

收口量对钛合金自锁螺母锁紧性能的影响

王立东,刘风雷,赵庆云

(中国航空制造技术研究院,北京 100024)

[摘要] 为了明确收口量对钛合金自锁螺母锁紧性能的影响,对不同收口量的钛合金自锁螺母的锁紧性能进行了检测和分析,得出了收口量对锁紧性能的影响规律。结果表明:随着拧入拧出次数的增加,锁紧力矩值和松脱力矩值呈现先增大后减小的趋势,收口量为 0.05mm 和 0.10mm 时,变化幅度较小,而收口量为 0.15mm 时,变化幅度最大;安装力矩与预紧力基本呈线性关系,收口量的大小决定了安装力矩与预紧力之间线性变化的斜率,收口量越小则线性关系的斜率越大;收口量为 0.05mm、0.10mm 和 0.15mm 时的扭拉系数 K 分别为 0.09、0.12 和 0.16。

关键词: 钛合金;自锁螺母;收口量;锁紧性能;预紧力

Influence of Crimping Dimension on Locking Properties of Titanium Alloy Self-Locking Nut

WANG Lidong, LIU Fenglei, ZHAO Qingyun

(AVIC Manufacturing Technology Institute, Beijing 100024, China)

[ABSTRACT] In order to insure the influence of crimping dimension on the locking properties of titanium alloy self-locking nut, the locking properties at different crimping dimension were detected by the machine in this paper, and the regularity between crimping dimension and locking properties was gained simultaneously. The results show that the self-locking torque and breakaway torque increase at beginning and then decrease with the increasing of frequency. The variant region was smaller at the 0.05mm and 0.10mm crimping dimension, and that at 0.15mm crimping dimension was biggest. The linear relationship appears between seating torque and preload, and the smaller crimping dimension is, the bigger slope of the linear is. The wrenching-stretching coefficient is 0.09, 0.12 and 0.16 at the crimping dimension of 0.05mm, 0.10mm and 0.15mm, respectively.

Keywords: Titanium alloy; Self-locking nut; Crimping dimension; Locking Property; Preload

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2017.23/24.079

Ti-6Al-4V 钛合金自锁螺母具有重量轻、比强度高、耐腐蚀等优点,在航空、航天等重要工业部门中得到广泛应用^[1-3]。自锁螺母用作飞行器振动防松部位的螺纹连接件,其设计的核心是提高自身的防松锁紧性能^[4-5]。钛合金自锁螺母的锁紧能力是通过使螺母六方的一端进行三点收口,使螺纹发生变形,当螺栓拧入螺母收口区后使收口处的螺纹处于弹塑性挤压配合,即螺栓螺纹与已变形螺母螺纹旋合压紧,进而产生锁紧力矩,达到防松锁紧的目的^[6]。

自锁螺母锁紧性能的好坏,直接关系到产品的性能和寿命,而自锁螺母的锁紧性能跟收口量息息相关,对连接结构的安全性和可靠性起到重要的影响^[7-8]。目前,在收口量对钛合金自锁螺母锁紧性能影响方面的研究还鲜有报道。本文开展了钛合金自锁螺母锁紧性能试验,研究收口量对钛合金自锁螺母锁紧性能的影响,优化收口工艺参数,确保钛合金自锁螺母锁紧性能的稳定

性和合格性,从而确保飞行器连接结构的安全性。研究结果可以为钛合金自锁螺母研制及工程化生产应用提供指导。

1 试验过程及方法

1.1 试验设备

采用 QBN50-L50 型的扭力试验机对试验样品的锁紧性能及预紧力进行检验,如图 1 所示。运用额定值为

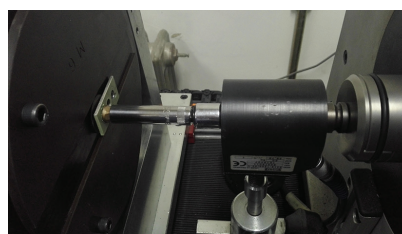


图1 扭力试验机

Fig.1 Torque testing machine

10N·m 的扭矩传感器对锁紧力矩进行测量,再配合轴力传感器测量预紧力与安装力矩之间的关系。

1.2 试验样品

试验用螺母为英制 -8 规格 Ti-6Al-4V 材质的自锁螺母,其螺纹规格为 1/4-28UNJF-3B,螺母的外表面及内螺纹涂覆铝涂层,样品的收口量分别为 0.05mm、0.10mm 和 0.15mm。试验螺栓材质仍为 Ti-6Al-4V 钛合金,表面涂覆铝涂层并进行十六醇润滑处理。

