

引文格式: 舒阳, 陈爱民, 骆金威, 等. 自润滑关节轴承冷缩装配研究与应用[J]. 航空制造技术, 2021, 64(1/2): 99-102.

SHU Yang, CHEN Aimin, LUO Jinwei, et al. Research and application of cold shrinkage assembly of self-lubricating joint bearing[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2021, 64(1/2): 99-102.

自润滑关节轴承冷缩装配研究与应用

舒 阳, 陈爱民, 骆金威, 熊钦林

(航空工业成都飞机工业(集团)有限责任公司, 成都 610092)

[摘要] 受操作空间影响, 某型号机型垂尾关节轴承与轴承座之间须采用徒手装配的方式。针对该轴承装配过程中易造成卡滞的问题, 结合自润滑关节轴承的装配间隙及装配时间要求, 基于 ABAQUS 软件仿真分析了温度场变化对自润滑关节轴承变形的具体影响规律, 针对轴承冷缩装配时的轴承温度提出了具体的要求; 并通过试验监测了冷缩轴承在 20℃ 装配环境中轴承温度随时间的变化曲线。结果表明, 轴承的冷缩温度低于 -2℃ 时能够满足装配需求。依据有限元仿真分析和试验结果, 将轴承冷缩装配方法成功应用于该机型, 解决了该机型自润滑关节轴承的卡滞问题, 且可在其他机型进行推广应用。

关键词: 有限元; 冷缩装配; 关节轴承; 变形量; 温度场

Research and Application of Cold Shrinkage Assembly of Self-Lubricating Joint Bearing

SHU Yang, CHEN Aimin, LUO Jinwei, XIONG Qinlin

(AVIC Chengdu Aircraft Industrial (Group) Co., Ltd., Chengdu 610092, China)

[ABSTRACT] Affected by the operation space, a certain type of model of the vertical joint bearing and the bearing housing must be assembled by hand. It is easy to cause the stuck problem in the assembly process of the bearing. Combining with the assembly clearance and assembly time requirements of the self-lubricating joint bearing, the specific influence law of temperature field change on the deformation of self-lubricating joint bearing is analyzed based on ABAQUS simulation. The specific requirements for the bearing temperature during the cold shrink assembly of the bearing are put forward. The curve of the bearing temperature with time in 20℃ assembly environment is monitored by experiments. The results show that the cold shrinkage temperature of the bearing is lower than -2℃, which meet the assembly needs. According to the finite element simulation analysis and experimental results, the bearing cold shrinkage assembly method was successfully applied to the model, which solved the stuck problem of the self-lubricating joint bearing of the model, and can be popularized and applied in other models.

Keywords: Finite element; Cold shrinkage assembly; Joint bearing; Deformation; Temperature field

DOI: 10.16080/j.issn1671-833x.2021.01/02.099

自润滑关节轴承由外球面内圈、内球面外圈和粘结在外圈外表面的衬垫组成(图 1), 主要用于机械同心度要求不高, 工作表面压力大且又要做低速摆动、倾斜或回转运动的机械机构中。因其耐冲击、免维护、自润滑、安全可靠且寿命长等诸多优点, 在航空航天、机械工程等领域得到广泛的应用^[1-4], 自润滑关节轴承安装是否正确, 将直接影响到轴承的精度、寿命和性能。大型自润滑关节轴承自身的装配方式主要有冷缩装配、开缝成

形和冷挤压成形(合套挤压)等方法^[5-6], 开缝成形方法会由于受力不均而使外圈产生变形且容易破坏衬垫和



图1 自润滑关节轴承示意图

Fig.1 Self-lubricating joint bearing schematic

内圈的外表面,故开缝型自润滑关节轴承寿命相对较低。冷挤压成形的自润滑关节轴承虽无缝且受力均匀,承载能力和可靠性相对较高^[7-8],但过盈量较大时,对装配的技术要求极高,难以实现装配的精度要求,容易导致安装精度无法满足使用要求。

冷缩装配方法是将轴承放置于低温环境下,冷缩后轴承的尺寸暂时缩小,从而使装配时轴承与安装底座孔之间暂时形成间隙配合或小过盈量的配合,便于方便快捷装配,同时保证安装精度。航空军工中的自润滑关节轴承的装配普遍采用工装装配和徒手装配两种方式。

