

## 自动钻铆最佳干涉量试验研究\*

## Experimental Research of Best Interference Fit Level on Automatic Drilling and Riveting

南京航空航天大学机电学院 郝小忠 王 珉 陈文亮

**[摘要]** 在 MPAC 自动钻铆机上采用不同压铆力对 7075 铝板进行自动钻铆试验研究,分析了压铆力对干涉量和疲劳寿命的影响,得出了压铆力为 21kN 时试件的疲劳寿命最好,此时的干涉量为 1.53%~1.77%。通过压铆力与镦头膨胀率之间的线性关系,得出最佳干涉量的直观判断方法,即镦头膨胀率为 76.85% 左右时试件取得最佳干涉量。

**关键词:** 自动钻铆 压铆力 干涉量 疲劳寿命 膨胀率

**[ABSTRACT]** Automatic drilling and riveting 7075 aluminum sheet during different pressure riveting forces is experimentally investigated by using MPAC automatic drilling and riveting machine. The effect of different pressure riveting forces on the interference fit level and the fatigue life is analyzed. And it is verified that the best interference fit level is 1.53%~1.77% when the pressure riveting force is 21kN. Finally the best expansion ratio of rivetail is proved, which it is about 76.85%.

**Keywords:** Automatic drilling and riveting Pressure riveting force Interference fit level Fatigue life Expansion ratio

在飞机装配中,自动钻铆技术同传统的手工铆接相比,不但可以提高工作效率,还可以减少质量波动,改善铆接结构的抗疲劳性能,因此在航空制造业中铆接的机械化和自动化已成为铆接技术发展的必然趋势。成飞公司已把自动钻铆技术应用于 ARJ21 机翼试验件的加工制造上,沈飞公司在波音 737 尾段项目中全面应用自动钻铆技术<sup>[1-3]</sup>。

干涉配合能成倍地提高结构的疲劳寿命,是一种经济有效的连接技术。手工铆接最佳干涉量的研究比较成熟,但自动钻铆方面的研究还很少,压铆力取多大值才能得到最佳干涉量以及产生的疲劳寿命最好,是急需研究的课题,是自动钻铆技术在飞机装配中应用的技术保证,是自动钻铆工艺参数选择的参考依据<sup>[4-6]</sup>。

本文使用 MPAC 自动钻铆机,采用不同压铆力制作

不同干涉量的试验件,研究在自动钻铆工况下,压铆力对干涉量和试验件疲劳寿命的影响规律,以期得出试件最好疲劳寿命时的干涉量,即最佳干涉量。通过铆钉镦头直径的膨胀率与压铆力之间的关系,来建立直观的最佳干涉量的判断方法。

## 1 试验目的

通过试验测得不同压铆力下的自动铆接的干涉量,分析压铆力对干涉量的影响规律,利用不同压铆力下加工工件的疲劳寿命数据,得出自动钻铆 7075 铝板的最佳相对干涉量。实际应用中干涉量要比疲劳寿命测量方便的多,因此利用试验结果中的最佳干涉量来指导生产,无需测量工件的疲劳寿命。

## 2 试验条件

试验设备:(1) MPAC 自动钻铆机,此设备可以自动完成法向找正、钻孔、注胶、铆钉插入和压紧等一系列动作,镦紧力根据试验要求在自动钻铆机上设置;(2) 北京精雕高速雕刻机 Caver400M,用于侧铣铆钉。

试验工件:试验中所用材料为 2 块 7075 铝合金板料,板厚 2mm,尺寸 420mm×50mm;铆钉使用半圆头铆钉(GB/T 867-1986),材料 2A01,  $d=4\text{mm}$ ,  $d_k=7.25\text{mm}$ ,  $K=2.55\text{mm}$ ,  $R=3.8\text{mm}$ ,  $l=8\text{mm}$ ,如图 1 所示。

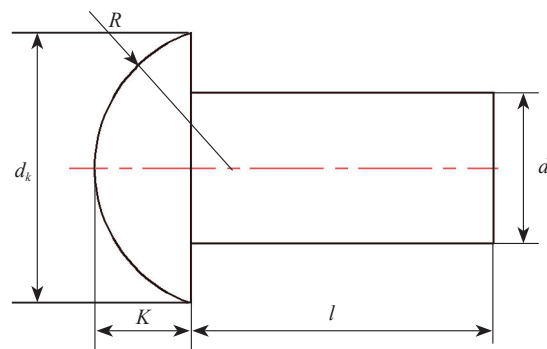


图1 半圆头铆钉结构图

Fig.1 Structure diagram of cup head rivet

测量仪器:德国施耐德 PMS1500S 光学 CCD 自动影像测量仪,测量精度 0.002mm,放大倍数 45X,测量行程 1500mm×1500mm,如图 2 所示。

