

多种收口因素对GH738自锁螺母力矩衰减速度的影响研究

孙景冬, 郑冬梅

(中国航发沈阳发动机研究所, 沈阳 110015)

[摘要] 为研究多种收口因素对GH738自锁螺母锁紧力矩衰减速度的影响规律, 制定针对性的改进措施, 采用分组试验的方法对比分析了螺母收口方式、锁紧段壁厚、收口量大小3种因素组合作用时螺母锁紧力矩衰减速度的情况。结果表明: 采用三点收口方式、增大收口段壁厚、增大收口量总体上均可以提高螺母的拧出力矩值。对于MJ8螺母, 采用上述收口工艺后螺母拧出力矩衰减程度由43.2%下降到17.9%, 但对于规格MJ6及以下的螺母, 采用三点收口工艺时螺母锁紧性能衰减速度对锁紧段壁厚变化敏感, 表现不稳定。

关键词: 自锁螺母; 收口; 锁紧力矩; 衰减速度; 分组试验

Various Influence on Locking Torque Descent Rate of GH738 Self-Locking Nut

SUN Jingdong, ZHENG Dongmei

(AECC Shenyang Engine Research Institute, Shenyang 110015, China)

[ABSTRACT] In order to study the influence of various factors on locking torque descent rate of GH738 self-locking nut, targeted improvement measurements and group tests were taken under the combined effect of three factors, namely, deformation form, thickness and deformation amount of lock area. The results show that the locking torque can be increased by adopting three-point deformation process, increasing the thickness and deformation amount of the lock area. For MJ8 nuts, after improvement the descent scale of locking torque decreases from 43.2% to 17.9%, but for MJ6 and below nuts, the descent rate of locking torque is susceptible to the variation of lock area thickness when adopting three-point deformation process, which is unstable.

Keywords: Self-locking nut; Deformation; Locking torque; Descent rate; Group test

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2020.12.087

自锁螺母是利用自身结构塑性变形在螺纹副间产生摩擦力矩来防止螺纹松动, 虽有重复拆装方便的优点, 但其自锁力矩也会在重复使用过程中逐步衰减, 特别是在航空发动机振动、冲击、载荷变动以及温差过大的苛刻工况下^[1]。实际使用中曾出现过某型涡扇发动机一次试车后连续5台发动机鼓筒前连接螺母自锁力矩衰减较大的情况, 且已小于标准规定力矩下限, 而相关标准要求其在高温环境下使用5次后锁紧力矩应能满足要求, 故自锁螺母因锁紧力矩衰减过快造成重复使用性差、使用寿命短是目前亟待解决的问题。

研究表明, 影响自锁螺母锁紧力矩衰减速度的因素有很多, 除不可改变的恶劣工况因素外, 螺母的选材及热处理、锁紧结构尺寸、收口方式及收口量等都是主要

影响因素^[2-3]。但现有研究只是通过常温循环试验分析单一因素对螺母锁紧力矩衰减的影响规律, 且没有对比不同规格螺母的差异^[4-5]。本文将通过分组试验的方法, 对比分析在常温和高温环境下, GH738螺母收口方式、锁紧段壁厚、收口量大小3种因素组合作用时对螺母锁紧力矩衰减的影响规律, 进而探讨对于不同规格的螺母延长其使用寿命的收口工艺优化措施。

1 试验对象分析

我国航空发动机上主要使用的是压扁收口自锁螺母, 其是在特定的锁紧部位进行收压变形, 使锁紧部位的螺纹孔由圆形变为非圆形^[6]。压扁方式有椭圆收口、三点收口和多点收口。椭圆收口方式工艺简单, 是目前

国产自锁螺母最常用的压扁方式,理论上其比三点收口螺母锁紧区作用面积小,在达到相同锁紧力矩时所需变形量更大,锁紧性能不如三点收口稳定,但二者对锁紧力矩衰减速度的影响还需进行对比试验分析。

