

理想干涉配合铆接*

Ideal Interference Fit Riveting

曹增强 冯东格 / 西北工业大学现代设计与集成制造教育部重点实验室

摘 要: 针对目前普通干涉配合铆接的干涉不均匀、干涉量不合理等问题, 提出了理想干涉配合铆接的概念。对不同铆接方法的钉杆膨胀情况进行了对比, 提出利用电磁铆接实现理想干涉配合铆接, 并对基于电磁铆接的理想干涉配合铆接工艺进行了实验研究。

关键词: 干涉配合; 理想干涉配合; 电磁铆接; 疲劳寿命; 干涉量

Keywords: interference fit; ideal interference fit; electromagnetic riveting; fatigue life; interference

0 引言

为保持新型飞机的先进性, 在研制时制造商往往会大幅提高其设计寿命, 如我国C919大型客机的飞行寿命将提高到90000飞行小时。与我国目前的在制飞机相比, C919的飞行寿命几乎提高了一倍, 这对我国航空制造业是一项巨大的挑战。提高飞机产品寿命的途径一般有材料、结构和工艺三种。通过材料和结构提高寿命在短时期内是非常有限的。因此, 采用先进工艺提高飞机结构寿命是最有效的途径。干涉配合连接能大幅度提高接头疲劳寿命, 是目前提高结构疲劳寿命最有效的工艺方法之一^[1]。为此, 新机研制中将更加广泛地应用干涉配合连接。在目前的飞机制造过程中, 铆接仍然是最主要的连接方法。因此, 广泛应用干涉配合铆接将是我国新机研制的必然选择。

1 目前干涉配合铆接存在的问题

普通铆接主要有压铆和锤铆。压铆铆接质量高, 但对结构的开敞性要求

高, 飞机很多结构无法采用压铆工艺。锤铆工艺简单, 效率高, 应用广泛。但锤铆时铆枪多次锤击铆钉, 铆钉的变形由铆头端往钉头端逐渐转移。其钉杆变形是铆头端大, 钉头端小, 整个钉杆变形呈锥形, 形成的干涉不均匀, 难以达到最佳疲劳寿命。因此, 采用普通锤铆实现的干涉配合铆接并不理想。

干涉配合连接的干涉量水平对结构疲劳寿命有较大影响。在干涉配合强化中, 疲劳寿命增益最大的干涉量称为最佳干涉量。在最佳干涉量以下, 随着干涉量的增加, 疲劳寿命提高。当干涉量超过最佳值时, 随着干涉量增加, 疲劳寿命会逐渐减小^[2], 如图1所示。按照目前我国飞机生产中的干涉配合铆接工艺规范^[3], 不同工艺条件下钉孔间隙和铆钉外伸量均为固定值, 干涉量没有根据具体工艺条件而变化, 给定干涉量是一个较大的范围

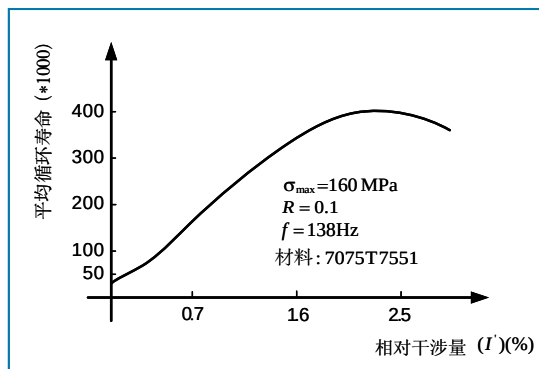


图1 干涉量对疲劳寿命的影响

(0.8%~5%)。在这个范围内接头疲劳寿命将会有较大的变化, 结构很难实现最佳疲劳寿命增益。因此, 我国目前采用普通铆接进行的干涉配合存在干涉不均匀、干涉量不合理, 难以达到最大疲劳寿命增益。

对于干涉配合, 要达到最佳疲劳寿命增益, 其接头必须处于最佳干涉配合, 即理想干涉配合。所谓理想干涉配合铆接是干涉均匀(钉杆膨胀均匀), 并且干涉量处于最佳干涉量附近的干涉配合铆接。要实现理想干涉配合铆接, 首先必须解决干涉均匀的

* 基金项目: 航空科学基金(2009ZE53053)及国家商用飞机制造工程技术中心创新基金(SAMC11-JS-07-0210)资助项目资助

表1 不同铆接方法钉杆膨胀情况对比

电磁铆接	铆钉直径 (mm)	相对干涉量 (%)	锤铆	铆钉直径 (mm)	相对干涉量 (%)
1	5.24/5.26/5.30	2.75/3.14/3.92	1	5.22/5.26/5.34	2.35/3.14/4.71
2	5.26/5.28/5.30	3.14/3.53/3.92	2	5.26/5.26/5.32	3.14/3.14/4.31
3	5.24/5.26/5.30	2.75/3.14/3.92	3	5.30/5.26/5.32	3.92/3.14/4.31
4	5.26/5.28/5.30	3.14/3.53/3.92	4	5.26/5.28/5.30	3.14/3.53/3.92
5	5.30/5.28/5.30	3.92/3.53/3.92	5	5.26/5.26/5.36	3.14/3.14/5.10



