

重载空投系统主轴黏着磨损的分析与改善

沈克,周燕飞

(南京航空航天大学 机电学院,江苏 南京 210016)

摘要:重载空投系统在抢险救灾和军用空投的过程中发挥着巨大作用,但该系统的故障将会给救灾、作战带来巨大隐患。采用 ANSYS Workbench 仿真复现主轴磨损状况,通过表面涂层的方式对主轴进行表面涂层修复处理,研究重载空投系统主轴在经过镀铬工艺处理后,其表面黏着磨损的改善状况。实验结果表明:表面处理后的试件在工作压力下有轻微的划痕,但并未出现黏着磨损,从而验证镀层对防止黏着磨损是有效的。

关键词:重载空投;黏着磨损;有限元;材料表面处理

中图分类号:TH117.1 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2023)02-0042-03

Analysis and Improvement of Spindle Adhesion Wear in Heavy Duty Airdrop System

SHEN Ke, ZHOU Yanfei

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: Heavy duty airdrop system plays an important role in the process of fighting danger and disaster relief and military airdrop, so its failure will bring about great hidden troubles to disaster relief operations. By ANSYS Workbench, the wear condition of spindle is simulated, and the surface coating of spindle is repaired by means of surface coating. The improvement of adhesive wear on the surface of the main shaft of heavy load air drop system after chrome plating is studied. The experimental results show that there are slight scratches on the specimens after surface treatment under working pressure, but no adhesive wear appears, which verifies that the coating is effective in adhesive wear prevention.

Keywords: heavy load airdrop; adhesive wear; finite element; material surface treatment

0 引言

重载空投系统在抢险救灾和军用空投的过程中发挥着巨大的作用,但该系统的故障将会给救灾、作战方面带来巨大的隐患。因此解决重载空投系统的问题具有非常重要的意义。重载空投是指利用降落伞等气动力减速器将重型武器装备或物资等投送到指定地点的一种技术。它主要用于空降作战的重型武器运送、后勤物资补给以及抢险救灾等^[1]。实际工作过程中,重载空投系统在着陆阶段发生物伞无法脱离问题,这会造成货物拖拽而损坏货物,不仅带来财产损失,更会延误物资的投放工作。利用仿真分析可研究其脱离的可靠性是否符合设计要求^[2-3]。将问题空投设备拆卸研究后,发现脱离锁主轴与锁环体主轴黏着无法分离,敲击分离后结合处后发现存在磨损烧伤现象,初步判断为黏着磨损导致。

相互摩擦的零件表面在工作中,金属从一个表面撕下并黏附到另一个零件表面的现象叫黏着磨损,它是零件最危险的破坏形式之一。加工后的零件表面不可能绝对地光滑。当两个零件接触时,微观凹凸不平的地方必然产生互相嵌入的现象。在接触紧密的地方其压强非常大,由于接触表面的嵌入和吸引,当摩擦表面相互运动时,如果嵌

入部分的应力小于材料的弹性极限,则接触点产生弹性挤压变形。如果接触点的应力超过了材料的弹性极限,则强度较大的金属嵌入部分会使强度小的金属产生塑性变形,再加上分子之间的吸引作用,结果将其表面拉伤。如果摩擦表面相对运动速度较快,则不仅使接触点压强增大,同时也会使接触点的温度增高,尤其是在润滑不好的情况下,温度可达到 1 500 ℃ 以上,从而使金属表面软化直至熔化,一部分耐热性差的金属熔接到耐热性强的金属表面上,最后由于表面的相对运动,将熔接的金属撕裂。本文建立有限元磨损模型,模拟工作环境下控脱摆板与脱离锁主轴间的相互作用,复现磨损故障^[4-5]。定位黏着磨损危险面,根据材料间磨损特性,在磨损处进行表面涂层处理,对比改善前后效果显著^[6-7]。

1 故障情况

1.1 故障现象

本次空投实验用 16G 主伞脱离锁,空投实验结束后,发现控脱摆板和锁环体主轴卡在一起,将两者敲击分离后,观察接触面,发现接触面有摩擦挤压等现象,如图 1 所示。

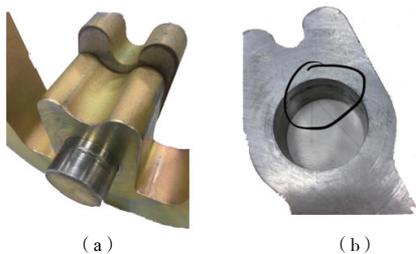


图1 黏着磨损情况

1.2 故障定位

故障发生后,对 16G 主伞脱离锁进行了检查,排除了脱离锁装配错误、火工品未工作、保险未打开、着陆时吊带连接件双边受力等故障。根据锁环体主轴和控脱摆板卡死的现象以及其表面的磨损情况,初步判断为锁环体主轴和控脱摆板之间发生了黏着磨损,导致了本次故障。