\* 中央高校基本科研业务专项资金(NZ2012117)资助。



图2 PMS1500S测量仪  
Fig.2 PMS1500S measuring meter

### 3 试验方法

将工件在 MPAC 自动钻铆机工装上固定夹紧,压铆力分别取 16kN、18kN、21kN、23kN 共 4 组数据自动钻铆成形,为了试验的准确性,每组压铆力制作 10 个试样,如图 3 所示。

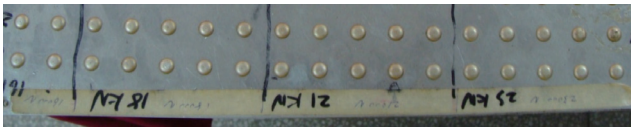


图3 铆接后的试件  
Fig.3 Test specimen after riveting

将铆接后的试件在精雕机上按铆钉圆头中心点水平找正,并依次铣开 40 个铆钉,保护铆钉与孔接触部分的完整性,整理被切开的铆钉,做好标记。

按照压铆力将取出的铆钉分成 4 组,并依次使用光学 CCD 自动影像测量仪精确测量各个铆钉的钉杆工作部位直径和铆头直径,测量时铆钉不同截面上的直径有所不同,取测量最大值为铆钉膨胀后的直径,10 个试件测量直径的范围见表 1。

表1 不同压铆力下测量结果

压铆力 /kN	钉杆直径 /mm	铆头直径 /mm
16	4.136~4.146	6.19~6.42
18	4.154~4.170	6.53~6.82
21	4.188~4.198	6.90~7.17
23	4.212~4.236	7.28~7.48

### 4 试验分析

#### 4.1 压铆力对干涉量的影响

首先求出不同压铆力下的干涉值及干涉量的范围,干涉值即铆接后的钉杆直径减去钉孔直径,已知钉孔直径为 4.125mm,试验数据统计计算结果如表 2 所示。根据表 2 的数据求出各压铆力下干涉量范围的平均值,图 4 为不同压铆力与干涉量关系图。

表2 不同压铆力下干涉量的范围对比

压铆力 /kN	干涉值 /mm	干涉量 /%
16	0.011~0.021	0.27~0.51
18	0.029~0.045	0.70~1.09
21	0.063~0.073	1.53~1.77
23	0.087~0.111	2.11~2.69

从图 4 可以直观地看出随着压铆力的增加,干涉量的值也逐渐增大,并且增大的量也不相同,当压铆力从 16kN 增大到 18kN 的时候,干涉量的增长趋势相对平缓;而压铆力从 18kN 增大到 21kN 的时候,干涉量的增长趋势变得陡峭起来;当压铆力从 21kN 增长到 23kN 的时候,干涉量增长趋势继续保持陡峭状态。

#### 4.2 压铆力对疲劳寿命的影响

图 4 明确了压铆力与相对干涉量的增长趋势,但还得不出多大干涉量是最合适的,要得出最佳干涉量,还需要明确压铆力取多大值时能保证最好的疲劳寿命。对不同压铆力自动钻铆构件接头施加拉-拉交变载荷 8.6kN,通过接头失效时施加交变载荷循环次数来衡量接头疲劳寿命,试验参数与结果如表 3 所示。

由表 3 可以看出,在压铆力为 21kN 时,试件的疲劳寿命最好,达到 60370 次,此时干涉量为 1.53%~1.77%。

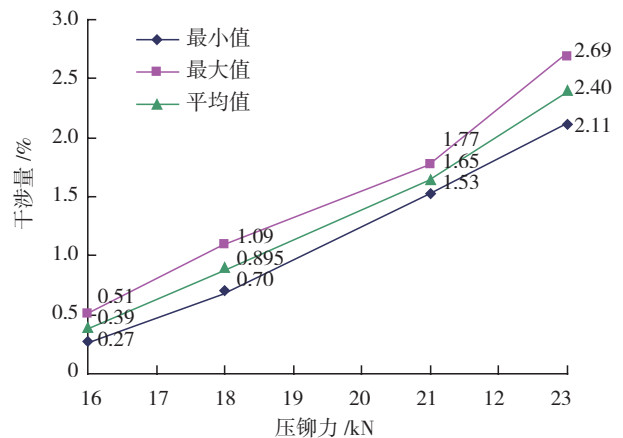


图4 压铆力与干涉量关系  
Fig.4 Relation of pressure riveting force and interference fit level

表3 不同压铆力下疲劳寿命对比

压铆力 /kN	平均载荷 /kN	$\sigma_{\max}$ /MPa	应力比	保护频率 /Hz	破坏次数 /次
16	10.5	130	0.1	3	29019
18	10.5	130	0.1	3	46890
21	10.5	130	0.1	3	60370
23	10.5	130	0.1	3	52973

原因是适当的干涉配合,使铝板孔边基体受到铆钉的挤压而产生膨胀,能使连接件产生一定的预紧力,在交变载荷作用时,孔的内表面均匀受力,减少了应力集中的现象。当压铆力达到 23kN 时,干涉量增加到 2.11%~2.69%,疲劳寿命降低到 52973 次,说明适当的干涉量可以提高连接的疲劳寿命,但当干涉量过大时,孔内表面的预紧力过大,对孔的结构有破坏作用,疲劳寿命反而会降低。