自锁螺母的锁紧性能与螺母材料的弹性有很大关系^[7],低强度螺母在拧入螺栓时容易使其非圆收口部位产生塑性变形,难以保证弹性锁紧的性能要求,理论上加大螺母锁紧段的壁厚可以提高其锁紧性能稳定性。

自锁螺母收口处收口量大小对其拧出力矩的平均值也有很大影响^[8],理论上收口量越大拧出力矩平均值就越大,尤其是前几次拧出力矩增大明显,但过大的收口量时可能导致首次拧出力矩超出标准上限,且其对锁紧力矩的衰减速度的影响尚不明确,需要通过试验进一步分析。

2 试验及方法

为对比分析影响因素变化时不同规格螺母的表现差异,选取 MJ6 和 MJ8 两种规格的螺母为试验对象,材料均为航空发动机紧固件常用的进口材料 Waspaloy,对应国内材料牌号为 GH738,试验设备为国产扭力机,试验件安装如图 1 所示。试验项目为常温 15 次循环试验和高温 5 次加载试验,每项试验的试验件均为 8 件,技术要求和试验方法分别按 HB7686—2001^[9] 和 HB7687—2001^[10]。

为分析 3 种因素组合作用时对螺母锁紧力矩衰减的影响规律,采取依次叠加影响因素的思路设计试验分组并加工试验件,试验分组及对应试验件见表 1。

3 结果与讨论

3.1 收口方式对比试验

将各组试验件的拧出力矩结果取平均值(后文同),

绘制成图 2 和图 3。

由试验数据可见,在常温循环试验后,采用三点收口(B 组)的两种规格的螺母各次拧出力矩均大于采用两点收口(A 组)的螺母,如图 2 所示。

如图 3 所示,在高温加载试验后:

(1) MJ6 螺母 5 次拧出力矩值都大于采用两点收口的螺母,其锁紧力矩衰减程度也小于两点收口的螺母(B 组衰减程度为 52.7%, A 组衰减程度为 55.6%,图 3(a))。

(2) MJ8 螺母 5 次拧出力矩平均值与采用两点收口的螺母相差很小,但其锁紧力矩衰减程度小于两点收口的螺母(B 组衰减程度为 39.2%, A 组衰减程度为 43.2%,图 3(b))。

3.2 锁紧段壁厚对比试验

由试验数据可见,在同样采用三点收口方式的情况下,随着收口段壁厚的增加,在常温循环试验后,两种规格螺母各次拧出力矩值均逐渐增大,如图 4 所示。

如图 5 所示,高温加载试验后, MJ6 和 MJ8 螺母锁紧力矩表现出不同的衰减规律:

(1) MJ6 螺母随着壁厚的增加,首次拧出力矩明显

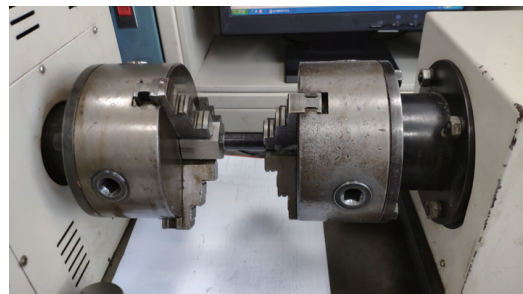


图1 试件安装图

Fig.1 Installation diagram of testing pieces

表1 试验分组及对应试验件
Table 1 Test groups and test pieces

序号	影响因素	对比	试验组别	收口形式	收口段壁厚(外圆尺寸 d)/mm		收口量大小/mm	
					MJ6	MJ8	MJ6	MJ8
1	收口方式	A、B	A	两点	7.2	9.2	0.25	0.35
				三点	7.2	9.2	0.25	0.35
2	收口段壁厚	B、C、D、E		C 三点	7.4	9.4	0.25	0.35
				D 三点	7.6	9.6	0.25	0.35
				E 三点	7.8	9.8	0.25	0.35
3	收口量大小	F、G		F 三点	7.2	9.8	0.20	0.30
				G 三点	7.2	9.8	0.12	0.20