图2 采用锤铆方法铆接4mmHB6478钛铆钉后的横截面



图3 采用电磁铆接方法铆接4mmHB6478钛铆钉后的横截面

表2 不同结构的弹性极限干涉量

连接板材料	铆钉材料	弹性极限干涉量
7050T7451	7050T73	0.772
LY12CZ	7050T73	0.469
LY12CZ	LY10	0.477
30CrMnSiA	GH2132	0.490
30CrMnSiA	30CrMnSiA	0.492
Ti6Al4V	Ti6Al4V	0.873

问题,即要实现钉杆均匀膨胀。其次,要研究干涉量与疲劳寿命的关系,选择疲劳寿命增益最大的最佳干涉量。然后研究干涉量的控制方法,从而实现最佳干涉量铆接。理想干涉配合将大幅提高结构疲劳寿命。

2 基于电磁铆接的理想干涉配合铆接工艺

为分析不同铆接方法钉杆的膨胀情况,本文按照平锥头铆钉干涉配合铆接工艺规范^[3]对直径5mm的LY10铝铆钉进行了不同铆接方法的铆接,被铆接材料为2024铝合金,选取铆钉外伸量为1.2d,对应的夹层材料厚度为7mm。铆

接头钉杆膨胀情况对比见表1。

表1中铆钉直径分别为试件解剖后在铆钉的钉头、中间和镦头三个部位的所测的数据,干涉量为以上三个部位对应的干涉量。

从表1可以看出,普通锤铆的钉杆膨胀不均匀。相对于锤铆,电磁铆接的钉杆膨胀比较均匀。为进一步比较,采用4mm的HB6478钛铆钉对碳纤维复合材料板进行了铆接。完成铆接后利用线切割从铆钉中心切割铆钉和复材板,可以看到不同铆接方法钉杆的膨胀情况,如图2和图3。

电磁铆接是一种新型铆接工艺方法。电磁铆接的加载速率极高,铆钉在几百微秒到几毫秒的瞬间完成镦头的成形。因此,电磁铆接技术有许多特点。由于铆钉变形时间短,钉杆膨胀和镦头的成形几乎同步完成,因而在钉杆和钉孔间形成的干涉比较均匀^[4];当钉孔间隙较大或夹层厚度较大时,电磁铆接仍能实现干涉配合,接头疲劳寿命长^[5,6]。所以用电磁铆接技术代替普通锤铆实现干涉配合铆接将有利于接头疲劳寿命的增加。

3 干涉量的选择

干涉量是干涉配合铆接中影响结构疲劳寿命的主要参数。在选择干涉量时除要考虑疲劳寿命增益外,还应兼顾结构的变形程度以及是否可能导致应力腐蚀。实际选取要大于最小的必须干涉量,既要达到结构强化的效果,结构变形又要小,无需担心应力

腐蚀。所谓最小的必须干涉量是指它必须大于弹性极限干涉量。弹性极限干涉量与连接板和钉的弹性模量和泊松比有关,表2为几种常见连接情况的弹性极限干涉量^[2]。

按照文献[2]的推荐,对于航空用硬铝合金LY12CZ,当连接件厚度为3~5mm时,最佳干涉量为3.1%。文献[7]建议的对于厚度为6mm的LY12CZ,最佳干涉量为3.1%。试验表明这一干涉量能够较大幅度地降低应力集中,同时就干涉配合所引起的孔边附近的畸变程度而言,3.1%的干涉量相对较小。国外多个航空企业和单位对最佳干涉量亦有研究,表3为推荐的干涉量范围^[2]。

综合分析国内外已有规范,并参考有关研究结果^[7],可以看出3%~5%的干涉量比较合理,HB/Z223.4—2004规定的0.8%~5%的干涉量不尽合理。

4 基于电磁铆接的理想干涉配合铆接工艺试验结果

采用电磁铆接技术,通过调整工艺参数和选择合适的铆模,可以实现其干涉量基本在3%~5%范围内的理想干涉配合铆接,并保证其镦头符合铆接质量规范。本文对不同型号铆钉使用电磁铆接方法进行铆接,铆钉材料为LY10铝合金,尺寸分别为 $\phi 4\text{mm} \times 9.5\text{mm}$ 、 $\phi 5\text{mm} \times 13\text{mm}$ 和 $\phi 6\text{mm} \times 14\text{mm}$,被铆接材料为2024铝合金,夹层厚度分别为4mm、7mm和6mm。铆接后实测干涉量结果如表4所示。

