

# 轻型英制钛合金高锁螺栓制造工艺技术

## Manufacturing Technology of British System Light-Weight Titanium Alloy Bolt

北京航空制造工程研究所 任 翀 刘风雷 赵庆云 徐鑫良

**[摘要]** 介绍了轻型英制钛合金高锁螺栓的产品特点,叙述其关键制造加工技术,如全型面磨削、短螺纹收尾成型、铝涂层表面涂覆等,实现了轻型高锁螺栓的国内制造。

**关键词:** 轻型高锁螺栓 全型面磨削 短螺纹收尾成型 铝涂层涂覆

**[ABSTRACT]** The features of light-weight bolt are introduced, and key manufacturing technology is depicted, especially the whole profile grinding for workpiece, shortened runout thread forming, aluminum corrosion inhibiting coatings, etc. Light-weight bolt is realized manufacturing in China.

**Keywords:** Light-weight bolt Whole profile grinding Forming for shortened runout thread Aluminum coating

随着现代航空技术的发展,对现代飞机机械连接工艺的要求越来越深入、细化,复合材料结构、多种材料叠加结构的大量应用,对机械连接技术提出明确的轻重量、高强度、长寿命、安装方便的具体要求。在此背景下,为适应航空工业需要,相继出现用于间隙型结构的钛合金高锁螺栓紧固系统和用于金属结构抗疲劳干涉型的钛合金高锁螺栓紧固系统,并在其基础上改进为目前大量应用于西方军、民机制造的轻型钛合金高锁螺栓。轻型钛合金高锁螺栓具有可控预载荷、自锁、高的疲劳寿命、抗振动、防松、可多种材料组合、安装噪声小、容易安装等特点。

轻型钛合金高锁螺栓采用了具有特殊过渡外形及专利滚压强化技术的短收尾,收尾短了,与之配套的高锁螺母高度也随之减低(图1),大大降低了装配后整个高锁螺栓紧固系统的重量,具体如表1所示。

## 1 产品特点

### 1.1 轻型高锁螺栓与国内 HB6510 高锁螺栓的区别

轻型高锁螺栓与普通高锁螺栓主要差异体现在如下3个方面(见图2):

(1) HB6510 高锁螺栓螺纹收尾要求为 $\leq 2P$  ( $P$ 代

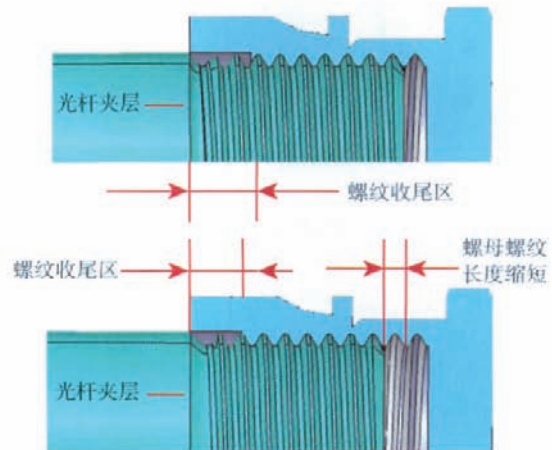


图1 轻型钛合金高锁螺栓与螺母装配(上)、普通高锁与普通螺母装配(下)比较

Fig.1 Comparison between light-weight bolt and general bolt assembled with nut

表1 不同规格轻型钛合金高锁螺栓重量节省数据

直径/mm	重量 (kg/千件节省)	重量节省/%
4.7625	0.145	8
6.3500	0.481	12
7.9375	1.157	16
9.3525	2.005	16