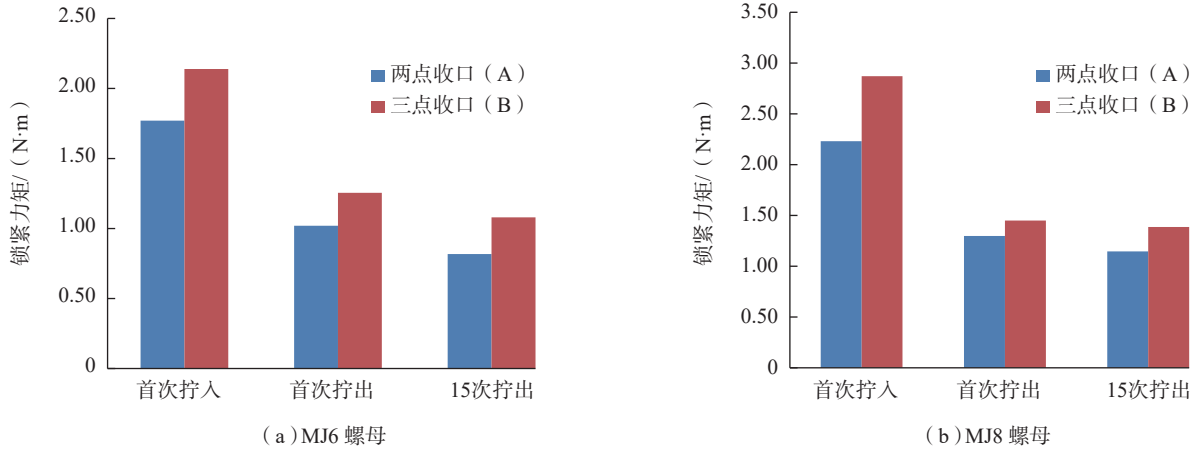


图2 不同收口方式螺母常温循环对比试验

Fig.2 Torque comparison between two-point and three-point deformation nuts at room temperature

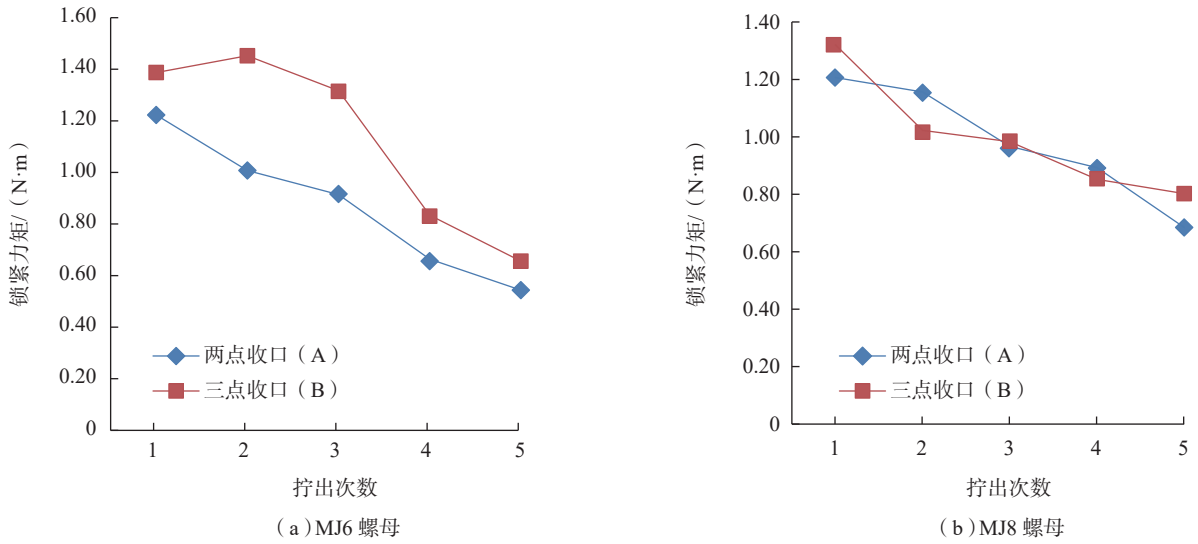


图3 不同收口方式螺母高温加载对比试验

Fig.3 Torque comparison between two-point and three-point deformation nuts at high temperature