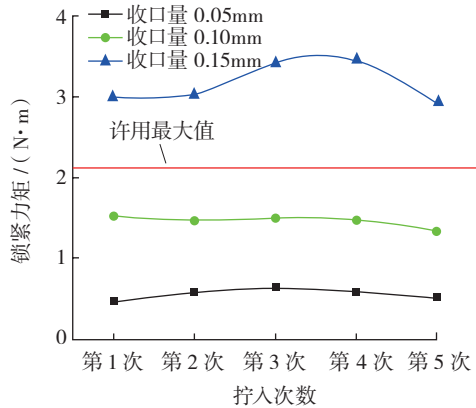
1.3 试验方法

将试验螺栓与螺母旋合,手动将其旋合至锁紧区域内。而后设置扭转试验机的参数,拧入拧出速度为 5~10r/min,拧入圈数为 5 圈。在拧入过程中,螺栓应拧入至少凸出螺母端面两倍的螺距。每个试验螺母需要进行 5 次拧入拧出试验,第 1~4 次是在不施加轴向载荷情况下测量其锁紧力矩与松脱力矩,第 5 次拧入拧出过程中,除了测量锁紧力矩与松脱力矩外,还需测量预紧力与安装力矩的关系。记录不同收口量下钛合金自锁螺母的锁紧性能值,进行对比分析。同时,将锁紧试验后的螺母样品沿收口处剖开,在显微镜下检测收口变形区螺纹的变化情况。

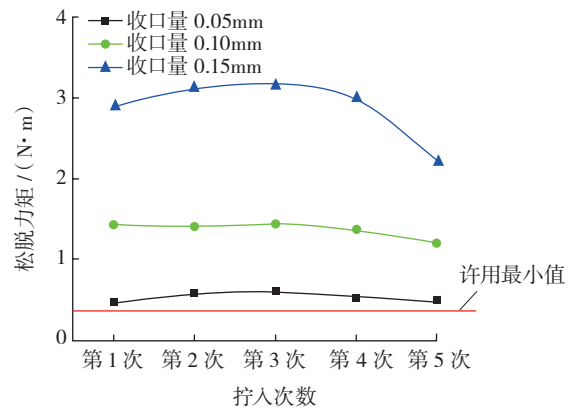
2 结果与讨论

2.1 收口量对锁紧力矩及松脱力矩的影响

图 2 为收口量分别为 0.05mm、0.10mm、0.15mm 时,钛合金自锁螺母 5 次拧入拧出锁紧力矩和松脱力矩值。每种收口量任意选取 5 件进行试验,试验后取平均值,其 5 次拧入拧出锁紧性能值如图所示。当收口量为 0.05mm 时,钛合金自锁螺母的锁紧性能为 0.47~0.60 N·m,松脱力矩为 0.47~0.58N·m,随着拧入拧出次数的增加,锁紧力矩值和松脱力矩值呈现先增大后减小的趋势,但变化趋势并不明显;当收口量为 0.10mm 时,与 0.05mm 的收口量相比,钛合金自锁螺母的锁紧力矩与松脱力矩明显增加,5 次拧入过程中的锁紧力矩为 1.34~1.51N·m,松脱力矩为 1.23~1.45N·m,锁紧力矩和松脱力矩总体呈下降趋势;当收口量增加至 0.15mm 时,5 次锁紧力矩值变化 2.7~3.3N·m,松脱力矩 2.3~3.1N·m。从图 2 中可以看出,5 次拧入拧出过程中,锁紧力矩和松脱力矩值均呈现先增加后降低的趋势,在第 3、4 次拧入拧出测量时,锁紧力矩和松脱力矩值达到峰值,而松脱力矩值的衰减幅度明显高于锁紧力矩的缩减幅度。钛合金自锁螺母对锁紧性能的要求是锁紧力矩最大值不高于 2.15 N·m,松脱力矩最小值不低于 0.40N·m,通过对比分析,当收口量是 0.10mm 时,锁紧力矩和松脱力矩均能满足钛合金自锁螺母锁紧性能的要求。



(a) 锁紧力矩与拧入次数的关系



(b) 松脱力矩与拧入次数的关系

图2 不同收口量下锁紧力矩和松脱力矩的变化

Fig.2 Change of locking torque and breakway torque at different crimping dimensions

