

复合材料层板衬套强化孔的疲劳寿命增益分析

刘一兵 孟仲伟

(西北工业大学强度研究所, 西安, 710072)

ANALYSIS OF INCREMENT FOR THE FATIGUE LIFE OF BUSHING INTENSIFIED HOLE ON COMPOSITE LAMINATE PLATE

Liu Yibing, Meng Zhongwei

(Strength Research Institute, Northwestern Polytechnical University, Xi'an, 710072)

摘 要 介绍了复合材料层板机械连接孔一种衬套强化工艺方法的应用性研究结果。实验分析表明,采用衬套连接技术能够有效改善和提高复合材料连接孔的原始疲劳品质及其耐久性寿命,并具有稳定的寿命增益比。通过改变衬套材料与装配方法,获得了孔的不同疲劳损伤变形对比结果。初步实现了复合材料连接强化技术的可行性尝试。

关键词 强化衬套 寿命增益 损伤变形

中图分类号 V215.5, V258

Abstract The intensifying bushing technique was used to extend the fatigue life of the mechanical linking hole on the composite laminate plate. The damage deformation analysis for ordinary fit bolt connections hole, interference fit bolt connections hole and bushing fit connections hole under 3×10^5 designed life shows that the bushing technique can improve the original fatigue quality and durability of mechanical holes of laminate plates obviously, and the technique possesses a stable increment ratio of fatigue life. The fatigue life $N_{95/95}$ based on the two parameter Weibull distribution makes it known that the intensifying bushing joint can get a life increment by 7.3 times as against ordinary joint, and life increment by 1.5 times as against interference joint. For three typical kinds of bushing materials the specific deformation target and the analysis conclusion are given.

Key words intensifying bushing, life increment, damage deformation

复合材料机械连接疲劳耐久性问题是一个很重要的研究课题。来自钉载的微动挤压冲击效应会引起层板孔的提前损伤失效而导致结构整体承载能力的下降^[1,2]。衬套强化方法是一种有应用前途的孔增强技术,在基本不增加整体结构重量和改变结构形式的前提下,能有效改善复合材料机械连接区的孔边细节疲劳品质和缓解动载产生的冲击影响。在工艺稳定的基础上,衬套孔的延寿效果明显,并易于构件的拆卸检查与维修,提高了结构的最佳使用效益。

1 工艺参数与实验条件

闭合衬套分别选用MC改性尼龙、工业钝铝以及LY12CZ铝合金材料进行对比观测。衬套壁厚一般控制在0.4mm范围。衬套装配示意图见图1。衬套与孔的配合分为干涉配合与常规配合两种。其中,常规配合接触界面用J-118固化胶层来防止衬套与孔壁的相对滑

移。干涉配合参数^[3]是在保证有效过盈的前提下尽量减小衬套与孔壁之间剧烈摩擦产生的孔壁损伤。衬套与连接销钉按无间隙滑配合设计,以利于机械装卸的方便。表1是复合材料试件衬套装配的工艺参数。

表1 衬套装配工艺参数

衬套材料	AI		LY12CZ		MC尼龙
	干涉	常规	干涉	常规	干涉
干涉量 I / %	1.77	0.88	1.77	0.88	1.71



图1 衬套装配示意图

实验按每组4个试件进行了常规螺接、干涉螺接与衬套螺接的对比分析。设计变量为:谱型为常幅载荷;试件基材为高模量 T300/648 碳纤维增强复合材料;双孔钉载疲劳试件;接头孔径为 $d = 5\text{mm}$;板厚为 $D = 3\text{mm}$;边距为 $3d$ 。试验机为 MTS 810.3 ± 10t 液压伺服疲劳试验机;静载精度为 0.5%;动载精度为 $C < \pm 2\%$;准直度为 $B < 0.5\%$;控制方式为载荷控 Vf;加载频率为 25Hz。加载波型为正弦波;试验环境为空气;试验湿度为 25 ~ 30°C;相对湿度为 60% ~ 65%;应力比 $R = 0.1$, 载荷比为静拉强度 P_b 的 90%;应力水平 S_{\max} 为 85MPa;设计寿命为 300 000 cycle^[4]。