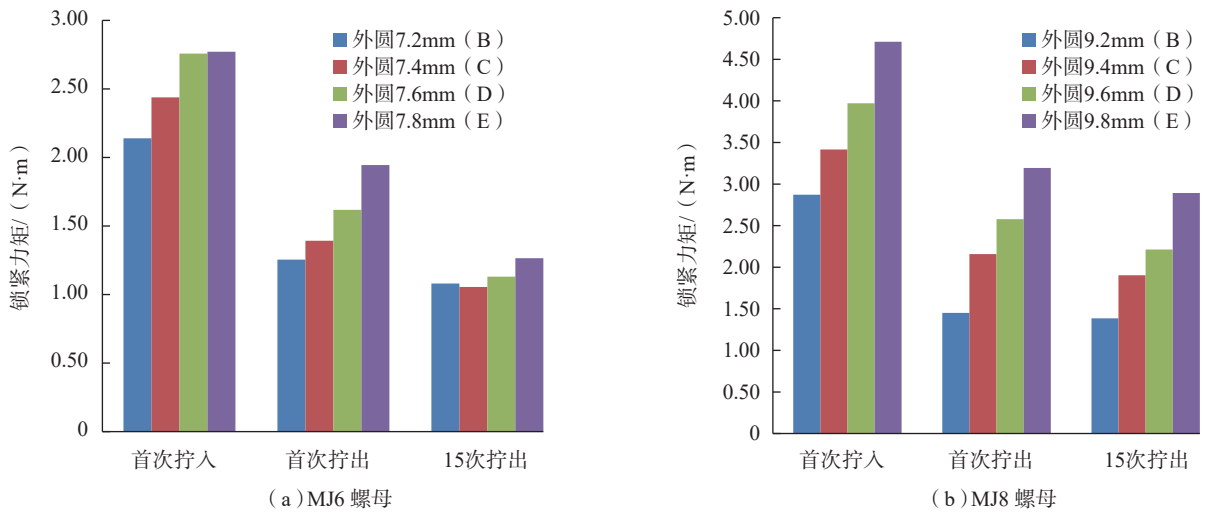


图4 不同锁紧段壁厚螺母常温循环对比试验

Fig.4 Torque comparison of different thickness of lock area at room temperature

增大,但其衰减速度同样增大明显,最终第5次拧出力矩相差不大。外圆尺寸由小到大螺母锁紧力矩衰减程度依次为52.7%、64%、68.2%、74.7% (图5(a))。

(2) MJ8 螺母随着壁厚的增加, B、C、E 3 组试验 5 次拧出力矩都依次增大,且衰减速度依次减小。D 组试验前两次拧出力矩大于 E 组数据,第3次拧出后力矩下落到 E 组和 C 组之间,总体衰减速度较快。外圆尺寸由小到大螺母锁紧力矩衰减程度依次为39.3%、30%、50%、17.9% (图5(b))。

由上述分析可知,高温加载试验后 MJ6 螺母随着壁厚的增加,衰减速度逐渐增大,而 MJ8 螺母衰减速度总体上逐渐减小。

分析现象出现的原因,三点收口工艺是采用3个压头同时对螺母收口段外圆进行收压,由于 MJ6 螺母相对 MJ8 螺母外径较小,各受压点之间距离较近,收口段受压变形时各受压点之间的相互影响较大,加之收口段各处硬度、各压头的收口量都是有细微差异的,导致螺母收口段3处变形不完全一致,且这种情况在收口段加厚时由于变形部位金属量增加会更加明显,最终导致 MJ6 螺母在收口段壁厚对比试验中表现出的衰减规律。