因此,压铆力为 21kN 时,可以得到最佳干涉量为 1.53%~1.77%,此时试件的疲劳寿命最好;压铆力为 16kN 和 18kN 的时候,干涉量偏小,疲劳寿命差;压铆力为 23kN 的时候,干涉量偏大,疲劳寿命降低。

#### 4.3 压铆力对铆头直径的影响

观察铆钉背面铆头可以直观地看出,压铆力越大,铆头的直径越大。计算不同压铆力下铆头直径的平均膨胀率,见表 4 所示。图 5 表示压铆力与铆头直径膨胀率的关系。

从图 5 可以看出压铆力与铆头在试验范围内成正比

表4 不同压铆力铆头直径膨胀率对比

压铆力 /kN	铆头平均直径 /mm	膨胀率 /%
16	6.322	58.05
18	6.631	65.78
21	7.074	76.85
23	7.390	84.75

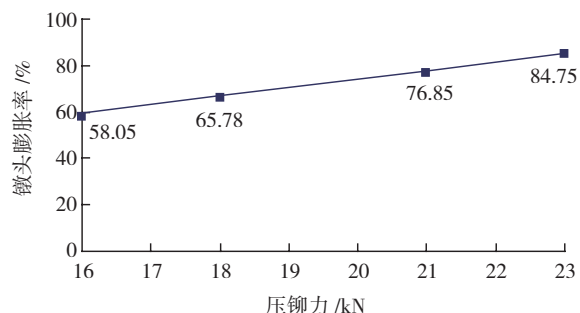


图5 压铆力与铆头直径膨胀率关系

Fig.5 Relation of pressure riveting force and rivet tail expansion ratio

比关系,随着压铆力的增加,铆头直径膨胀率也会增加。压铆力为 16kN~23kN 的区间中,铆头直径膨胀率与压铆力的关系图趋近于一条直线,因而我们需要进行一定的验算。

在 16kN 时,铆头直径为膨胀率 58.05,其系数  $k$  为  $58.05/16=3.628$ ;

在 18kN 时,铆头直径为膨胀率 65.78,其系数  $k$  为  $65.78/18=3.654$ ;

在 21kN 时,铆头直径为膨胀率 76.85,其系数  $k$  为  $76.85/21=3.660$ ;

在 23kN 时,铆头直径为膨胀率 84.75,其系数  $k$  为  $84.75/23=3.685$ 。

4 组试验的膨胀系数很接近,说明铆头直径的变化是有规律的,取  $k=3.628\sim 3.685$ ,设压铆力为  $F$  (kN),铆头直径膨胀率为  $A$  (%),则压铆力与铆头直径膨胀率的函数关系为  $A=kF$ 。在 21kN 这组试验得到最佳干涉量时铆头的膨胀率为 76.85%,因此在今后的实际生产中,针对这一型号的半圆头铆钉,不需要铣开工件取出铆钉进行干涉量的测量,可以通过测量裸露在外面的铆头直径作为铆接工艺参数选择的依据,保证工件的疲劳寿命,从而保证铆接质量。

## 5 结论

(1) 压铆力对自动钻铆试件干涉量与疲劳寿命有较大影响。试件在 21kN 压铆力下,取得最佳干涉最为 1.53%~1.77%,此时试件的疲劳寿命达到 6 万余次,是 16kN 压铆力工况下疲劳寿命的 2 倍多。

(2) 随着压铆力的增加,试件达到最佳干涉量后,试件的疲劳寿命会逐渐下降,因此要根据最佳干涉来合理选择压铆力,以取得较好的抗疲劳性能。

(3) 铆钉铆头直径的膨胀率与压铆力成线性关系,其系数为 3.628~3.685,铆钉铆头直径的膨胀率为 76.85% 左右时,试件达到最优的干涉配合,因此铆头直径的膨胀率可作为生产现场直观的判断方法。

## 参考文献

- [1] 李少波,陈翔鹏.自动钻铆技术的应用与无头铆钉的安装.航空制造技术,2007(9):50-52.
- [2] 费军.自动钻铆技术在波音 737 尾段项目中的应用.航空制造技术,2007(9):85-89.
- [3] 邓锋.MPAC 自动钻铆机.航空制造技术,2010(6):26-29.
- [4] 郭兰中,刑文珍.干涉配合最佳干涉量初探.新工艺新技术,2000(1):14-16.
- [5] 刘早立,薛红前,刘丹,等.干涉量对 HI-LEX 复合材料紧固系统疲劳寿命的影响.锻压装备与制造技术,2011(2):91-95.
- [6] 刘东星,陶华,刘早立,等.干涉量对复合材料层合板疲劳寿命的影响.航空制造技术,2011(8):80-82.

(责编 亦非)