2 试验数据处理结果

在相同应力水平和应力比条件下进行的成组对比疲劳试验中,为了使数据结果的随机性与分散性在数理统计分析中能正确反映客观规律性,采用了双参数威布尔分布估计^[5]。在置信度和可靠度 N 条件下的疲劳寿命、加权平均变形量、寿命增益比以及孔径 0.28mm 失效变形比分别在表2和表3中给出。

表2 T300/648 衬套常幅加载强化增益表

结构细节	应力比 R	应力水平 S_{\max} / MPa	工艺方法	$N_{95/95}$ / cycle	寿命增益比
D= 3mm d= 5mm 边距= 3d	0.1	85	常规螺接	17 168	7.3 : 1
			衬套连接	126 000	
			干涉螺接	84 241	1.5 : 1
			衬套连接	126 000	

表3 设计寿命及额定失效值下的孔疲劳变形结果

衬套材料	设计寿命 / cycle	加权平均变形量 / mm		失效变形比 / %	
		常规衬套	干涉衬套	常规衬套	干涉衬套
AI	300 000	0.073	0.231	26.1	82.5
LY12CZ		0.015	0.042	53.6	15.0
MC尼龙			0.071		25.4

3 实验结果的趋势分析

由表2可知,在应力水平相同的条件下,以孔径 0.28mm 的永久变形作为失效判定准则,强化衬套工艺与常规螺接相比可获得至少 7.3 倍的寿命增益。与干涉螺接相比仍可获得至少 1.5 倍的寿命增益。并且,增益估计值是孔径未达到失效判断的情况下得出的,因此具

有足够的安全可靠性。

不同衬套材料孔的变形差异反映了抗压及耐冲击能力。从表中数据结果看出,在设计寿命 3×10^5 时,航空 LY12CZ 材料的衬套孔损伤变形最小,远远低于 0.28mm 失效值,说明抗变形能力较强。其次为 MC 尼龙材料,变形量仅为失效值的 25% 左右,在一定程度上仍能作为有效的强化防护材料。工业纯铝衬套孔损伤变形最接近失效值,并伴有挤压断裂现象的出现,说明抗压及耐冲击能力较差,在实际结构上应避免使用这类材料的衬套。同时,应该指出,MC 尼龙材料因具有耐磨损性、抗磨蚀性、增韧性以及低热传导系数、低成本和重量轻等一系列优点,作为理想衬套材料其优越的效能比是不可忽视的。

表 3 数据结果显示,复合材料层板连接孔的增强效果与衬套装配方法有密切关系。普通常规装配方法更有利于孔损伤变形的防护。两种金属材料衬套的对照结果反映了这种规律。干涉装配方法虽然在一定程度上可以改善复合材料连接孔的初始疲劳品质,但由于过盈挤压工艺对孔壁的损伤是不可避免的,而这种挤压损伤在疲劳压载中的累积扩展又会加速孔的变形。MC 尼龙衬套因具有较强的弹性变形能力,干涉装配时对孔壁的硬磨擦会大大降低,因此,对孔的损伤影响会小的多。

4 结束语

衬套强化工艺技术对于复合材料连接孔因机械加工造成的损伤能够起到一定的修补和保护作用。在缓解动载冲击影响的同时,又能改善孔壁压载应力的不利分布。作为一种提高层板孔疲劳耐久性寿命的新型强化技术,还需进行更深入的研究工作。

参 考 文 献

- 1 Stephen W T. 复合材料设计. 沈阳: 飞机设计编辑部出版, 1988.
- 2 Cole R T, Batch E J, Potter J. Fasteners for Composite structures. Composites, 1982, 13(3): 233~240.
- 3 刘萍, 张开达. 干涉对复合材料叠层板螺栓连接疲劳强度的影响. 航空学报, 1991, 12(12): B545~B549.
- 4 中国航空科学技术研究院编. 飞机结构抗疲劳断裂强化设计手册. 北京: 航空工业出版社, 1993.
- 5 孟仲伟. 碳纤维增强复合材料机械连接接头衬套强化措施的实验研究: [学位论文]. 西安: 西北工业大学, 1997.