3.3 收口量大小对比试验

由试验数据可见,在采用相同收口方式和收口段壁厚的情况下,随着收口量的减小,常温循环试验后,两种规格螺母各次拧出力矩值均逐渐减小,如图6所示。

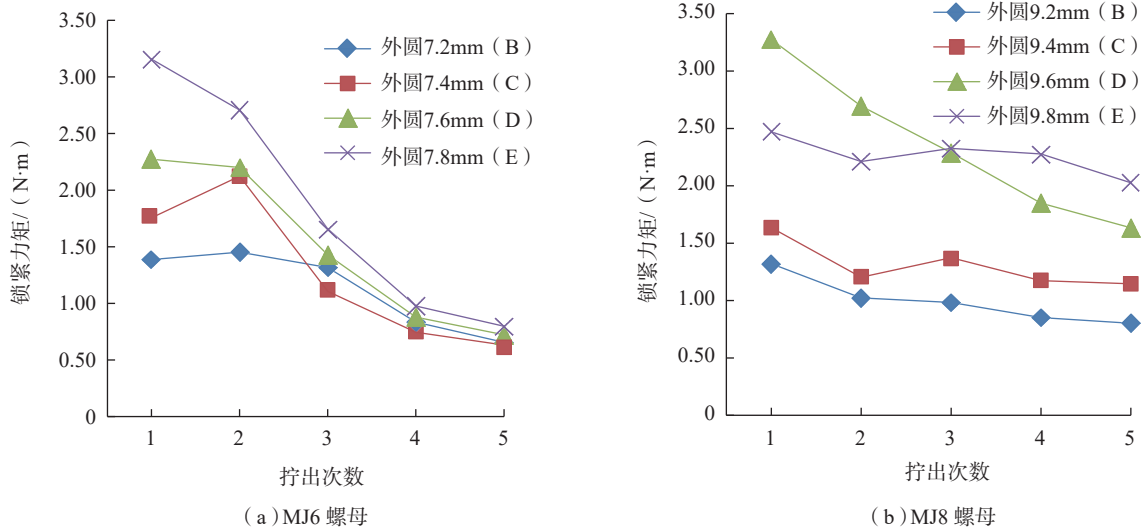


图5 不同锁紧段壁厚螺母高温加载对比试验

Fig.5 Torque comparison of different thickness of lock area at high temperature

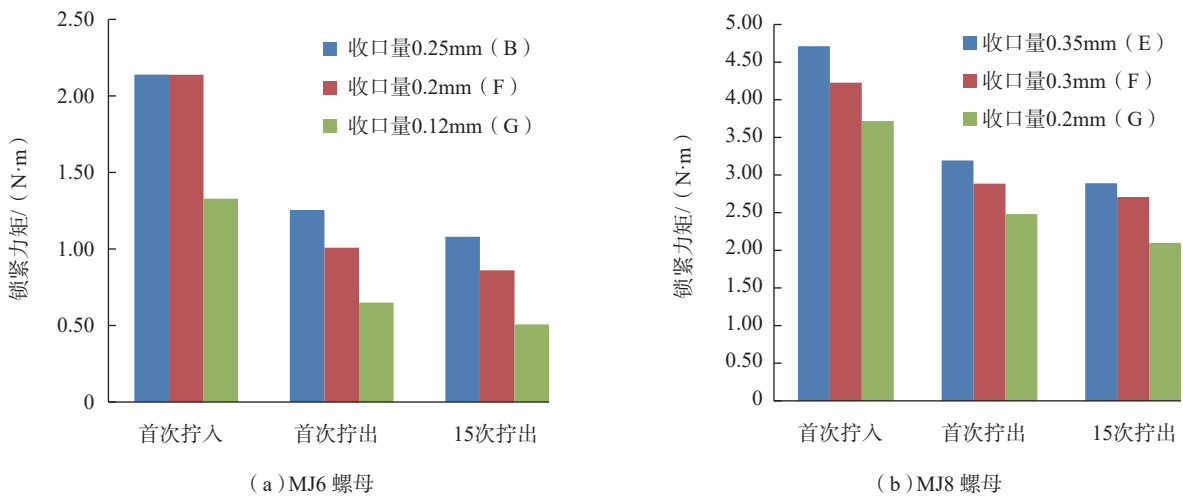


图6 不同收口量大小螺母常温循环对比试验

Fig.6 Torque comparison of different amount of deformation at room temperature

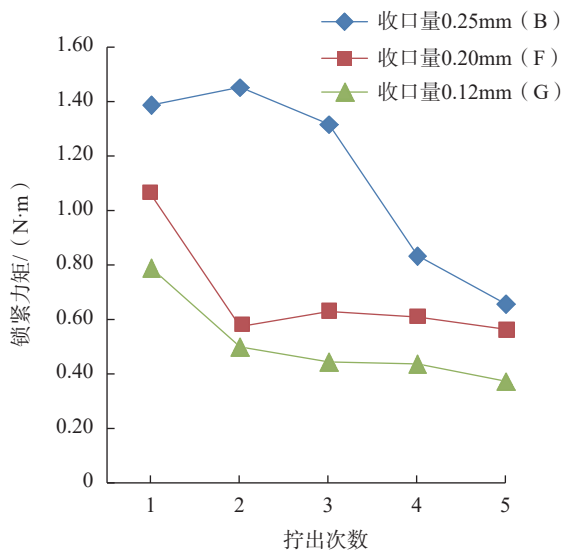
如图 7 所示,高温加载试验后,随着收口量的减小:

(1) MJ6 螺母各次拧出力矩依次减小,但其总的衰减幅度相差不大, B、F、G 组依次为 52.5%、47.17%、56.16% (图 7 (a))。