冷缩装配虽然可以有效保证安装精度,但轴承从低温环境中取出以后,必须在规定的时间内完成装配工作,否则,收缩量恢复以后导致过盈量过大,轴承未安装完成会发生卡滞现象,导致安装失败,需要将轴承取出后重新安装,严重时会导致轴承乃至基体零部件报废,造成严重的质量事故和经济损失。

本研究针对某型号机型垂尾关节轴承与轴承座之间采用徒手装配发生的轴承卡滞事故,结合自润滑关节轴承的装配间隙及装配时间要求,基于 ABAQUS 软件仿真分析温度场变化对自润滑关节轴承变形的具体影响规律,找到完成轴承冷缩装配时的轴承温度,并通过试验监测冷缩轴承从冷缩环境温度恢复到厂房温度过程中轴承温度随时间的变化曲线。结合有限元仿真分析和试验结果,实现轴承冷缩装配的工程应用。

1 自润滑关节轴承装配要求分析

1.1 轴承的装配流程及条件需求

某型号机型垂尾自润滑关节轴承采用手工装配,自润滑关节轴承与轴承座尺寸分别为: $\phi 220_{-0.025}^0$ mm、 $\phi 220_{0.01}^{0.05}$ mm,装配公差带为 0.01~0.075mm;装配温度为

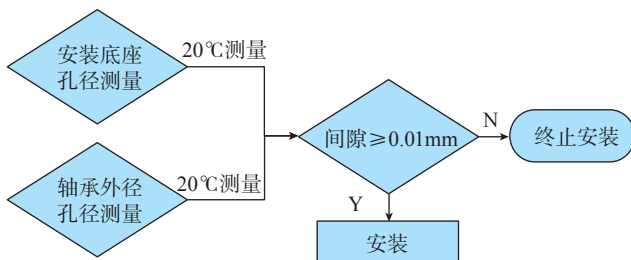


图2 轴承装配流程
Fig.2 Bearing assembly process

20℃,装配时,需对轴承外径和安装底座孔径进行测量,当其间隙满足 ≥ 0.01 mm 方可进行安装(图 2)。装配工程经验表明,孔轴配合间隙 > 0.1 mm 时,轴类零件的手工装配操作最为方便。经现场测量,单个轴承的装配施工时间为 1~1.5min。为满足装配间隙及装配操作时间的要求,需对轴承冷却要求进行分析。

1.2 基于ABAQUS的轴承冷缩变形分析

1.2.1 模型建立

自润滑关节轴承衬垫的厚度相对于轴承内外圈可忽略不计,建模时采用 2024-T8511 代替;在 ABAQUS 中采用 part 模块进行自润滑关节轴承模型建立(图 3),并建立刚性平面,用于轴承支撑面;轴承内圈、外圈材料为 2024-T8511,如表 1 所示。

根据轴承内圈、外圈的模型厚度大小分布设置网格大小,确保厚度方向上至少 4 层网格单元如图 4 所示,单元类型采用 C3D8R;轴承内圈、外圈之间采用接触方式为绑定,轴承内圈与刚性桌面之间为有限滑移。

