

复合专用量具的研制及误差分析

王倩¹,李辉¹,高岩²,陈国强¹,李静²,姜婷¹,屈力刚²

(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 110136)

[摘要] 针对飞机翼面后缘楔形结构的特点,在装配铆接时,必须根据准确的楔形角度和钉孔夹层厚度测量,选择合适的铆钉长度来实现双面埋头铆接的要求。针对楔形角度和钉孔夹层厚度实现一次性完成测量的要求,设计了一种复合专用量具。通过对量具的结构设计和可能产生的误差进行分析,完全能满足飞机翼面后缘楔形结构的测量要求。

关键词: 专用量具; 楔形零件; 楔形角度; 钉孔夹层厚度; 误差分析

Error Analysis of Special Compound Measure

WANG Qian¹, LI Hui¹, GAO Yan², CHEN Guoqiang¹, LI Jing², JIANG Ting¹, QU Ligang²

(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] Considering the features of wedge structure on the trailing edge of aircraft wing surface during the assembly riveting, the rivets must be selected in appropriate length according to the accurate measurement of edge angle and laminated thickness of pin hole, so as to realize the double face riveting. This paper designs a special compound measure based on the requirement that wedge angle and laminated thickness of pin hole must be measured accurately by one time only. Therefore, the measurement requirements to wedge structure on the trailing edge of aircraft wing surface could be satisfied completely through the design in measure structure and the analysis on potential error.

Keywords: Special measure; Wedge part; Wedge angle; Laminated thickness of pin hole; Error analysis

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2017.23/24.083

飞机翼面后缘的截面为楔形斜面,为保证其气动外形要求,必须进行双面埋头铆接。在满足铆钉墩头成型后不打磨,且其凸出翼面外形的凸出量不大于 0.2mm 的技术要求下,准确测量出各钉孔的楔形角度和钉孔夹层厚度,对于选择合适的铆钉长度范围尤其重要。

目前,国内外对于此类情况的测量均采用角度测量尺和钉孔夹层厚度测量尺相结合的测量方式。针对飞机翼面后缘楔形斜面钉孔的孔中心轴线为虚拟轴线,特别是在小孔径孔深测量时,由于还没有一种合适的测量工具能够准确找到孔深的测量基准,更难测量出楔形斜面钉孔的深度^[1-3]。

为实现一次性快速测量出楔形角度和钉孔夹层厚度的要求,需要设计一种复合专用量具,在进行楔形角度测量的同时,完成对应角度位置钉孔夹层厚度的测量。复合专用量具,就是将不同的量具单元组合在一起,达到对工件进行高效、多项目测量要求的量具。

本次设计的复合专用量具,主要用于航空、航天、机械加工等领域的楔形零件钉孔夹层厚度和楔形角度测量。本复合专用量具的测量,使用简单、方便、精度高。通过这种量具将两个尺寸一次测量出来,不仅可以提高生产效率,还可以保证测量精度满足产品的技术要求。

1 设计原理

待测量的楔形零件模型,如图 1 所示。

由于楔形零件上钉孔的孔中心轴线为虚拟轴线,对于楔形角度在 9°~15° 之间,孔的直径在 2.5~4.0mm 之间的安装孔,由于条件限制,用现有的测量工具难以一次性完成楔形角度和钉孔夹层厚度的测量。为此,需要制作一种复合专用量具,在进行楔形角度测量的同时,也能完成对应角度位置处的钉孔夹层厚度的测量。