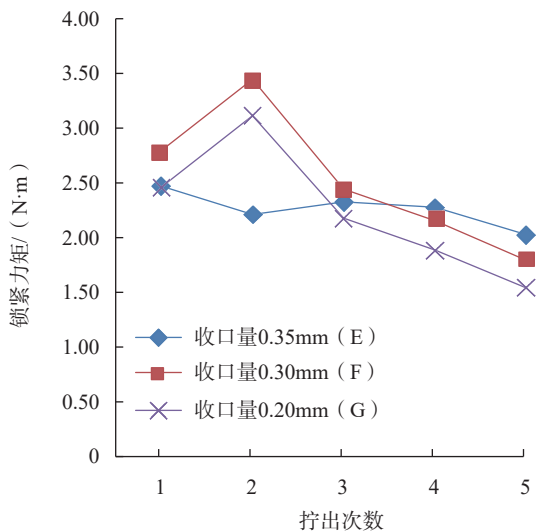
(2) MJ8 螺母 F 组各次拧出力矩均大于 G 组, E 组第二次力矩小于 F 组和 G 组,但第 4 次和 5 次力矩大于 F 组和 G 组。各组力矩衰减幅度逐渐增大, E、F、G 组依次为 17.9%、35.8%、37.4% (图 7 (b))。

4 结论

通过分析对比试验数据,得出分组试验结论如下:



(a) MJ6 螺母



(b) MJ8 螺母

图 7 不同收口量大小螺母高温加载对比试验

Fig.7 Torque comparison of different amount of deformation at high temperature

(1) 常温循环试验时: 拧出力矩的衰减主要集中在首次拧入拧出, 第 2 次至第 15 次衰减相对不大。

(2) 高温加载试验时: 由于试验件本身内应力释放的影响, 各分组中前两次拧出力矩衰减幅度相差较大, 后 3 次趋于一致。

(3) 两种规格的 GH738 螺母采用三点收口方式、增大收口段壁厚、增大收口量总体上均可以提高螺母的拧出力矩值, MJ8 螺母拧出力矩衰减程度由 43.2% (A 组) 下降到 17.9% (E 组)。