2 黏着磨损复现

2.1 故障检测

当两个物体发生接触时,由于接触表面微凸体之间的接触,在相对滑动、相对转动的过程中,同时伴随着巨大载荷的作用力,接触点之间会产生塑性变形或者剪切破坏,摩擦副表面附近的温度会发生急剧的增加,表层的金属局部区域在这种高温下会发生软化或者熔化的现象,造成接触点之间发生黏着或者焊合的情况,导致了材料的迁移,最终发生了黏着磨损的现象。

利用 50 倍的显微镜观察控脱摆板内孔的磨损情况,可以较为明显地看到几处被撕裂的痕迹,还包含着高温灼烧的痕迹,如图 2 所示。

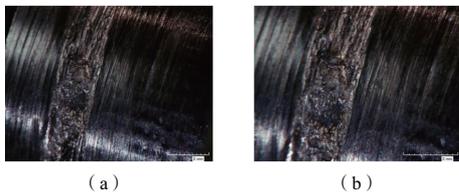


图2 50倍显微镜观察情况

图 3(a) 为 200 倍放大镜下锁环体主轴表面的磨损情况,可以较为清晰地看到沟壑纵横的撕裂痕迹,图 3(b) 为 200 倍放大镜下锁环体主轴表面的正常情况,对比之下,更容易看出磨损与不磨损的区别所在。

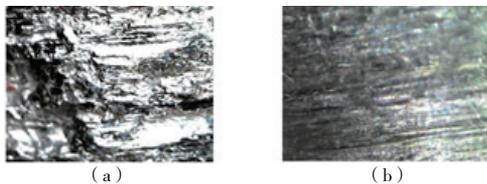


图3 200倍放大镜下磨损与正常表面对比图

2.2 有限元分析

1) 数值模型。主伞脱离锁的锁环体、控脱摆板有限

元模型如图 4 所示,共有 47 989 个节点,43 634 个六面体和五面体单元。



图4 有限元模型

2) 材料及边界条件。锁环体、控脱摆板的材料牌号为 30CrMnSiA,根据《GB/T3077—2015 合金结构钢》,其屈服强度 $\sigma_s \geq 835$ MPa。据机械设计手册,无油状态下钢-钢之间的摩擦系数为 0.15^[8]。孔轴间隙按 0.1 mm 计(销取公称直径 $\phi 30$ mm,孔取上极限 $\phi 30.2$ mm)。本次空投总质量 4 438 kg。根据经验,开伞过载 3g~6g,本报告取极限值 6g。另外,控脱摆板和锁环体主轴之间有相对转动。对锁环体、控脱摆板进行准静态的隐式非线性接触应力分析。

3) 有限元结果分析。控脱摆板内孔和锁环体主轴之间在巨大的表面压力下,发生相对转动(或者有相对转动的趋势),此时如果满足黏着点的强度比摩擦副两种金属材料的抗剪切强度大很多这一条件,剪切会产生于摩擦副两金属表面较深的位置,两金属表面将沿滑动的方向呈现出明显的撕裂痕迹,造成严重的磨损。随着滑动的继续,黏着的范围也迅速变大,摩擦生成大量的热让金属表面温度急剧增加,局部出现了熔焊的情况,造成摩擦副之间产生咬死,不能发生相对的滑动或者转动。图 5 可以明显看出,黏着磨损的方向是沿着孔、轴相对转动的方向。

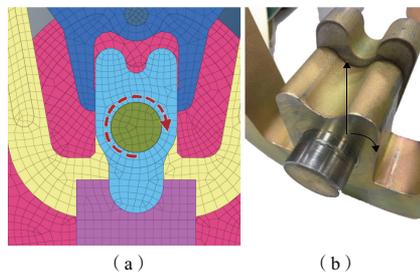


图5 控脱摆板相对锁环体主轴转动示意图

然后分析孔轴配合处的接触应力,锁环体应力集中区最大应力 1 020 MPa,控脱摆板最大应力 950 MPa,如图 6 和图 7 所示。



图6 锁环体应力云图

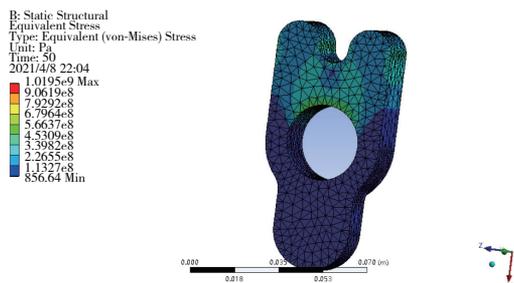


图7 控脱摆板应力云图

通过有限元分析,发现锁环体和控脱摆板的应力超过了30CrMnSiA的屈服强度835 MPa,在巨大的表面应力下产生了黏着磨损,仿真分析的结果和理论分析的结果与实际的故障情况是一致的,所以得到的结果是可靠的。