1.2.2 结果分析

计算该关节轴承从 20~2℃过程中收缩量,在仿真结果中建立柱坐标系,得到轴承的位移收缩云图及收缩量随时间变化的曲线图(图 5 和 6)。

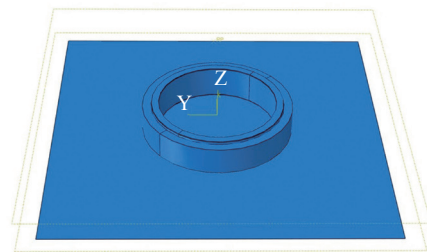


图3 自润滑关节轴承模型
Fig.3 Self-lubricating joint bearing model

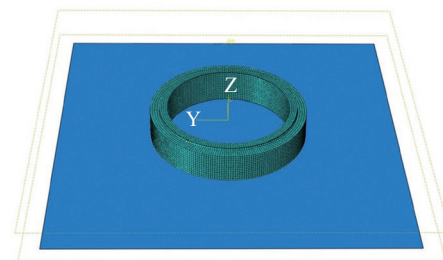


图4 自润滑关节轴承网格模型
Fig.4 Self-lubricating joint bearing mesh model

表1 自润滑关节轴承材料参数

Table 1 Self-lubricating joint bearing material parameters

材料名称	密度 /($\text{g} \cdot \text{mm}^{-3}$)	弹性模量 /MPa	泊松比	热膨胀系数 / $^{\circ}\text{C}$
2024-T8511	2.73E-09	74500	0.33	2.30E-05

有限元分析结果表明,在 0℃时轴承收缩量为 0.101mm,为满足装配间隙 0.1mm 的要求,轴承装配时的温度需保证在 0℃以下。实际测量轴承在 0℃时的收缩量为 0.11mm,与仿真结果相比基本吻合,证明了 ABAQUS 有限元仿真的可靠性。

2 冷缩轴承温度恢复监测试验及装配应用

2.1 冷缩轴承温度恢复监测试验

根据有限元分析结果,为保证轴承的便捷安装,经冷缩后的轴承移出冷缩环境后,在 20℃的装配环境中,其温度上升到 0℃的时间不能低于 90s 方能保证足够的时间进行装配工作,否则需将轴承冷缩至更低温度。

将试验的自润滑关节轴承置于 -2℃的冷缩环境 12h 后,取出置于 20℃的装配环境中,每隔 10s 测量一次轴承的温度得到图 7 的曲线,可以看出,在 20℃装配环境中轴承温度从 -2℃上升至 0℃的时间约为 100s,满足单个轴承装配施工时间不高于 90s 的具体需求;且当轴承的冷缩温度 ≤ -2℃时,冷缩轴承恢复至 0℃的时间将超过 100s。

2.2 冷缩轴承装配应用

结合有限元分析结果及冷缩轴承温度恢复监测试验,当自润滑关节轴承的冷缩温度 ≤ -2℃时,在 20℃环境中 有足够的时间用于冷缩轴承装配工作。在某机型

的自润滑关节轴承的实际装配工程应用中,为保证充足的时间用于轴承装配,装配前将轴承冷缩温度设定为 -5℃,关节轴承的冷缩装配工艺流程如图 8 所示。

目前,该机型在连续两年的垂尾自润滑关节轴承冷缩装配过程中未出现过卡滞现象,有效地解决了因操作空间不足无法使用工装将轴承压入轴承座的问题。工人手工装配时可将冷缩轴承轻松放入轴承座,完成冷缩轴承的装配时间均未超过 90s。基于有限元仿真分析和冷缩轴承温度恢复监测试验确定轴承冷缩温度的方法,在该机型其余部位的自润滑轴承装配中进行了应用,保证了轴承装配的效率和质量。

3 结论

本文针对某型号机型垂尾关节轴承的装配间隙 $\leq 0.1\text{mm}$ 及装配需求时间 90s 的具体要求,基于 ABAQUS 仿真分析了该关节轴承从 20℃冷缩到 -2℃的过程中轴承直径收缩量随时间变化的规律,得出该轴承装配完成后温度不能高于 0℃的结论。通过时间监测了 20℃环境下,冷缩轴承从 -2℃逐渐恢复到环境温度 20℃过程中轴承温度随时间的变化曲线。结果表明,装配前自润滑关节轴承的冷缩温度 $\leq -2℃$ 时,能够满足该轴承的装配时间要求。依据有限元仿真和冷缩轴承温度恢复监测试验的结果,将轴承冷缩装配的方案用

