

干涉配合螺栓的减摩安装研究

Study on Antifriction Installation of Interference-Bolt

中航飞机汉中飞机分公司 邢建伟 李 慧 张敬彤 王宇魁

[摘要] 针对某型飞机研制中干涉配合螺栓在夹层结构中的安装问题,对安装过程中的摩擦进行了分析,提出了采用固体膜润滑剂进行减摩的安装方法。采用减摩安装方法,对直径6~27mm之间的7种螺栓进行了安装,分析了安装效果。结果表明,减摩安装方法可降低干涉螺栓安装难度,提升安装质量。

关键词: 螺栓 干涉配合 减摩

[ABSTRACT] Aiming at the problems that interference-bolt installed in sandwich structure of a certain aircraft, the friction of fitting is analyzed, and a installation method with solid film lubrication for antifriction is proposed. Antifriction installation method is used to install seven types interference-bolt that diameter from 6mm to 27mm, the installation quality is also analyzed. The results show that the antifriction installation method can reduce the difficulty and advance the installation quality of interference-bolt.

Keywords: Bolt Interference fit Antifriction

为了提高飞机结构连接的疲劳性能,大量采用了可以提高飞机结构寿命的干涉配合连接技术。这种技术在欧、美、俄的航空制造业中已普遍使用,如伊尔86上使用各种干涉配合螺栓多达34400个^[1]。

针对飞机干涉配合螺栓的安装问题,西北工业大学余公藩、曹增强等人发展了先进的应力波安装技术^[2-5],并在某型飞机的制造中得到了应用,但在螺栓一次未安装到位时仍然存在擦划伤。同时,目前国内飞机装配连接作业仍大量采用手工方式,广泛使用气动铆枪安装锤击等强迫安装方式。该种安装方式存在安装阻力大、孔壁及螺栓表面损伤严重等问题。因此,有必要对降低擦划伤的安装方法进行研究。本文通过分析安装过程的摩擦学问题,使用固体膜润滑剂作为减摩材料进行了干涉螺栓的减摩安装,并对安装效果进行了对比分析。

1 气动强迫安装方式

在某型飞机研制中大量采用了镀锌钢制螺栓,直径

为6mm~27mm,铝合金夹层厚度最高达100mm。其绝对干涉量为0.06~0.12mm,最大相对过盈量1.0%。使用气动强迫安装方式对其进行安装试验,以光杆部位进入夹层部位的百分比作为安装情况考核指标,其结果见表1。安装结果表明,安装过程中螺杆与孔壁之间存在较大阻力,造成直径10mm以上大量螺栓无法装配到位,9件螺栓仅到位1件。

表1 强迫安装的干涉螺栓安装结果

孔径/mm	杆径/mm	干涉量/mm	夹层厚度/mm	安装情况/%
6.018	6.065	0.047	23	87
6.015	6.075	0.060	23	100
6.015	6.060	0.045	23	100
8.010	8.085	0.075	23	100
8.012	8.095	0.083	23	100
8.010	8.085	0.075	23	100
10.010	10.110	0.100	43	73
10.010	10.105	0.095	43	83
10.008	10.115	0.107	43	63
12.010	12.105	0.095	50	82
12.010	12.100	0.090	50	82
22.215	22.305	0.090	95	72
22.210	22.275	0.065	95	100
27.200	27.313	0.113	100	60
27.205	27.305	0.100	100	34

2 干涉螺栓安装过程的摩擦学分析

在干涉配合螺栓安装中,安装阻力主要由两部分组成:螺栓导入部的过度圆弧压平推挤孔壁的力和螺栓与孔壁之间的摩擦力。在采用压入安装时,通常采用式(1)来进行简单的压入力 F 计算^[6]:

$$F = P_{f_{\max}} \pi d_f L_f \mu, \quad (1)$$

式中: $P_{f_{\max}}$ 为结合面压强, d_f 为结合直径, L_f 为结合长度, μ 为摩擦系数。

根据廖爱华等关于压气机叶轮—轴套—轴摩擦接触的有限元分析的研究成果^[7],摩擦系数对结合面压力影响很小,干涉量是影响接触应力的主要因素,随着干涉量的增加,接触应力单调递增。即结合面压力可以表述为:

$$P_{f\max} = AI_{\max} \quad (2)$$

式中: A 为待定常数, I_{\max} 为最大干涉量。

将式(2)代入式(1)得到:

$$F = AI_{\max} \pi d_f L_f \mu \quad (3)$$

由式(3)可知相同规格螺栓在其他条件不变时,安装力与钢制螺杆和铝合金孔壁这对摩擦副之间的摩擦系数强相关。

根据摩擦学理论中的粘着摩擦理论^[8],对于金属摩擦副,摩擦副中硬材料的粗糙峰嵌入软材料表面中,滑动时发生剪切,而粘着材料的剪切主要发生在软材料内部。其摩擦系数为软材料剪切强度极限与软材料受压屈服极限的比值(对于大多数金属来说这个比值为0.2)。而当在摩擦副之间存在软表面膜时,粘着剪切主要发生在软表面膜内,其摩擦系数为软表面膜剪切强度极限与硬材料受压屈服极限的比值。