典型飞机结构重量节省 13.2%



(a) 普通高锁螺栓 (b) 轻型高锁螺栓

图2 普通高锁螺栓与轻型钛合金高锁螺栓比较

Fig.2 Comparison between general bolt and light-weight bolt

表螺距), 轻型高锁螺栓螺纹收尾要求为  $\leq 1.5P$ 。

(2) HB6510 高锁螺栓杆部与螺纹收尾过渡区采用斜直线过渡, 轻型高锁螺栓杆部与螺纹收尾过渡区采用圆弧过渡。

(3) HB6510 高锁螺栓表面采用蓝色阳极化, 无耐腐蚀铝涂层, 轻型高锁螺栓采用涂层处理, 如图 3 所示。



(a) 蓝色阳极化的普通高锁螺栓 (b) 涂层处理的轻型高锁螺栓

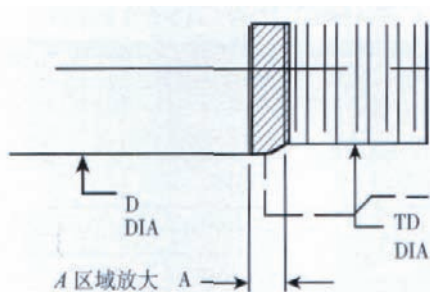
图3 普通高锁螺栓与轻型高锁螺栓表面处理对比

Fig.3 Comparison between general bolt coating and light-weight bolt coating

在应用上, HB6510 高锁螺栓仅适用于间隙装配结构, 而轻型高锁螺栓既可用于间隙连接结构亦可用于干涉连接结构。

### 1.2 外形尺寸特性

轻型高锁螺栓杆部螺纹过渡区域为圆弧过渡, 螺纹收尾  $\leq 1.5P$ , 如图 4 所示。



此区域具有特殊外形, 并且冷挤压强化以满足机械性能要求



轻型高锁螺栓螺纹过渡区, A 区域放大观察

图4 轻型钛合金高锁螺栓螺纹过渡示意图

Fig.4 Thread transition diagram of light-weight bolt

### 1.3 表面特性

为提高轻型高锁螺栓紧固系统的装配性能, 降低紧固系统与结构基体之间的腐蚀以及提高紧固系统本身对环境的抗腐蚀能力, 轻型高锁螺栓产品可采用多达

22 种不同的表面涂层, 铝涂层是优先选用的耐腐蚀及润滑涂层, 与无涂层零件相比, 其耐腐蚀性显著提高, 从而有效提高了装配结构的可靠性, 延长了装配结构的寿命。

铝涂层是具备优良耐腐蚀性和耐高温 (230℃) 的酚醛树脂基铝涂层, 通过喷涂及高温固化方式达到最终性能要求, 对燃料及水基溶剂有优良的耐溶性, 保持软态以降低涂层的脆性和保持优良的粘结性, 内含铬酸盐化合物。主要应用于钛合金 (Ti-6Al-4V)、镍基 (Inco 718) 和高温合金 (A286、300 系列不锈钢) 紧固件、零件全面积涂覆保护, 表面涂层的保护有效防止了高锁螺栓紧固系统在安装过程中出现划伤。在飞机不可拆卸连接结构中的应用结果表明: 铝涂层具备优良的机体腐蚀保护功能, 提高了结构疲劳寿命, 降低了装配更换次数, 单机成本节约显著。

## 2 关键制造工艺技术

我国进行钛紧固件工艺技术研究已有 30 多年的历史, 目前已形成基本完整的钛合金紧固件研制体系, 具备间隙型 HB6510 (光杆公差带 f9 抗剪型 100° 沉头高锁螺栓)、HB6512 (光杆公差带 f9 抗剪型平头高锁螺栓) 的批生产能力。轻型钛合金高锁螺栓在间隙型钛合金紧固件制造技术基础上进行关键技术研究, 主要研究全型面磨削技术、短收尾螺纹成形技术及铝涂层技术。

### 2.1 全型面磨削技术

轻型高锁螺栓其头部尺寸、杆部直径、过渡圆弧、形位公差均有较高要求, 需要采用数控无心磨床进行全型面磨削技术研究。整体磨削是全型面磨削技术首次在紧固件制造中应用, 需同时保证多部位、多尺寸较高加工精度的要求, 加工综合难度较大。材料的去除如图 4 所示。为保证磨削过程中各项尺寸的稳定, 尤其是各圆弧过渡, 需要选用适合的砂轮并定期修整砂轮。为达到一个砂轮修整周期可以尽量多地磨削出符合要求的零件, 则需保证磨削去除量的协调性 (见图 5), 确定好磨前毛坯尺寸, 避免局部磨削量过大造成砂轮轮廓外形局部过早失效。图 6 为磨削前后试件对比。