复合专用量具的设计原理:其结构类似于放大的角度尺。通过定心圆锥体与楔形零件钉孔的下表面垂直

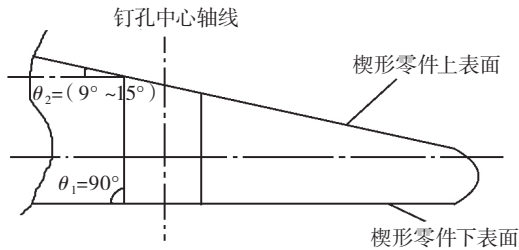


图1 楔形零件模型
Fig.1 Wedge part model

接触,根据几何外形特点使定心圆锥体中心轴线与楔形零件上钉孔的中心轴线重合,在定心圆锥体中心轴线处安装数显深度千分尺后,再将其安装在数显万能角度尺上,并保证定心圆锥体可以在数显万能角度尺固定部分上滑动,以便对准孔径;深度千分尺的测针通过定心圆锥体伸入钉孔与数显万能角度尺活动部分相接触。深度千分尺的读数减去深度千分尺到零件表面的固定距离得到楔形零件上钉孔的夹层厚度。复合专用量具原理简图如图2所示。

2 结构形式

该楔形零件楔形角度和对应角度位置处的钉孔夹层厚度复合专用量具的基本结构由深度千分尺、定心圆锥体、顶出弹簧、滑动基块、角度尺骨架、深度千分尺测针、限位滑块等组成。其结构示意图如图3所示。

深度千分尺固定在滑动基块上,角度尺固定部分与楔形零件钉孔的下表面贴合;固定在滑动基块上的深度千分尺随滑动基块在角度尺固定部分的轨道上滑动来测量楔形零件不同位置的孔深。顶出弹簧将定心圆锥体顶出与被测楔形零件的钉孔下表面边线接触来确定

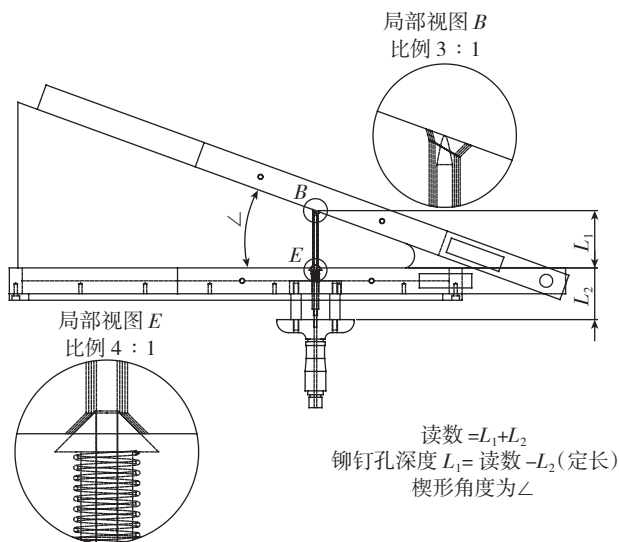


图2 复合专用量具
Fig.2 Special compound measure

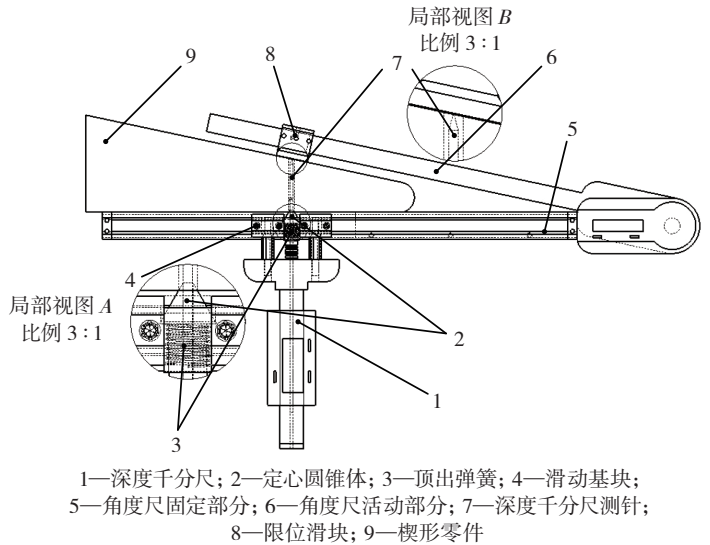


图3 复合专用量具结构示意图
Fig.3 Special compound measure construction

钉孔的中心轴线位置,深度千分尺测针通过定心圆锥体中心轴线处的中空孔伸出与贴合在楔形零件上钉孔的上表面的角度尺活动部分上的限位滑块接触,深度千分尺上显示楔形零件上钉孔夹层厚度,角度尺显示楔形零件在该处的楔形角度。

