 杨晓燕,郭春河. 某机载投放锁制机构发生黏着磨损故障分析[J]. 航空兵器,2008(2):56-58
- [4] 杨晓燕,张雷. 机载导弹发射装置黏着磨损分析[J]. 失效分析与预防,2008,3(2):37-41
- [5] 续海峰. 黏着磨损机理及其分析[J]. 机械管理开发,2007(4):95-98
- [6] 张栋,钟培道 陶春虎,等. 失效分析[M]. 北京:国防工业出版社,2008:231-235
- [7] 陶春虎,刘高远,恩云飞,等. 军工产品失效分析技术手册[M]. 北京:国防工业出版社,2009:88-90
- [8] 肖纪美. 不锈钢金属学问题[M]. 北京:冶金工业出版社,2006:213-220

(编辑 任涛)