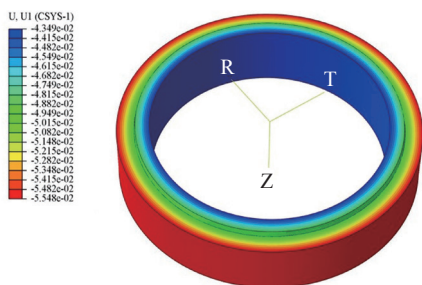


图5 自润滑关节轴承在-2℃环境下收缩云图

Fig.5 Shrinkage of self-lubricating joint bearing at -2℃

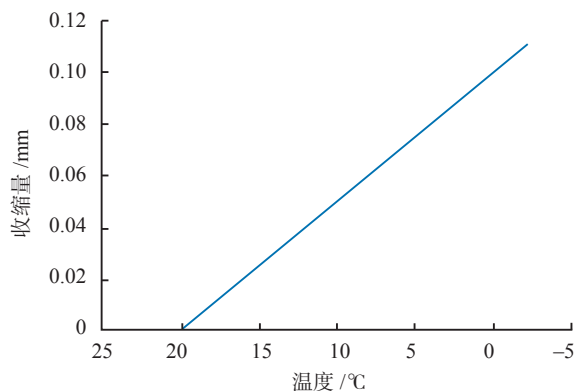


图6 轴承收缩量随温度变化曲线

Fig.6 Bearing shrinkage curve with temperature

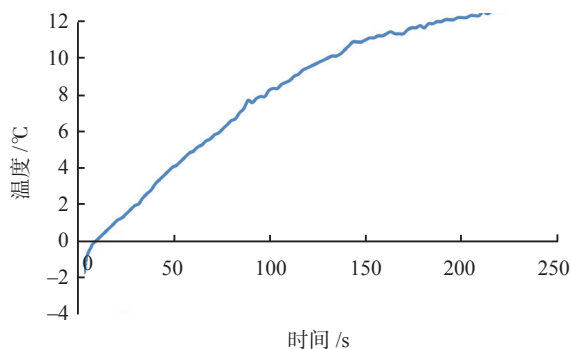


图7 20℃环境下轴承温度随时间变化曲线

Fig.7 Curve of bearing temperature with time in 20℃ environment

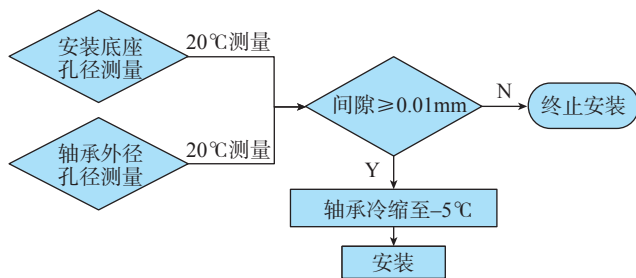


图8 关节轴承冷缩装配流程

Fig.8 Joint bearing cold shrink assembly process

于工程实践,有效地解决了该机型自润滑关节轴承装配卡滞问题,取得了很好的应用效果,可在同类型的自润滑关节轴承装配中推广应用。

参考文献

[1] 杨程,赵升吨,安苏娟,等.一种轴承内外套圈毛坯复合温挤压成形工艺及模具[J].锻压技术,2012,37(1):10-13.

YANG Cheng, ZHAO Shengdun, AN Sujuan, et al. Combined warm extrusion process and its die of bearing inner and outer rings[J]. Forging & Stamping Technology, 2012, 37(1): 10-13.

[2] 周境,朱海明,周坤.自润滑向心关节轴承[J].轴承,2003(7):11-12.

ZHOU Jing, ZHU Haiming, ZHOU Kun. Radial spherical plain bearing with self-lubrication[J]. Bearing, 2003(7): 11-12.

[3] KIM B C, PARK D C, KIM H S, et al. Development of composite spherical bearing[J]. Composite Structures, 2006, 75(1-4): 231-240.

[4] 沈雪瑾,曹磊,陈有光,等.织物衬垫自润滑关节轴承的研究现状与展望[J].轴承,2009(3):57-61.

SHEN Xuejin, CAO Lei, CHEN Youguang, et al. Research status and prospect of spherical plain bearings with self-lubricating fabric liner[J]. Bearing, 2009(3): 57-61.

[5] ALEX O, JULIAN D B. Modeling capabilities required for the double nosing process in the assembly of spherical plain bearings[J]. Journal of Engineering Manufacture, 2012, 226(5): 930-940.

[6] WANG X M, LÜ S W, YANG R C. Numerical investigation on press forming of self-lubricating spherical plain bearings[J]. International Journal of Materials and Product Technology, 2013, 47: 46-62.