3 使用方法

为了保证该复合专用量具在使用时,能准确测量出楔形零件所需部位的楔形角度和对应位置处的钉孔夹层厚度,应按下述使用方法进行操作:

- (1) 角度尺固定部分和角度尺活动部分重合贴于平整工作台,按角度尺清零键将角度尺清零;
- (2) 将深度千分尺测针收回,用限位滑块压住定心圆锥体与角度尺固定部分面相贴合,伸出深度千分尺测针顶在限位滑块上,按深度千分尺清零键,将深度千分尺清零。
- (3) 将专用量具深度千分尺测针伸入被测楔形零件钉孔中,使角度尺固定部分与被测楔形零件上钉孔的下表面贴合,定心圆锥体与被测楔形零件的钉孔边线接触;
- (4) 将角度尺活动部分上的限位滑块置于楔形零件上钉孔的上表面上,与楔形零件贴合;
- (5) 将深度千分尺测针伸出,直到顶在限位滑块的表面;
- (6) 读出角度尺和深度千分尺上的数值,即为楔形零件的楔形角度和对应角度位置处的钉孔夹层厚度。

4 误差分析

该复合专用量具在测量楔形零件的楔形角度时,

可能产生的测量误差本文不再赘述。由于滑动基块、定心圆锥体、深度千分尺测针 3 个部件安装配合时,各自的制造公差可能导致深度千分尺测针不能准确地与楔形零件上钉孔的轴线重合,使测量出现一定的误差。

4.1 滑动基块和定心圆锥体配合误差

根据孔、轴公差之间的配合关系,配合形式分为 3 大类,即:间隙配合、过盈配合、过渡配合^[4]。

定心圆锥体的作用是:确定被测楔形零件上钉孔的中心轴线位置。通过分析零件的工作条件和使用要求,定心圆锥体需要在具有相对运动的条件下使用^[5],为此,其尺寸公差按基轴制配合标准设定。即基准轴以上偏差 es 为基本偏差,其数值为零,下偏差为负值,其公差带偏置在零线下侧。

根据国家标准规定的基轴制 13 种优先配合选择,确定滑动基块和定心圆锥体的配合方式为 $\phi 8 \frac{h8(+0.03)}{h7(-0.02)}$ 。

滑动基块上孔的尺寸为: $\phi 8.00_{-0.02}^{+0.03}$,如图 4 所示。

定心圆锥体上轴的尺寸为 $\phi 8.00_{-0.02}^0$,如图 5 所示。通过计算:最大间隙 $X_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei = 0.03 + 0.02 = 0.05 (+)$; 最小间隙 $X_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = EI - es = 0.02 - 0 = 0.02 (+)$; 平均间隙 $X_{av} = \frac{(X_{\max} + X_{\min})}{2} = \frac{(0.05 + 0.02)}{2} = 0.035 (+)$ 。式中, ES 为孔的上偏差符号, EI 为孔的下偏差符号, es 为轴的上偏差符号, ei 为轴的下偏差除号。

因滑动基块上的孔与定心圆锥体上的轴是间隙配合,可保证定心圆锥体平顺的上下滑动。在快速确定被测楔形零件的钉孔中心轴线位置的同时,由于滑动基块和定心圆锥体的制造公差使两者在配合时产生的同轴度误差,对在一定范围内进行的铆钉长度选择,不会对标准件安装质量产生影响^[6]。

4.2 定心圆锥体和深度千分尺测针配合误差

根据该量具的工作原理:定心圆锥体与楔形零件上钉孔的制孔进口面直接接触,找到钉孔的中心轴线后,再通过圆锥体中心轴安装深度千分尺^[7]。

现分析定心圆锥体和深度千分尺测针装配后产生的同轴度误差对测量结果的影响:

定心圆锥体上孔的尺寸: $\phi 2.10_{+0.05}^{+0.10}$,如图 6 所示。深度千分尺测针的直径尺寸: $\phi 2_{-0.01}^0$,如图 7 所示。定心圆锥体上孔的轴线相对于深度千分尺测针的轴线向左偏移^[8],偏移量 y_1 ,如图 8 所示。

定心圆锥体上孔的轴线相对于深度千分尺测针的轴线向左偏移 y_1 ,在测量时,等同于深度千分尺测针的轴线相对于楔形零件上钉孔的轴线向右偏移 y_1 ,故导致测量的孔深偏小^[9],偏小量为 Δ_1 ,如图 9 所示。

当 $x_2=0$,定心圆锥体上孔的直径 $\phi_1 = \phi_{1\max} = 2.2\text{mm}$, $x_1 = x_{1\max} = 0.2\text{mm}$,偏移量 $y_1 = y_{1\max} = 0.1\text{mm}$ 时,测量的孔深偏小,偏小量为 $\Delta_1 = \Delta_{1\max}$,在 $\Delta A_1 B_1 C_1$ 中,

$$\Delta_{1\max} = y_1 \tan \alpha = 0.1 \tan \alpha \quad (1)$$

式中, $\alpha = 9^\circ \sim 15^\circ$,故 $\Delta_{1\max} \in (0.0158, 0.0268)$ 。

当 $x_2=0$,定心圆锥体上孔的直径 $\phi_1 = \phi_{1\max} = 2.15\text{mm}$,

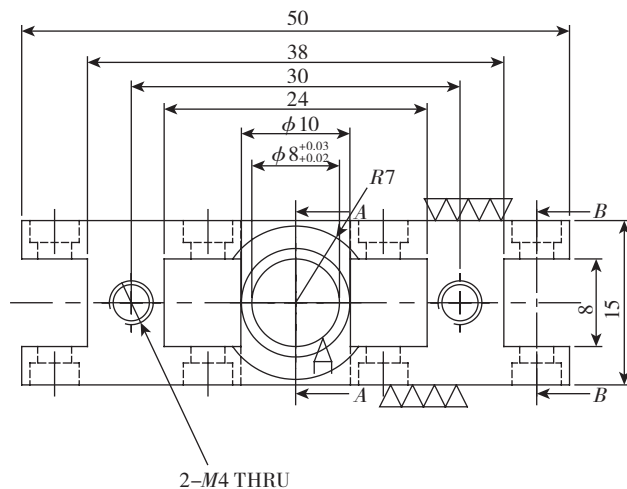


图4 滑动基块上孔的尺寸

Fig.4 Slide the size of the hole on base block

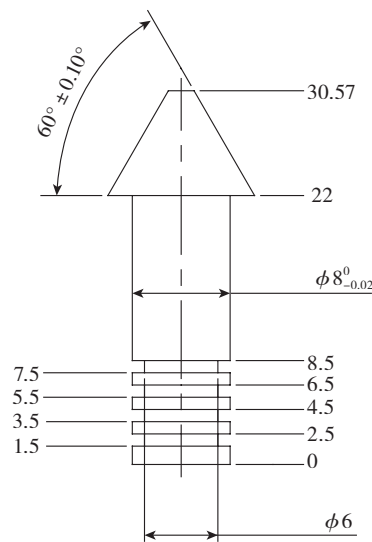


图5 定心圆锥体上轴的尺寸

Fig.5 Size of the upper axis of centering cone

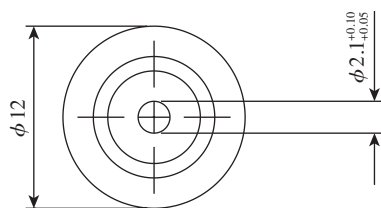


图6 定心圆锥体上孔的尺寸

Fig.6 Size of the hole in centering cone

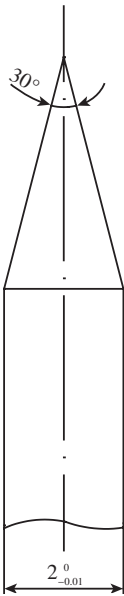


图7 深度千分尺测针部分的尺寸
Fig.7 Depth micrometer stylus part size

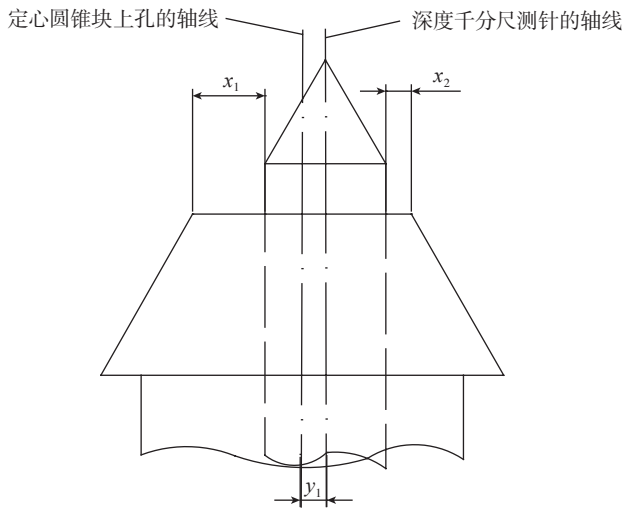