2.2 收口量对安装力矩与预紧力关系的影响

图 3 为不同收口量下,安装力矩与预紧力变化关系图。从图中看出,安装力矩与预紧力基本呈线性关系,即随着安装力矩值的增加,锁紧力矩值也不断增大;

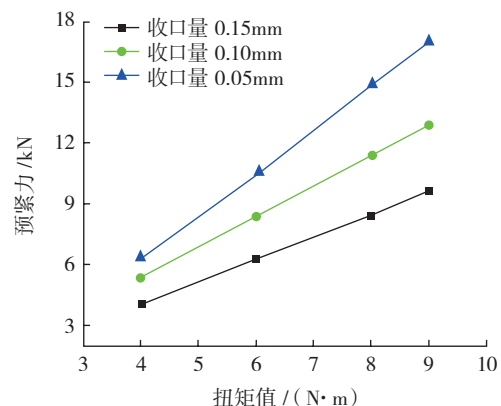


图3 不同收口量下预紧力与扭矩值关系

Fig.3 Relationship between torque value and preload at different crimping dimensions

收口量的大小,决定了安装力矩与预紧力之间线性变化的斜率,收口量越小则线性关系的斜率越大。此外,当安装力矩为 $9\text{N}\cdot\text{m}$ 时,收口量为 0.05mm 、 0.10mm 和 0.15mm 的自锁螺母样品的预紧力值分别为 16.98kN 、 12.90kN 和 9.65kN ,而钛合金自锁螺母对预紧力的要求为 $8.0\sim 16.0\text{kN}$,因此收口量为 0.10mm 和 0.15mm 的收口尺寸预紧力满足要求。

在实际工程应用中,扭拉系数一般采用简化的公式进行计算,该公式为^[9]:

$$M = KdF \quad (1)$$

式中, M 为扭矩值; F 为轴向力; d 为螺纹中径,取值为 $\phi 5.76$; K 为扭拉系数。进而算得收口量为 0.05mm 、 0.10mm 和 0.15mm 时的扭拉系数 K 分别为 0.09 、 0.12 和 0.16 。

由于收口加工会使螺母收口区域螺纹发生畸变,螺纹尺寸变小,在螺栓拧入自锁螺母锁紧区域后,螺栓螺纹与螺母锁紧区变形螺纹相互旋合挤压,螺母收口变形区的螺纹会产生弹性和塑性变形,螺母螺纹与螺栓螺纹间会产生挤压力 F ,该挤压力 F 可以分解为垂直于螺纹牙侧的 F_N 和平行于牙侧的 F_T 。垂直于螺纹牙侧力 F_N 在螺纹接触区域会产生一个摩擦力,进而在螺栓拧入过程中会产生相应的摩擦力矩 T (图4)。根据文献资料和螺纹受力分析^[10-11], F_N 和锁紧力矩 T 计算公式如下:

$$F_N = F \cdot \cos \beta$$

$$T = F_N \cdot \frac{d}{2} \cdot f \quad (2)$$

式中, β 代表牙型角; d 为螺纹中径; f 为螺纹副间的摩擦系数。

从式(2)中可以看出,锁紧力矩 T 与螺纹摩擦系数 f 呈正比关系,即摩擦系数越大则锁紧力矩值越大,而接触面的粗糙度就是摩擦系数的写照。再根据不同收口量下的5次拧入拧出锁紧力矩值变化规律,可以得出螺纹摩擦系数的变化规律与锁紧力矩的变化规律相同。