[7] 吴连平,杨晓翔.关节轴承冷挤压装配的有限元仿真分析[J].轴承,2014(7):18-21.

WU Lianping, YANG Xiaoxiang. Finite element simulation analysis of cold extrusion assembly for spherical plain bearings[J]. Bearing, 2014(7): 18-21.

[8] 陈继刚,杨育林,夏振伟,等.整体型外圈关节轴承成形技术现状及发展趋势[J].轴承,2013(9):58-62.

CHEN Jigang, YANG Yulin, XIA Zhenwei, et al. Current status and development trends of forming technology for spherical plain bearing with one piece outer ring[J]. Bearing, 2013(9): 58-62.

[9] 宗春丽,谢兴会,周琳.水工用镶嵌式自润滑关节轴承的设计[J].轴承技术,2004(1):3-4.

ZONG Chunli, XIE Xinghui, ZHOU Lin. Design of hydraulic self-lubricating joint bearing for hydraulic engineering [J]. Zhou Cheng Ji Shu, 2004(1): 3-4.

通讯作者:舒阳,工程师,主要研究方向为装配设计与仿真, E-mail: 363184053@qq.com。

(责编 阳光)

(上接第93页)

preheating on the melt forming process of electron beam selective zone[J]. Transactions of the China Welding Society, 2008, 29(10): 77-80.

[8] 郭超,林峰,葛文君.电子束选区熔化成形316L不锈钢的工艺研究[J].机械工程学报,2014,50(21):152-158.

GUO Chao, LIN Feng, GE Wenjun. Study on the process of melting and forming 316L stainless steel by electron beam selection[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2014, 50(21): 152-158.

[9] 黄志涛,锁红波,巩水利,等.TC18钛合金电子束熔丝成形技术研究[J].航天制造技术,2015,58(4):14-17.

HUANG Zhitao, SUO Hongbo, GONG Shuli, et al. Research on TC18 titanium alloy electron beam fuse forming technology[J]. Aerospace Manufacturing Technology, 2015, 58(4): 14-17.

[10] GAO Y, XING J, ZHANG J, et al. Research on measurement method of selective laser sintering (SLS) transient temperature[J]. Optik, 2008, 119(13): 618-623.

[11] 熊进辉,李士凯,耿永亮,等.电子束熔丝沉积快速制造技术研究现状[J].电焊机,2016,46(2):7-11.

XIONG Jinhui, LI Shikai, GENG Yongliang, et al. Research status of rapid manufacturing technology for electron beam fused deposition[J]. Electric Welding Machine, 2016, 46(2): 7-11.

[12] 张朴,孔力,刘文中,等.电子束焊接温度场实时监测系统的设计[J].工业仪表与自动化装置,2008(5):20-22.

ZHANG Pu, KONG Li, LIU Wenzhong, et al. Design of real-time monitoring system for electron beam welding temperature field[J]. Industrial Instrument & Automation, 2008(5): 20-22.

[13] 樊志伟.基于CCD的焊接温度场实时检测系统[D].武汉:华中科技大学,2005.

FAN Zhiwei. CCD-based real-time detection system for welding temperature field[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2005.

[14] ZALAMEDA J N, BURKE E R, HAFLEY R A, et al. Thermal imaging for assessment of electron-beam free form fabrication (EBF(sup 3)) additive manufacturing welds[C]//Thermosense: Thermal Infrared Applications XXXV. International Society for Optics and Photonics, 2013.

[15] 王泽敏,李方志,曾晓雁.一种用于高能束增材制造的温度场主动调控系统及其控制方法:201510987779.5[P].2015-12-24.

WANG Zemin, LI Fangzhi, ZENG Xiaoyan. A temperature field active control system for high energy beam additive manufacturing and its control method: 201510987779.5[P]. 2015-12-24.

通讯作者:彭勇,副教授,硕士研究生导师,主要研究方向为高能束流品质测试评价, E-mail: ypengnj@163.com; 许海鹰,研究员、博士,主要研究方向为电子束源技术, E-mail: xhyxy@126.com。

(责编 古京)