图8 轴线偏移量
Fig.8 Axis offset

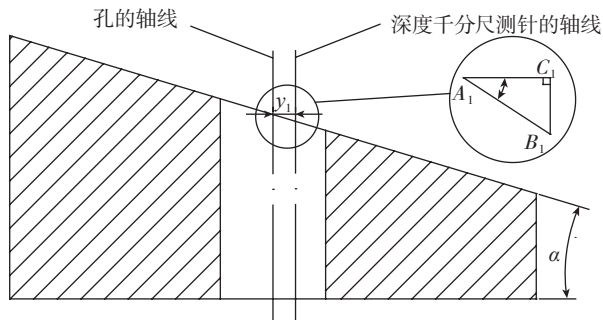


图9 定心圆的偏移量
Fig.9 Set the offset of the circle

$x_1=x_{1max}=0.15\text{mm}$, 偏移量 $y_1=y_{1min}=0.075\text{mm}$ 时, 测量的孔深偏小, 偏小量为 $\Delta_1=\Delta_{1min}$, 在 $\Delta A_1 B_1 C_1$ 中,

$$\Delta_{1min}=y_1 \tan \alpha = 0.075 \tan \alpha \quad (2)$$

式中, $\alpha=9^\circ \sim 15^\circ$, 故 $\Delta_{1min} \in (0.0119, 0.0201)$ 。

定心圆锥体上孔的轴线相对于深度千分尺测针的轴线向右偏移^[10] y_2 , 偏移量如图 10 所示。

定心圆锥体上孔的轴线相对于深度千分尺测针的轴线向左偏移 y_2 , 在测量时等同于深度千分尺测针的轴线相对于楔形零件上钉孔的轴线偏移 y_2 , 故导致测量的孔深偏大, 偏大量为 Δ_2 , 如图 11 所示。

当 $x_2=0$, 定心圆锥体上孔的直径 $\phi_1=\phi_{1max}=2.2\text{mm}$, $x_1=x_{1max}=0.2\text{mm}$, 偏移量 $y_2=y_{2max}=0.1\text{mm}$ 时, 测量的孔深偏大, 偏大量为 $\Delta_2=\Delta_{2max}$, 在 $\Delta A_2 B_2 C_2$ 中,

$$\Delta_{2max}=y_2 \tan \alpha = 0.1 \tan \alpha \quad (3)$$

式中, $\alpha=9^\circ \sim 15^\circ$, 故 $\Delta_{2max} \in (0.0158, 0.0268)$ 。

当 $x_2=0$, 定心圆锥体上孔的直径 $\phi_1=\phi_{1min}=2.15\text{mm}$, $x_1=x_{1min}=0.15\text{mm}$, 偏移量 $y_2=y_{2min}=0.075\text{mm}$ 时, 测量的孔深偏大, 偏大量为 $\Delta_2=\Delta_{2min}$, 在 $\Delta A_1 B_1 C_1$ 中,

