

# 复合材料斜面压铆和锤铆铆接质量对比分析

李 辉<sup>1</sup>, 易成君<sup>1</sup>, 王 倩<sup>1</sup>, 李 静<sup>2</sup>, 高 岩<sup>2</sup>, 李振宇<sup>2</sup>

(1. 航空工业成都飞机工业(集团)有限责任公司复合材料加工厂, 成都 610092;

2. 沈阳航空航天大学航空制造工艺国防重点学科实验室, 沈阳 113016)

**[摘要]** 通过试验对复合材料斜面机器压铆和手工锤铆两种铆接方法的质量进行评估。评估内容主要包括铆钉的外观质量、复材铆接件的外观质量、无损检测和力学性能测试 4 个部分。结果表明: 压铆的铆钉比复材铆接件的外观质量更好, 受人为因素影响小; 在无损检测后, 压铆后的复材铆接件没有出现分层现象; 在力学性能测试部分, 压铆的铆接强度优于锤铆的铆接强度。可见在复合材料铆钉中压铆更具有实用性和适用性。

**关键词:** 复合材料; 斜面; 压铆; 锤铆

## Contrastive Analysis on Quality of Compression Riveting and Hammer Riveting of Slant Composites

LI Hui<sup>1</sup>, YI Chengjun<sup>1</sup>, WANG Qian<sup>1</sup>, LI Jing<sup>2</sup>, GAO Yan<sup>2</sup>, LI Zhenyu<sup>2</sup>

(1. Composite Materials Processing Plant, AVIC Chengdu Aircraft Industrial (Group) Co., Ltd., Chengdu 610092, China;

2. Key Laboratory of Fundamental Science for National Defence of Aeronautical Digital Manufacturing Process, Shenyang Aerospace University, Shenyang 110136, China)

**[ABSTRACT]** The quality of two riveting methods of pressure riveting machine and manual riveting was evaluated by experiment. The main contents of the evaluation include the appearance quality of the rivets, the appearance quality of the composite rivets, the non destructive testing and the mechanical performance test. The results showed that the riveted rivet is better than the appearance of the composite rivets and is less influenced by human factors. After the non destructive testing, there is no delamination phenomenon in riveted riveted joints. In the mechanical performance test section, the compression riveting strength is better than the hammer riveting strength. It can be seen that press riveting is more practical and applicable.

**Keywords:** Composites; Slope; Pressure riveting; Hammer riveting

**DOI:**10.16080/j.issn1671-833x.2017.18.097

铆接按作用力性质分为锤铆和压铆, 锤铆是在铆钉的另一端由顶铁顶住, 利用冲击力使钉杆墩粗, 形成墩头; 压铆利用静压力墩粗铆钉杆, 形成墩头。锤铆的铆接质量不稳定, 要求工人技术高并且冲击力会造成复材分层, 工作效率低<sup>[1]</sup>; 压铆的铆接质量稳定, 与操作者技术水平关系较小, 表面质量好, 工作效率高<sup>[2]</sup>。随着技术的高速发展, 先进飞机越来越多地应用复合材料, 在实际装配中, 复合材料斜面结构的铆接方式仍为手工锤铆, 由于复合材料抗冲击载荷能力差<sup>[3-4]</sup>, 普通锤铆在锤击过程中会产生加工硬化<sup>[5]</sup>, 钉杆膨胀不均匀以及冲击等原因会造成复合材料结构损伤。然而压铆技术没有

被运用到复合材料斜面铆接的装配上, 要使压铆技术真正地适用于生产, 还需进行详细的研究。本文通过试验的方法, 从铆接后铆钉和铆接件的外观质量和强度对复合材料斜面铆接进行压铆和锤铆的对比试验, 分析铆接质量。

## 1 试验方法和材料

### 1.1 试验方法

对铆接质量的比较主要包括: 铆钉的外观质量、复材铆接件的外观质量、无损检测和力学性能测试 4 个部分。除铆接方式不同外, 其余铆接工艺参数相同。

### 1.2 试验材料与设备

选用不同角度的铆接件,如图1所示,蒙皮材料为ZT7H/QY9611 复材板,楔形夹层材料为碳毡;同一型号不同尺寸的铆钉,铆钉为HB 6478-1990 100° 沉头纯钛B型铆钉。本试验采用自适应角度的压铆机,铆接机最大压力50kN(可调);压头夹角范围0°,9°~15°;压头移动速度37.9mm/s;保压时间6s(可调)。相对于手工锤铆,锤铆用力不均匀,受力不稳定,影响铆接质量。