因此,在不变更螺栓与结构件材料的情况下,可以在两者之间添加剪切强度极限较低的材料形成表面膜而减小摩擦副之间的摩擦阻力。

3 减摩材料选择

在干涉配合螺栓安装中的减摩材料应具备的特性有:较低的层间剪切力、能抵抗很强的接触压力、在金属表面上的附着强度高。经过材料遴选,选择国产某型固体膜润滑剂作为减摩材料。该材料中固体润滑材料为二硫化钼,承载材料为液体酸酐固化的环氧树脂体系。选择该材料作为减摩材料的理由为^[9-13]:固体膜润滑剂其润滑膜较薄,对摩擦部件尺寸无较大影响;其应用到部件上的方式类似于涂料,施工工艺简单;而润滑材料二硫化钼的摩擦系数为0.06左右,且具有良好的抗承载能力,是200℃以下重负荷滑动摩擦部件的首选材料;而液体酸酐固化的环氧树脂体系克服了单一环氧树脂固化不好、脆性高、柔韧性及附着力差等缺点,适宜承载高负荷而不脱落。另外,据朱旻昊等人关于二硫化钼粘固体润滑涂层的径向和切向微动损伤的比较^[14]的研究成果,在承受载荷的紧配合部件中普遍存在微动损伤,而二硫化钼基的固体膜润滑剂则具有一定的抗微动损伤能力。

4 干涉螺栓的减摩安装

减摩材料的施工方式选取刷涂,刷涂部位为摩擦

副中的硬材料钢制螺栓光杆及过度圆弧区表面。涂层厚度及固化按照材料说明书执行。

模拟实际尺寸制作装配假件,用专用气动工具装配涂敷了减摩材料的螺栓。在安装试验中共装配 $\phi 6\text{mm} \sim \phi 27\text{mm}$ 的7种规格21件螺栓,20mm~100mm的5种典型夹层厚度。安装结果见表2。

表2 减摩安装的干涉螺栓安装结果

孔径/mm	杆径/mm	干涉量/mm	夹层厚度/mm	安装结果/%
6.015	6.075	0.060	23	100
6.012	6.085	0.073	23	100
6.018	6.095	0.077	23	100
8.010	8.105	0.095	23	100
8.018	8.110	0.092	23	100
8.000	8.095	0.095	23	100
10.005	10.115	0.110	43	76.74
9.995	10.105	0.110	43	100
10.005	10.105	0.100	43	100
12.000	12.115	0.115	50	100
12.015	12.105	0.090	50	100
12.010	12.115	0.105	50	100
14.000	14.115	0.115	50	94
14.008	14.115	0.107	50	98.8
14.008	14.115	0.107	50	99.7
22.220	22.330	0.110	95	100
22.228	22.320	0.092	95	100
22.192	22.325	0.133	95	100
27.218	27.327	0.109	100	92.5
27.225	27.320	0.095	100	100
27.195	27.323	0.128	100	99

5 安装效果分析

5.1 安装到位情况分析

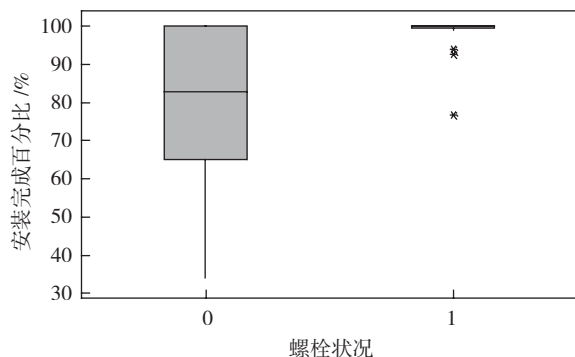
直径12mm及以上规格的干涉螺栓,除一件10mm规格螺栓因螺栓自身质量缺陷外,均一次安装到位。直径14mm及以上规格干涉螺栓,完成情况均在90%以上。图1为安装完成百分比的箱线图,可以看出使用减摩技术安装的干涉螺栓安装到位情况明显优于直接强迫安装的干涉螺栓。