$$\Delta_{2min}=y_1 \tan \alpha = 0.075 \tan \alpha \quad (4)$$

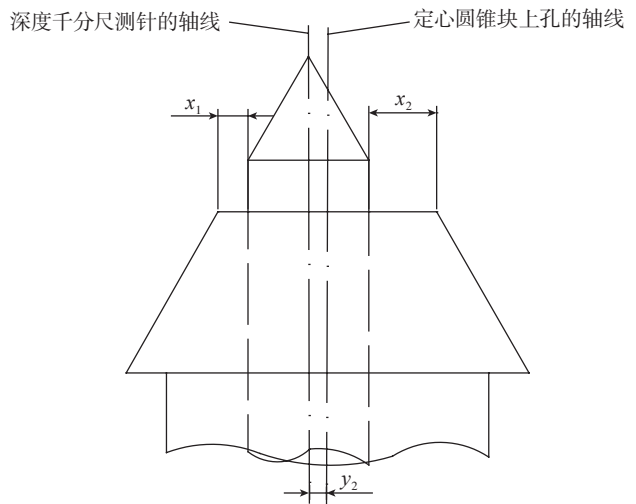


图10 锥块孔的偏移量
Fig.10 Offset of the cone hole

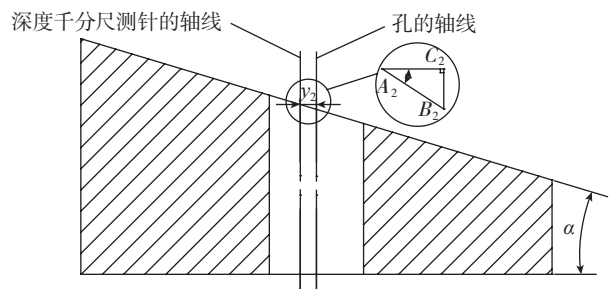


图11 测针轴线偏移量
Fig.11 Measuring axis offset

式中, $\alpha = 9^\circ \sim 15^\circ$, 故 $\Delta_{2\min} \in (0.0119, 0.0201)$ 。

通过对复合专用量具本身在测量过程中,可能产生误差的两方面主要原因分析表明:在满足制造部门给定的铆钉长度范围内,其对楔形零件测量时,产生的测量误差是可以接受的。通过测量确定铆钉长度后实施的铆接工作,其安装质量可以满足产品的技术要求。

5 结论

本文通过对复合专用量具设计原理、结构形式、使用方法及可能产生误差的介绍和分析,并在具体产品上的实际使用 and 产品质量检测,认为该复合专用量具不仅可以一次性完成楔形角度和钉孔夹层厚度的准确测量,实现满足铆钉墩头凸出量不大于 0.2mm 安装要求的双面埋头铆接,而且可以将原来使用常规量具分两次简单测量的效率提高 2 倍以上。使公司的质量保证水平和生产保障能力均有了很大的提升。