对于规格 MJ8 及以上的 GH738 螺母, 推荐采用三点收口工艺, 并增大其收口段外圆尺寸, 同时适当加大收口量大小, 可以在降低其锁紧力矩衰减速度的同时提高平均锁紧力矩, 但应注意收口量不宜过大, 防止最大拧入力矩超出标准和应力集中过大造成螺母收口段损坏, 收口量的控制则需反复工艺试验来摸索。

对于规格 MJ6 及以下的 GH738 螺母, 由于其规格较小, 收口段受压变形时各受压点之间的相互影响较大, 采用三点收口工艺时螺母锁紧性能衰减速度对锁紧段壁厚变化敏感, 表现不稳定, 故建议采用两点收口工艺。

参考文献

- [1] 黄南, 李少龙, 朱伟坚. 航空发动机自锁螺母使用寿命影响因素分析与研究[J]. 航空科学技术, 2017, 28(4): 68-74.
HUANG Nan, LI Shaolong, ZHU Weijian. Research on influencing factors of service life of aero-engine self-locking nut[J]. Aeronautical Science & Technology, 2017, 28(4): 68-74.
- [2] 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.
- [3] 张占元. 自锁螺母的防松及滚压收口的应用[J]. 飞机设计, 2002, 22(1): 49-52.
ZHANG Zhanyuan. Application research on blocking of self-locking nuts and reducing by rolling[J]. Aircraft Design, 2002, 22(1): 49-52.
- [4] 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, 59(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, 59(9): 103-106.
- [5] 张和平, 闫毓卿, 莫易敏. 锁紧螺母扭矩设计与重复使用特性研究[J]. 机械设计与制造, 2018(S1): 114-116, 120.
ZHANG Heping, YAN Yuqing, MO Yimin. A study of torque design and reusability of prevailing torque nuts[J]. Machinery Design & Manufacture, 2018(S1): 114-116, 120.
- [6] 紧固件连接设计手册编委会. 紧固件连接设计手册[M]. 北京: 国防工业出版社, 1990.

(下转第 96 页)



图6 PAA+BR-127+TB06-9腐蚀960h
Fig.6 PAA+BR-127+TB06-9 after 960h corrosion

参考文献

[1] 林刚, 林慧国, 赵玉涛. 铝合金应用手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006: 484.

LIN Gang, LIN Huiguo, ZHAO Yutao. Aluminum alloy application manual[M]. Beijing: China Machine Press, 2006: 484.

[2] 李云涛, 李晓宁, 包俊成, 等. 2024 铝合金盐雾腐蚀评估及腐蚀形貌分析[J]. 腐蚀与防护, 2015, 36(9): 864-868.

LI Yuntao, LI Xiaoning, BAO Juncheng, et al. Corrosion evaluation and morphology analysis of 2024 aluminum alloy in salt spray[J]. Corrosion & Protection, 2015, 36(9): 864-868.

[3] BENSALAH W, FEKI M, WERY M, et al. Chemical dissolution resistance of anodic oxide layers formed on aluminum[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2011, 21(7): 1673-1679.

[4] 张仁群, 王斌, 岳涛, 等. 浅析国军标 GJB150 与美军标 MIL-STD-810F 盐雾试验[J]. 环境技术, 2008, 26(5): 42-45, 26.

ZHANG Renqun, WANG Bin, YUE Tao, et al. Analysis of the salt fog test between GJB150 and MIL-STD-810F[J]. Environmental Technology, 2008, 26(5): 42-45, 26.