5 结论

采用普通铆接实现的干涉配合铆接其干涉量不均匀,我国目前给定0.8%~5%的干涉量范围不合理,建议干涉量范围为3%~5%;与普通铆接



[项目编号] 2008ZB52014

[项目负责人] 张靖周

[依托单位] 南京航空航天大学

脉冲爆震燃烧室气膜冷却的非定常流动和传热特性研究

完成情况简介: 本项目基于试验研究,揭示了脉冲爆震频率对于壁温和热负荷的影响,提出了一种利用煤油蒸发冷却的壁温蒸发器结构,不仅有利于壁面的冷却,而且改善了煤油的煤油混气中爆震波的点火触发和波震波传播特性,建立了脉冲爆震燃烧的基元反应模型以及燃气和壁面间的辐射换热模型,

通过数值模拟,获得了脉冲爆震波作用下气膜出流非定常特征的物理图像,初步揭示出脉冲爆震波与气膜出流的相互作用规律和物理机制,针对先进的冲击-发散冷却方式进行了稳态条件下的数值模拟,获得了较为优化的气膜孔排布方式。

[项目编号] 2008ZB53012

[项目负责人] 王占学

[依托单位] 西北工业大学

基于二次流喷射的大涵道涡扇发动机反推控制机理和特性研究

完成情况简介: 该项目研究了基于二次流喷射的流动主动控制技术实现反推力的机理,分析了风扇涵道流、二次流、绕短舱外流相互干涉的流场精细结构,分析了涡扇发动机环境下二次流喷射对热力循环和性能的影响,建立了风扇

涵道流流量、压比、流速、二次流流量、喷射位置、喷射角度等气动和几何参数的关联关系,确定了最优的流体反推力控制设计参数,为更深入开展流体反推力概念的机理研究和实验途径提供了科学依据,完成了项目申请制定的技术指标。

表3 干涉量范围

资料名称	铆钉直径 (mm)	干涉量范围		
		铆窝处	交界面	铆头处
BAC5047-2	6.35~7.94	0.076~0.254	0.076~0.203	0.076~0.305
DPS3.67-61	4.76~6.35	不检查	0.089~0.165	稍大于原钉孔直径
DPS3.67-61	7.94~9.53	不检查	0.114~0.191	稍大于原钉孔直径
英国西德利公司	—	3%~5%	1%~2%	3%~5%
HB/Z223.4-2004	3.0~6.0	0.8%~5%		

表4 电磁铆接的干涉量

铆钉编号	相对干涉量 (%)	铆钉编号	相对干涉量 (%)	铆钉编号	相对干涉量 (%)
4-1	2.93/3.41/3.90	5-1	2.75/3.14/3.92	6-1	3.00/3.28/3.61
4-2	2.43/2.93/2.93	5-2	3.14/3.53/4.31	6-2	3.00/3.28/3.93
4-3	2.93/3.41/3.41	5-3	3.92/3.92/4.31	6-3	3.28/3.28/3.93
4-4	2.43/2.93/3.41	5-4	2.75/3.14/3.92	6-4	3.00/3.93/4.26
4-5	2.93/2.93/3.41	5-5	3.14/3.92/4.31	6-5	3.28/4.26/4.59

注:铆钉编号前的数字表示铆钉直径数值,干涉量表示铆钉的钉头、中间和铆头三个部位的所计算的相对干涉量。

相比,电磁铆接的钉杆膨胀均匀,能形成理想的干涉配合铆接,有利于结构疲劳寿命的提高。

AST

参考文献

[1] Duprat D, Campassens D, Balzano M, Boudet R. Fatigue

life prediction of interference fit fastener and cold worked holes [J]. International Journal of Fatigue, 1996 (18): 515-521.

[2] 中国航空研究院. 飞机结构抗疲劳断裂强化工艺手册[Z]. 北京: 航空工业出版社. 1993.

[3] HB/Z223.4-2004: 飞机装配工艺: 冠状铆钉、平锥头铆钉干涉配合铆接[S]. 2004.

[4] 李志尧, 余公藩, 等. 应力波铆接[J]. 航空制造工程, 1988(2).

[5] Cao Zengqiang, Cardew-Hall M. Interference-fit riveting technique in fiber composite laminates[J]. Aerospace Science and Technology, 2006, 10(4): 327-330.

[6] Hartmann J, Zieve P. Rivet quality in robotic installation[C]. FASTEC '89, Arlington, 1989-10.

[7] 郭兰中, 邢文珍. 干涉配合最佳干涉量初探[J]. 新技术新工艺, 2000(1).

作者简介

曹增强, 教授, 博士生导师, 主要从事飞机装配与先进连接技术、复合材料制造技术、钣金成形工艺与模拟等研究工作。

冯东格, 硕士研究生。