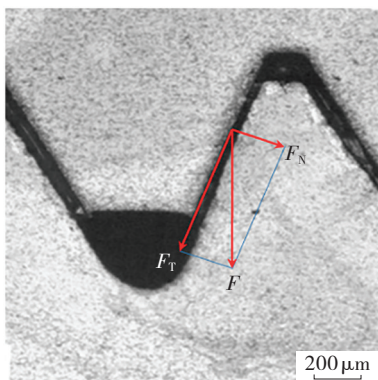


图4 螺栓与螺母螺纹挤压力分解示意图

Fig.4 Decomposition graph of pressure between bolt and nut

2.3 不同收口量下收口区域牙侧的变化规律

图5为未进行锁紧试验的螺母牙侧截面图。图6~8为不同收口量的螺母样品在第1~4次拧入拧出后,收口区变形螺纹的变化情况。当收口量为 0.05mm 时,第1次拧入拧出后,虽然涂层厚度有所变薄,但牙侧处仍然有涂层覆盖整个牙侧,如图6(a)所示;第2次拧入拧出后,涂层厚度进一步变薄,甚至有部分牙侧处已出现金属基体裸露,金属基体裸露部分的粗糙程度未见明显变化,如图6(b)所示;第3次拧入拧出后,牙侧处金属基体裸露面积进一步增加,且牙侧处的粗糙程度较前两次相比明显粗化,如图6(c)所示;当第4次拧入拧出结束后,观察收口区螺纹牙侧的变化情况,其涂层已完全脱落,但牙侧的粗糙度有所降低,通过分析认为:涂层去除后,收口区螺纹与螺栓螺纹继续不断地旋拧摩擦,使前一次的粗糙侧面开始变光洁,进而造成了粗糙度下降。

当收口量增加至 0.10mm 时,第1次拧入拧出试验后,螺纹牙侧的涂层已发生部分脱落,脱落的程度较收口量为 0.05mm 时的脱落程度更严重,如图7(a)所示;当第2次拧入拧出试验后,只有少许涂层残留在牙侧表面,且牙侧的粗糙度有所降低,其牙型表面状态与第3次拧入拧出后的牙型表面状态相同,如图7(b)、(c)所示;第4次拧入拧出后样品牙侧的表面状态如图7(d)所示,可以看出:试验螺母表面已无涂层存在,同时牙侧的粗糙度进一步降低。当收口量增加至 0.15mm 时,经过1次拧入拧出试验后,螺母收口变形区螺纹的涂层就已全部脱落(见图8(a)),但当第2次拧入拧出试验后,牙侧的表面的粗糙度才发生明显变化,且随着拧入拧出次数的增加,粗糙度越来越低,如图8(b)、(c)、(d)所示。通过对比分析 0.05mm 、 0.10mm 和 0.15mm 3种收口量下试验螺母变形区螺纹的表面状态可知,随着收口量的增加,螺母螺纹牙侧表面粗糙度不断降低,粗糙度的降低,增加了螺栓外螺纹与螺母内螺纹的摩擦系数,从而使扭拉系数增大,所得结果与试验所得数据相符。

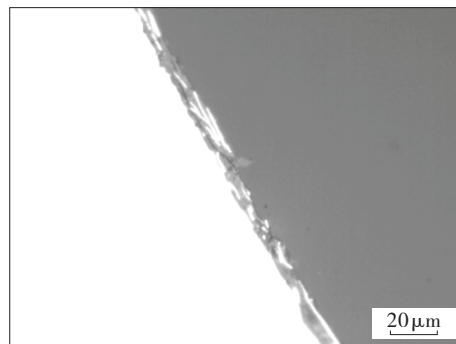


图5 螺母原始涂层

Fig.5 Section of thread with the original coating

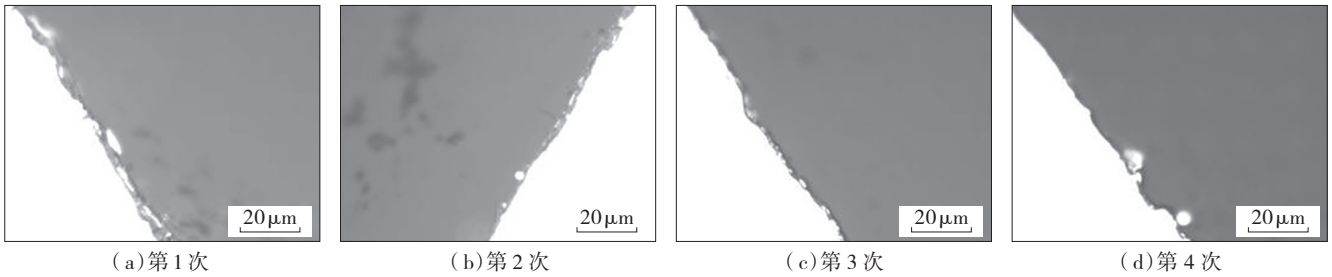


图6 收口量为0.05mm螺母样品不同拧入拧出次数后螺纹牙侧截面图
Fig.6 Section of thread after different test times at 0.05mm crimping dimension