[5] WANG Z Y, MA T, HAN W, et al. Corrosion behavior on aluminum alloy LY12 in simulated atmospheric corrosion process[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2007, 17(2): 326-334.

[6] LIU W L, MU Z T, JIN P. Accelerated corrosion test and corrosion failure distribution model of aircraft structural aluminum alloy[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2006, 16(S3): 1485-1488.

[7] 生海, 董超芳, 肖葵, 等. pH 值对 2024-T351 铝合金在 NaCl 溶液中电化学反应行为的影响[J]. 腐蚀与防护, 2013, 34(2): 107-110, 132.

SHENG Hai, DONG Chaofang, XIAO Kui, et al. Effect of pH on electrochemical behavior of 2024-T351 aluminium alloy in NaCl solution[J]. Corrosion & Protection, 2013, 34(2): 107-110, 132.

[8] 高堂铃, 付刚, 王冠, 等. 结构胶接用抑制腐蚀底胶的制备和性能研究[J]. 黑龙江科学, 2015, 6(7): 12-15.

GAO Tangling, FU Gang, WANG Guan, et al. Investigations on the

preparation and properties of a corrosion inhibiting primer for structural bonding[J]. Heilongjiang Science, 2015, 6(7): 12-15.

[9] 韩允, 赵连红, 张红飞, 等. 5% NaCl 盐雾环境对铝合金铆接防护结构性能影响研究[J]. 装备环境工程, 2019, 16(11): 51-55.

HAN Yun, ZHAO Lianhong, ZHANG Hongfei, et al. Influence of 5% NaCl salt spray environment on the performance of aluminum alloy riveted protection structure[J]. Equipment Environmental Engineering, 2019, 16(11): 51-55.

[10] 刘铭, 张坤, 戴圣龙, 等. 航空用 Al-Cu-Mg 铝合金疲劳行为研究[J]. 航空材料学报, 2014, 34(1): 76-81.

LIU Ming, ZHANG Kun, DAI Shenglong, et al. Fatigue performance of Al-Cu-Mg aluminum alloy for aviation[J]. Journal of Aeronautical Materials, 2014, 34(1): 76-81.

通讯作者: 程文礼, 硕士、高级工程师, 研究方向为复合材料, E-mail: 13552018131@163.com。

(责编 大漠)

(上接第91页)

Designing Manuel of Fastener Connector Editorial Committee. Designing manual of fastener connector[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1990.

[7] 李英亮. 紧固件概论[M]. 北京: 国防工业出版社, 2014.

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

[8] 王立东, 刘风雷, 赵庆云. 收口量对钛合金自锁螺母锁紧性能的影响[J]. 航空制造技术, 2017, 60(23/24): 79-82.

WANG Lidong, LIU Fenglei, ZHAO Qingyun. Influence of crimping dimension on locking properties of titanium alloy self-locking nut[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2017, 60(23/24): 79-82.

[9] 国防科学技术工业委员会. HB 7686—2001 使用温度高于 425°C 的 MJ 螺纹自锁螺母通用规范[S]. 北京: 国防科学技术工业委员会, 2001.

Commission on Science, Technology, and Industry for National Defense. HB 7686—2001 General specification for nuts, self-locking, with maximum operating temperature more or equal to 425°C[S]. Beijing: Commission on Science, Technology, and Industry for National Defense, 2001.

[10] 国防科学技术工业委员会. HB 7687—2001 使用温度高于 425°C 的 MJ 螺纹自锁螺母试验方法[S]. 北京: 国防科学技术工业委员会, 2001.

Commission on Science, Technology, and Industry for National Defense. HB 7687—2001 Test method for nuts, self-locking, with maximum operating temperature more or equal to 425°C[S]. Beijing: Commission on Science, Technology, and Industry for National Defense, 2001.

通讯作者: 孙景冬, 硕士, 工程师, 研究方向为航空发动机用紧固件设计, E-mail: albertmax@126.com。

(责编 大漠)