5.2 表面损伤对比

将直接强迫安装与减摩安装的试验件剖开后,观察其表面损伤情况。图2和图3分别体现了直接强迫安

装和减摩安装的干涉螺栓的表面损伤。

直接强迫安装的干涉螺栓表面镀锌层被刮削掉了,在钢制基体上擦划伤显著;采用减摩技术安装的干涉螺栓,表面因有减摩材料保护,栓体基本未被伤及。



0 为直接强迫安装; 1 为减摩安装

图1 干涉螺栓安装完成百分比的箱线图

Fig.1 Box-plot of percentage interference-bolt installation



图2 直接强迫安装的损伤

Fig.2 Boltbody damage of direct installation



图3 减摩安装的损伤

Fig.3 Boltbody damage of antifriction installation

5.3 材料显微组织对比

通过对铝合金试验件孔壁横截面部位进行 100 倍下金相显微组织检查,见图 4 和图 5。直接强迫安装时粘着剪切发生在铝合金表面,故铝合金试验件孔壁部位相对损伤较大;而减摩安装的铝合金试验件,因粘着剪切发生在减摩材料内部,所以孔壁部位相对较为平滑。

6 结论

工艺试验结果表明,无润滑的气动直接强迫安装方法对大直径的干涉螺栓难以完成,且表面损伤严重。提出的干涉螺栓减摩安装,可以有效提升安装到位情况,

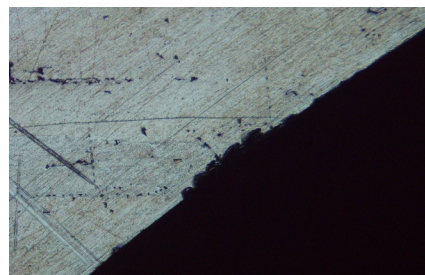


图4 直接强迫安装的铝合金孔壁组织 (× 100)

Fig.4 Aluminum hole structure of direct installation (× 100)

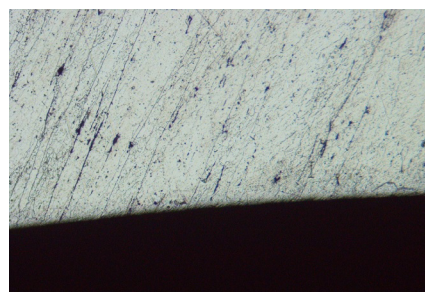


图5 减摩安装的铝合金孔壁组织 (× 100)

Fig.5 Aluminum hole structure of antifriction installation (× 100)

并减小擦划伤。

参考文献

- [1] 中国航空科学技术研究院编著. 飞机结构抗疲劳-断裂强化工艺手册. 北京: 航空工业出版社, 1993.
- [2] 陶华, 余公藩, 盛熙. 应力波安装干涉配合紧固件. 航空学报, 1993, 14(8): 439-442.
- [3] 高彬, 曹增强. 干涉配合紧固件的安装. 航空制造技术, 2003(11): 54-55.
- [4] 王建旗, 曹增强. 大直径高干涉螺栓安装应用研究. 航空制造技术, 2012(16): 87-93.
- [5] 韦红余, 陈文亮, 蒋红宇, 等. 面向现代飞机装配的长寿命机械连接技术. 航空制造技术, 2009(17): 34-37.
- [6] 许定奇, 孙荣. 过盈联接的设计, 计算与装拆. 北京: 中国计量出版社, 1992.
- [7] 廖爱华, 张洪武, 吴昌华. 压气机叶轮-轴套-轴摩擦接触的有限元分析. 中国机械工程, 2006, 17(10): 1010-1014.
- [8] 温诗铸, 黄平. 摩擦学原理(第2版). 北京: 清华大学出版社, 2002.
- [9] 陈建敏, 冶银屏, 党鸿辛. 粘结固体润滑膜及其应用. 摩擦学学报, 1994, 14(2): 180-189.
- [10] 康嘉杰, 李国祿, 王海斗, 等. 层状固体润滑薄膜的研究进展. 金属热处理, 2007, 32(4): 15-18.
- [11] 陈润斋. 固体润滑剂在航空上的应用. 材料工程, 1978(4): 39-45.
- [12] 李凤兰, 陈润斋, 张岩. 飞机用固体膜润滑剂. 航空材料学报, 2006, 26(3): 345-346.
- [13] 石森森. 固体润滑技术. 北京: 化工出版社, 1998.
- [14] 朱旻昊, 周惠娣, 陈建敏, 等. 二硫化钼粘结固体润滑涂层的径向和切向微动损伤的比较研究. 摩擦学学报, 2002, 22(1): 14-18.

(责编 日午)