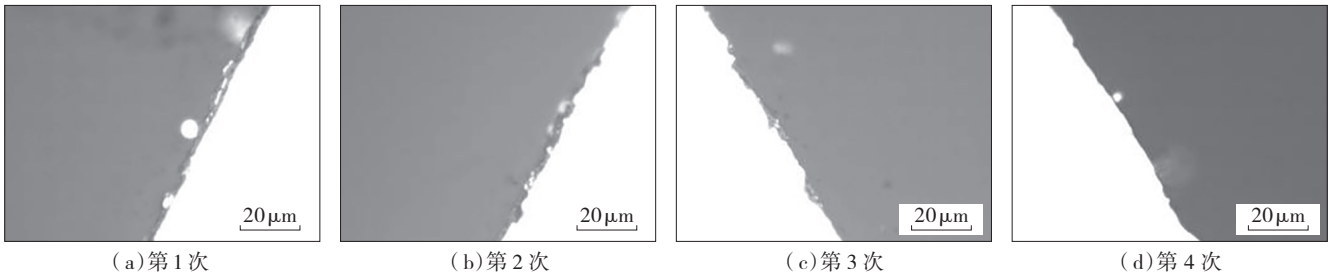


图7 收口量为0.10mm螺母样品不同拧入拧出次数后螺纹牙侧截面图
Fig.7 Section of thread after different test times at 0.10mm crimping dimension

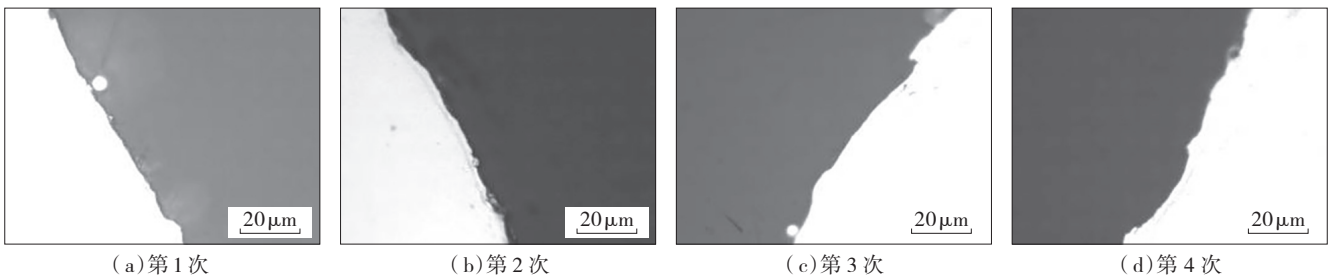


图8 收口量为0.15mm螺母样品不同拧入拧出次数后螺纹牙侧截面图
Fig.8 Section of thread after different test times at 0.15mm crimping dimension

3 结论

本文以钛合金自锁螺母为研究对象,开展了不同收口量下的锁紧性能试验,研究了收口量对钛合金自锁螺母锁紧性能的影响,确定了满足要求的钛合金自锁螺母的最优收口工艺参数,得出了锁紧力矩、松脱力矩及预紧力与收口量的变化规律。

(1)随着拧入拧出次数的增加,锁紧力矩值和松脱力矩值呈现先增大后减小的趋势,收口量为0.05mm和0.10mm时变化幅度较小,而收口量为0.15mm时变化幅度最大。

(2)安装力矩与预紧力基本呈线性关系,收口量的大小决定了安装力矩与预紧力之间线性变化的斜率,收口量越小则线性关系的斜率越大,收口量为0.05mm、0.10mm和0.15mm时的扭拉系数 K 分别为0.09、0.12和0.16。

参考文献

- [1] SEONG W K, JEOUNG H K, YONG H S, et al. Deformation characteristics of Ti-6Al-4V alloys with enhanced high temperature ductility [J]. *Materials Science and Engineering*, 2013, A559: 96-100.
- [2] 申庆援, 单垄垄, 张晓斌, 等. 钛合金螺母浮动式精密温成形工艺研究 [J]. *锻压技术*, 2014, 39(2): 74-78.
SHEN Qingyuan, SHAN Longlong, ZHANG Xiaobin, et al. Research of precision warm-forming by floating-die for titanium alloy nut[J]. *Forging & Stamping Technology*, 2014, 39(2): 74-78.
- [3] 王立东, 刘风雷, 赵庆云, 等. 热锻温度对复杂型面钛合金自锁螺母成形性能的影响 [J]. *热加工工艺*, 2015, 44(13): 150-156.
- [4] WANG Lidong, LIU Fenglei, ZHAO Qingyun, et al. Influence of hot upsetting temperature on forming property of titanium alloy self-locking nut with complex surface[J]. *Hot Working Technology*, 2015, 44(13): 150-156.
- [4] 李英亮. 紧固件概论 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2014.

(下转第87页)