参考文献

- [1] 郑叔芳,吴晓琳. 机械工程测量学[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- ZHENG Shufang, WU Xiaolin. Mechanical engineering surveying[M]. Beijing: Science Press, 1999.
- [2] 景旭文. 互换性与测量技术基础[M]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- JING Xuwen. Interchangeability and measuring technology foundation[M]. Beijing: China Standard Press, 2002.
- [3] 阎荫棠. 几何量精度设计与检测[M]. 北京: 机械工业出版社, 1996.
- YAN Yintang. Geometric design and testing accuracy[M]. Beijing: China Machine Press, 1996.
- [4] 成大先,王德夫. 机械设计手册[M]. 第4版. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- CHENG Daxian, WANG Defu. The mechanical design manual[M]. 4th ed. Beijing: Chemical Industry Press, 2002.
- [5] 张武荣,马丽霞. 公差配合与测量技术[M]. 北京: 北京大学出版社, 2006.
- ZHANG Wurong, MA Lixia. Tolerance matching and measurement technology[M]. Beijing: Peking University Press, 2006.
- [6] 黄云清. 公差配合与测量技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- HUANG Yunqing. Tolerance matching and measurement technology[M]. Beijing: China Machine Press, 2001.
- [7] 吴勇翔. 内锥斜度量具设计[J]. 金属加工, 2009(3): 53.
- WU Yongxiang. Inner cone angle measuring tool design[J]. Metal Working, 2009(3): 53.
- [8] 机械设计手册编委会. 机械设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- Editorial Board Machine Design Manual. Mechanical design manual[M]. Beijing: China Machine Press, 2007.
- [9] 中华人民共和国机械工业部. GB/T8069—1998 功能量规[S].

北京: 中华人民共和国机械工业部, 1998.

Ministry of Machinery Industry, PRC. GB/T8069—1998 Functional gauge[S]. Beijing: Ministry of Machinery Industry, PRC, 1998.

[10] 冯乾新,梁瑞丽. 孔组位置度量规的设计[J]. 工具技术, 2015, 49(1): 87-90.

FENG Qianxin, LIANG Ruili. Hole location gauge set of design[J]. Journal of Tool Technology, 2015, 49(1): 87-90.

通讯作者: 王倩, 工程师, 研究方向为复合材料装配技术, E-mail: 1363697359@qq.com. (责编 大漠)

(上接第82页)

LI Yingliang. Fasteners basics[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2014.

[5] 张晓斌,于建政,贾晓娇,等. 某飞行器用紧固件拧紧力矩与预紧力关系研究[J]. 航空制造技术, 2016(8): 81-84.

ZHANG Xiaobin, YU Jianzheng, JIA Xiaojiao, et al. Research on the relationship between the install moment and bolts stress in the aircraft party jointment[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2016(8): 81-84.

[6] 苏毅,邓博,梁华,等. 一种钛合金自锁螺母的收口方法: 201510914064.7[P]. 2015-12-12.

SU Yi, DENG Bo, LIANG Hua, et al. A kind of crimping method of titanium alloy self-locking nut: 201510914064.7[P]. 2015-12-12.

[7] 刘仁志,吴海荣,王华明. TC16 钛合金六角自锁螺母加工技术研究[J]. 飞机设计, 2011, 31(3): 52-54.

LIU Renzhi, WU Hairong, WANG Huaming. The application of TC16 titanium self-lock hex nut critical technologies[J]. Aircraft Design, 2011, 31(3): 52-54.

[8] 王自勤,陈家兑,刘勇,等. 螺母收口技术及数控螺母收口机研制[J]. 机械科学与技术, 2011, 30(10): 1645-1648.

WANG Ziqin, CHEN Jiadui, LIU Yong, et al. Heal nut technology and development of nut heal nc machine[J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2011, 30(10): 1645-1648.

[9] 王兴遂,艾兴. 机械加工工艺手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.

WANG Xingsui, AI Xing. Machining technology handbook[M]. Beijing: China Machine Press, 1998.

[10] 吴南星,鲍星,徐梅香. 不同因素对高锁螺母锁紧力矩影响的研究[J]. 航空制造技术, 2016(9): 103-106.

WU Nanxing, BAO Xing, XU Meixiang. Influence of some different factors on locking torque of Hi-lock nut[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2016(9): 103-106.

[11] 中国航空工业总公司. HB/Z 251—1993 螺栓连接拧紧力矩与轴向力的关系[S]. 北京: 中国航空工业总公司, 1993.

Aviation Industry Corporation of China. HB/Z 251—1993 the relationship between tightening torque and axial force in the bolt connection[S]. Beijing: Aviation Industry Corporation of China, 1993.

通讯作者: 王立东,工学博士、高级工程师,研究方向为飞机机械连接技术, E-mail: 284195076@qq.com. (责编 大漠)