3 改进措施

针对材料的表面处理和表面载荷来改善黏着磨损问题如下所述。

1) 对新使用的偏摆式脱离锁进行跑合。一般而言,零件的磨损量和工作时间或者摩擦行程存在着3个阶段:跑合阶段、稳定磨损阶段和剧烈磨损阶段。在稳定磨损阶段,由于真实的接触面积在表面的相互运动过程中增大,且在跑合阶段金属材料在塑性变形的作用下产生加工硬化,零件表面的耐磨性得到提高,所以此时磨损率比较小。因此,应通过对新使用的脱离锁进行跑合尽量减少早期黏着的产生,延长稳定磨损阶段。

2) 对润滑情况进行改进。在润滑油或润滑脂中加入油性或极压添加剂可以提高摩擦副材料的抗黏着磨损能力。目前市面上这类产品有很多,考虑功用和性价比,可以选取BP百特能15高级液压油、BP安能脂LC1极压高温润滑脂、SAMNOX高性能抗磨液压油等。

3) 镀固体润滑剂。例如铅、锡、银等软金属或合金,但是需要一定的厚度。因为有些固体润滑剂表面比较容易氧化,此时只起到保护和防腐的作用。

4) 减小表面载荷。开伞瞬间的表面载荷由货物质量和开伞过载决定。货物质量是一定的,开伞过载主要由拉直速度(即开始充气速度)、开伞高度和伞衣阻力特征等因素决定,其中拉直速度和伞衣阻力特征的调节比较麻烦,开伞高度和过载值的关系为:开伞高度越高,过载值越小。所以可以通过适当提升开伞高度,减小开伞过载,达到消除黏着磨损的目的。

现对镀固体润滑剂这一措施进行实验。实验方案如下:在控脱摆板内孔壁上镀上一层铬,仅用锁环体和控脱摆板在压力机上进行实验。具体操作为,将锁环体固定,压力机施加30 kN的力作用在控脱摆板上模拟开伞时巨大的力。压力施加完成后,侧向敲击控脱摆板模拟在空中的偏摆,同时将控脱摆板和锁环体分离,观察实验样件表面的情况,同时与发生故障的零件进行对比。

实验后的样件如图8所示。锁环体和控脱摆板上有些轻微的划痕,但并未出现黏着磨损,所以使用镀层对防止黏着磨损是有效的。

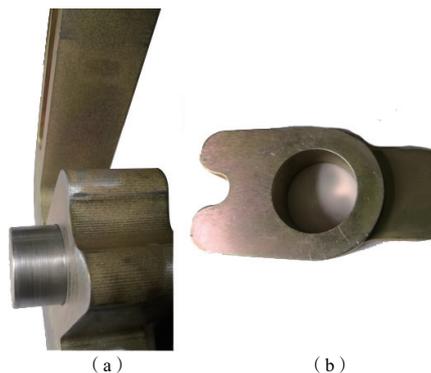


图8 未发生黏着的主轴和控脱摆板

4 结语

本文针对重载空投系统在实际工作过程中出现的货伞无法分离的现象,通过检查故障状况初步断定为黏着磨损问题。利用ANSYS Workbench模拟故障部件在工况下的受力情况,对比仿真结果与实际情况的符合程度,确认该故障产生的原因为工作时材料的最大应力超过材料的最大屈服极限;同时,在部件间存在相对转动的情况下,产生摩擦热量,导致部件间产生黏着焊蚀,最终导致货伞无法分离的问题。

针对黏着磨损问题,提出了如下几种解决方案:

- 1) 新使用的偏摆式脱离锁进行跑合;
- 2) 改进部件间润滑情况;
- 3) 表面镀固体润滑剂;
- 4) 减小表面载荷。

对表面镀固体润滑剂进行试验验证,对比工作压力下,镀层前后部件的表面磨损状况,验证了镀铬工艺处理措施的有效性。

参考文献:

- [1] GIONFRIDDO M. A survey of the us army rld programs in airdrop[C]// Aerodynamic Deceleration Systems Conference. USA. Reston, Virginia: AIAA, 1966.
- [2] 王晶,周燕飞,陈海松,等. 重型货物空投偏摆式脱离锁可靠度仿真分析[J]. 机械制造与自动化, 2021, 50(5): 91-94, 102.
- [3] 展亚南,丁阳春,蒋伟,等. 货物空投系统脱离锁空中解脱特性仿真研究[J]. 计算机仿真, 2014, 31(7): 49-53.
- [4] 刘家浚. 材料磨损原理及其耐磨性[M]. 北京:清华大学出版社, 1993.
- [5] 陈艳霞. ANSYS Workbench 18.0有限元分析从入门到精通: 升级版[M]. 北京:电子工业出版社, 2018: 332-344.
- [6] 吴子恺,陈伟,周海铭,等. 回火温度对30CrMnSiA钢力学性能的影响[J]. 金属热处理, 2019, 44(2): 163-167.
- [7] 汪红兵. 准静态和动态载荷下人字齿轮黏着磨损数值计算[D]. 长沙:湖南大学, 2017: 14-15.
- [8] 成大先. 机械设计手册(第五版 第1卷)[M]. 北京:化学工业出版社, 2007: 1-8.

收稿日期: 2021-11-03