### 1.3 铆接质量评价标准

通过试验比较两种铆接方法的铆钉和复材铆接件的外观质量,在选择评价指标上参考有关的铆接工艺和设计规范。判断复材蒙皮是否分层采用超声波A型进行无损检查<sup>[6]</sup>。在实际的产品结构中,铆接接头主要承受剪切载荷(图2)。其受到作用力 $F$ ,破坏形式为铆钉被剪断或夹层受挤压破坏。故该铆接接头所能承受的最大剪切力 $F$ 是衡量铆接强度的重要标准之一<sup>[5]</sup>。

## 2 结果及讨论

### 2.1 铆钉和复材铆接件的外观质量比较

铆接后的铆钉和复材件的外观质量可以用肉眼、手摸以及塞尺来检查<sup>[7]</sup>。图3、4为铆接后的试验件。通过用肉眼和手摸的检查方式易看出,锤铆试验件的铆钉墩头的表面比压铆的粗糙,并且1、4号铆钉有裂纹产生,由于手工锤铆采用多次铆接使铆钉成形,即多次锤击铆钉使钉杆墩粗,形成墩头,墩头处常有裂纹产生<sup>[8]</sup>;而机器压铆是利用静压力墩粗铆钉杆形成墩头且一次成形,不会对钉杆多次冲击,故压铆试验件铆钉的外观质量比锤铆的好。表1、2分别为锤铆和压铆检查情况说明。通过用塞尺检查,压铆试验件在凹凸量、墩头凹凸量和窝面漏窝量这3个方面均较锤铆表现的好。这是由于手工锤铆与操作者技术水平有关,且在多次锤击中复材表面易受到损伤,即直接锤击在复材上。因此压铆试验件的外观质量比锤铆的好且合格率高。

对比结果表明:相对于手工锤铆,机器压铆对楔形复合材料结构表面的损伤小,其表面质量更好,合格率高。

### 2.2 无损检测比较

无损检测采用超声波A型进行检查,图5为无损检测仪器波形。图5(a)为对锤铆试验件进行无损检测的波形显示,其底波在刻度2.5mm附近为不正常波形,其高度下降明显,在始波后出现了大量杂波并集中在始波附近,说明锤铆试验件上复材板的近表面出现了分层的现象。图5(b)为对压铆试验件进行无损检测的波形显示,不考虑超声波的衰减,底波会出现在刻度2.5mm附近(试验件的复材板厚度为2.5mm),其始波和

底波的高度基本一样均为正常波形,说明压铆试验件上复材板没有出现分层现象。

锤铆由于冲击力墩粗钉杆和对复材的影响导致复材板会出现分层现象;压铆由于是静压力墩粗钉杆,对复材的影响小,故不会导致复材板出现分层现象<sup>[6]</sup>。