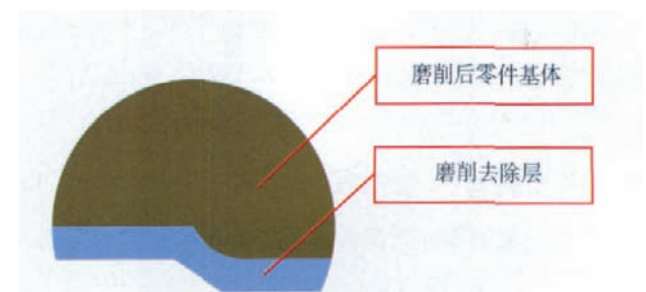


图5 磨削材料去除示意图

Fig.5 Material removing diagram of grinding procedure



图6 磨削前后试件对比

Fig.6 Workpiece comparison before and after grinding

### 2.2 短收尾螺纹成形技术

依照《轻型高锁螺栓紧固系统及高锁螺栓产品说明》中的定义,螺纹收尾是指最后一个完整螺纹牙底与过渡圆弧在杆部的起点之间的距离,如图7所示。

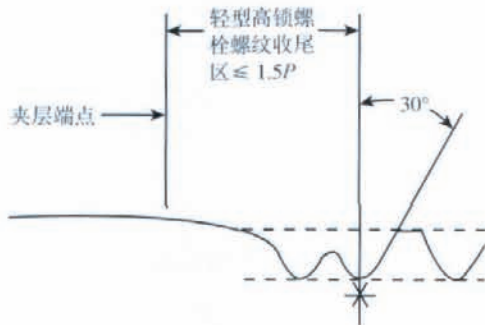


图7 螺纹收尾定义示意图

Fig.7 Diagram of thread transition

如图8所示,螺纹滚压加工时,在引导和收尾部位存在高度的应力集中,螺纹滚压过程中易使滚丝轮崩齿,为此,保证螺纹收尾 $\leq 1.5P$ ,需对滚压螺纹毛坯的形状和滚丝轮进行特殊设计加工。图9为最终滚压后的试件螺纹收尾照片。

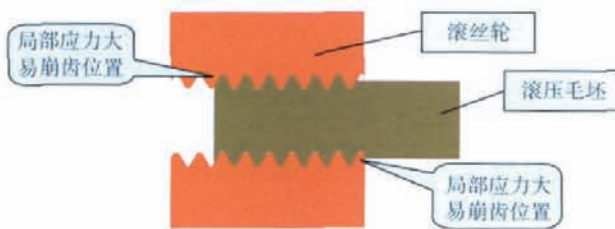


图8 螺纹滚压示意图

Fig.8 Diagram of thread rolling

### 2.3 表面涂铝技术

钛合金表面铝涂层是为了保证与铝结构连接时的电位防护,为达到有效的防护效果,对铝涂料成份进行了研究,采用较细的铝粉与树脂、粘结剂、防腐剂、润滑剂等复合并采用热固化工艺以满足涂层附着、粘结等要

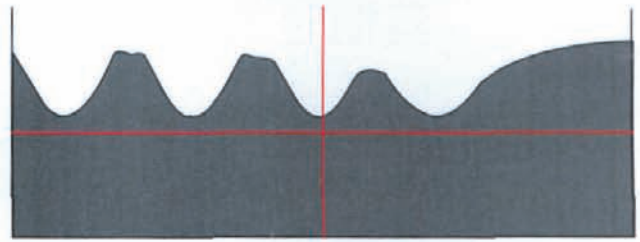


图9 螺纹滚压后的试件收尾区域

Fig.9 Thread transition of workpiece after thread rolling

求。为保证批量涂覆紧固件涂层厚度均匀可靠,采用了数字化控制涂覆设备,对涂覆参数量化处理。对涂覆后的试件进行外观、涂层厚度、结合力、耐流体性、耐脱漆剂、脆性、防腐性、耐热性、装配压力等试验,全部满足标准要求。图10为涂覆后的试件,图11为涂覆后的试件剖面金相图。



图10 涂覆后的试件

Fig.10 Workpieces after coating



图11 涂覆试件金相照片

Fig.11 Metallography pictures of coating workpiece

## 3 结束语

通过对轻型钛合金高锁螺栓的结构特点分析,制定了满足成形要求的加工方案,采用全面磨削技术、螺纹短收尾成形技术、自动化涂覆技术解决了轻型高锁螺栓制造工艺中的尺寸公差要求高、收尾尺寸 $\leq 1.5P$ 、表面防腐涂层涂覆要求高等技术难点,与间隙型紧固件制造技术共同构建了轻型高锁螺栓加工技术,实现了英制轻型高锁螺栓国产化加工,为钛合金高端顶固件在国产飞机上的应用打下了坚实的基础。

(责编 飞翔)