### 2.3 力学性能测试比较

试验中,铆钉沿夹层分界面受到剪切力的作用,剪切强度一般决定于分界面处的钉杆直径和材料的力学性能。两种铆接方法所得铆接件的剪切破坏载荷见表3,

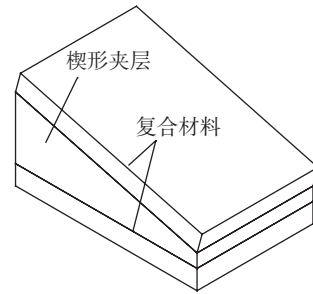


图1 铆接件  
Fig.1 Riveting pieces

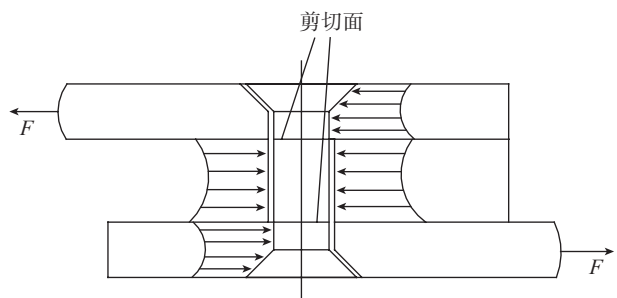


图2 铆钉受剪力  
Fig.2 Diagram of rivet shearing



图3 锤铆  
Fig.3 Hammer riveting



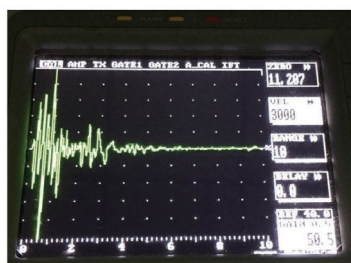
图4 压铆  
Fig.4 Compression riveting

表1 锤铆检查情况说明

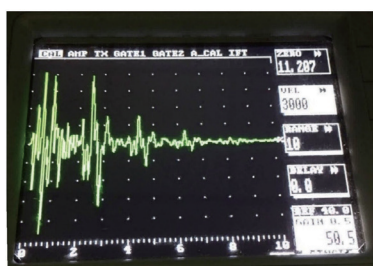
编号	顶头凹凸量/mm	墩头凹凸量/mm	铆窝面漏窝量/mm	墩头裂纹检查	有无单边翘边	复材表面是否劈裂	合格判定
1	0.10	0.12	0.20	有	无	否	不合格
2	0.08	0.10	0.15	无	无	是	不合格
3	0.08	0.08	0.10	无	无	否	合格
4	0.10	0.07	0.10	有	无	否	不合格
5	0.06	0.1	0.10	无	无	否	合格

表2 压铆检查情况说明

编号	顶头凹凸量/mm	墩头凹凸量/mm	铆窝面漏窝量/mm	墩头裂纹检查	有无单边翘边	复材表面是否劈裂	合格判定
1	0.06	0.10	0.06	无	无	否	合格
2	0.05	0.08	0.06	无	无	否	合格
3	0.08	0.07	0.08	无	无	否	合格
4	0.04	0.01	0.10	无	无	否	合格
5	0.03	0.06	0.08	无	无	否	合格



(a) 锤铆



(b) 压铆

图5 无损检测仪器波形

Fig.5 Waveform of the non destructive testing instrument

表3 铆钉剪切破坏载荷

次序	压铆 /N	锤铆 /N
1	2734.9	2321.4
2	2718.4	2412.3
3	2706.5	2292.0
4	2726.3	2256.6
5	2852.7	2300.5
6	2872.0	2267.9
平均值	2768.5	2308.4

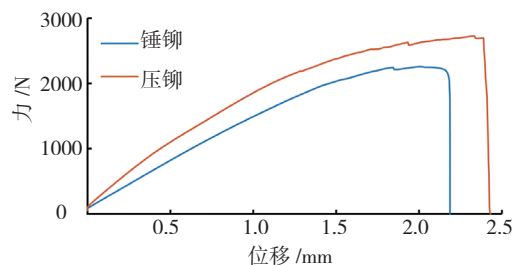


图6 剪切强度力-位移曲线

Fig.6 Force-displacement curve of shear strength

剪切强度的力-位移曲线如图6所示。

从图6和表3中可以看出,压铆的剪切强度大于普通锤铆。其原因是压铆是由稳定的压力整体对铆钉杆进行墩粗,铆接后的铆钉直径均匀,另一方面压铆是一次成形,墩头对夹层形成的压紧力稳定,而锤铆是多次打击铆钉杆成形,在铆接过程中墩头与夹层多次相互作用,产生的压紧力不稳定,降低了其破坏载荷。因此,采用机器压铆的试验件剪切强度要高于手工锤铆试验件的剪切强度。

### 3 结论

通过对比试验和质量分析可以得到以下结论:

- (1) 压铆试验件在凹凸量、墩头凹凸量和铆窝面漏窝量这3个方面均较锤铆表现好。机器压铆对楔形复合材料结构的损伤小,不会造成复合材料分层,并且其表面质量更好,合格率高。
- (2) 通过铆钉力学性能测试试验,机器压铆和手工锤铆的剪切强度的平均值分别为2768.5N和2308.4N。故机器压铆比手工锤铆铆接能够承受的剪切载荷高。
- (3) 通过无损检测可以得出机器压铆不会导致复合材料出现分层现象。
- (4) 采用机器压铆代替手工锤铆在复合材料斜面结构进行铆接可以提高其质量。

### 参考文献

[1] 曹增强,代瑛. 楔形复合材料结构电磁铆接工艺[J]. 航空学报, 2009, 30(10): 1998-2002.  
 CAO Zengqiang, DAI Ying. Electromagnetic riveting technology in conical composite structures[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2009, 30(10): 1998-2002.

[2] 常仕军,肖红,侯兆珂,等. 飞机复合材料结构装配连接技术[J]. 航空制造技术, 2010(6): 96-99.  
 CHANG Shijun, XIAO Hong, HOU Zhaoke, et al. Assembly and fastening technology for composites structure in aircraft [J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2010(6): 96-99.

[3] 曹增强. 新机研制中的复合材料结构装配关键技术[J]. 航空制造技术, 2009(15): 40-42.

(下转第105页)