

BT16 钛合金沉头螺栓的加工工艺

沙爱学¹, 李兴无¹, 李红恩², 王清瑞¹

(1. 北京航空材料研究院, 北京 100095; 2. 沈阳飞机设计研究所, 沈阳 110035)

摘要: 研究 MJ5 和 MJ6 两种规格的 BT16 钛合金沉头螺栓显微组织、流线和显微硬度, 并与直径为 6 mm 的该合金丝材的显微硬度和组织进行对比。研究表明: BT16 钛合金螺栓光杆部位显微硬度与直径为 6 mm 的丝材退火状态下的硬度相当; 螺杆部位经受冷挤压缩径和螺纹滚制双重冷变形强化, 显微硬度明显高于光杆部位的显微硬度; 螺栓显微组织与丝材退火状态下的显微组织一致, 进一步证实螺栓是在退火状态下直接使用的, 未经过热处理强化, BT16 钛合金沉头螺栓采用一次缩径的冷变形强化制造工艺。

关键词: BT16 钛合金; 紧固件; 显微组织

中图分类号: TG146.23 **文献标志码:** A

Process of BT16 titanium alloy fastener

SHA Ai-xue¹, LI Xing-wu¹, LI Hong-en², WANG Qing-rui¹

(1. Beijing Institute of Aeronautical Materials, Beijing 100095, China;

2. Shenyang Institute of Aircraft Design, Shenyang 110035, China)

Abstract: The microstructure, streamline and microhardness of two different sizes BT16 countersunk head bolts were analyzed, and compared with that of thread of BT16 titanium alloy with diameter of 6 mm. The results show that the micro hardness of shank is similar to that of as-annealing thread with diameter of 6 mm. The micro hardness of screw is obviously higher than that of the shank because of cold deforming strengthen. Microstructure of BT16 bolt is very similar to that of thread in annealing state, which shows that the bolt can be used in annealing state without solution treatment and aging. Streamline and hardness analyses results show that BT16 countersunk head bolts are deformed under cold condition.

Key words: BT16 titanium alloy; fastener; microstructure

钛合金螺栓在飞机上使用不仅可以达到减轻质量、耐腐蚀的目的, 而且是钛合金、碳纤维复合材料等结构件必须的连接件^[1-2]。随着钛合金及复合材料在先进飞机上用量的不断扩大, 钛合金紧固件的用量也在不断增加, 以伊尔 - 76 大型运输机为例, 单机钛合金紧固件用量达到 10 万件以上。目前, 世界各国在飞机上应用的钛合金紧固件主要有 2 个牌号, 美国等西方国家一般采用通用型合金 Ti-6Al-4V 制造紧固件; 俄罗斯则采用 BT16(Ti-3Al-5Mo-4.5V)这一专用合金

生产紧固件。Ti-6Al-4V 属低合金化 α - β 两相型合金, 采用该合金制造螺栓必须采用热墩工艺, 再经过真空固溶时效处理, 生产成本较高。另外, 由于该合金 β 稳定系数只有 0.27, 淬透性较差, 相应紧固件尺寸也受到限制, 不宜超过 16 mm^[2]。BT16 合金也属于 α - β 两相型合金, 但 β 稳定系数大大高于 Ti-6Al-4V, 达到 0.83, 淬透性较好, 可以制造更大规格的紧固件。用 BT16 钛合金制造紧固件的最大优点是可以在冷变形强化后直接使用, 其生产成本和工作量大致是按热墩

工艺制造类似零件的二分之一到三分之一^[3], 但目前国内外文献中尚未见 BT16 钛合金紧固件制造工艺的报道, 因此, 分析 BT16 钛合金螺栓显微硬度、组织和流线对了解该合金紧固件成形工艺具有重要意义, 也可国内同类紧固件制造提供参考依据。

1 实验

试验材料为 BT16 钛合金 MJ5 和 MJ6 2 种规格沉头螺栓, 尺寸参数见表 1。将螺栓沿纵向剖开, 嵌镶后分析螺栓纵剖面的显微硬度、组织及流线, 并与丝材进行对比分析。显微硬度测试在 MVK-E 明石显微硬度计上进行, 微观组织分析在 JSM-5600 型扫描电镜上进行, 流线分析在 NEOPHOT-21 型金相显微镜上进行。

表 1 BT16 钛合金 MJ5 和 MJ6 沉头螺栓尺寸参数

Table 1 Size parameters of MJ5 and MJ6 bolts of BT16 alloy

Sample No.	Size	Type	Total length/mm	Thread length/mm
B2	MJ5	100° countersunk	22	6
B5	MJ6	Head bolt	16	9

2 结果与分析

2.1 显微硬度

图 1 和图 2 所示分别为 2 种规格的螺栓光杆和螺杆部位显微硬度沿径向分布情况。由图 1 和 2 可见 2

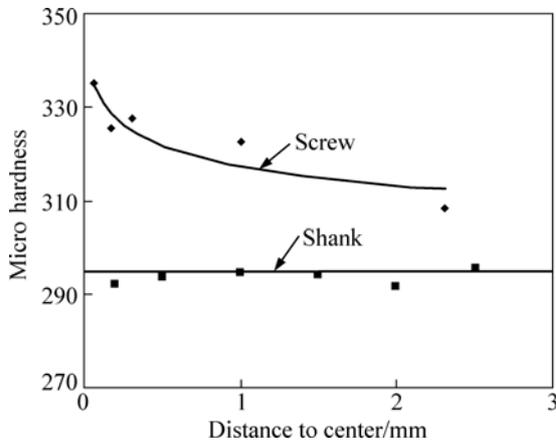


图 1 BT16 合金 MJ5 螺栓显微硬度沿径向分布情况

Fig.1 Microhardness distribution of BT16 alloy MJ5 bolt along radial direction

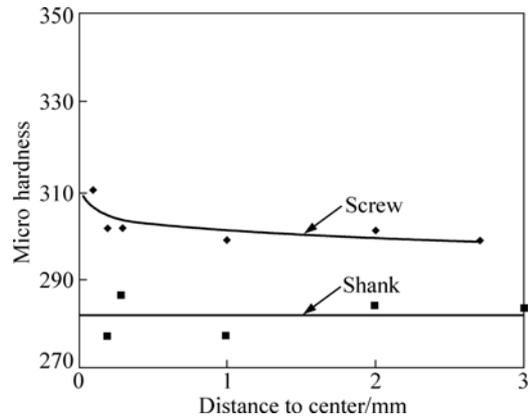


图 2 BT16 合金 MJ6 螺栓显微硬度沿径向分布情况

Fig.2 Microhardness distribution of BT16 alloy MJ6 bolt along radial direction

表 2 直径为 6 mm 的 BT16 合金丝材显微硬度

Table 2 Microhardness of BT16 alloy with diameter of 6 mm

Heating treatment	Microhardness
Annealing	290
Solution treatment and aging	340

种螺栓显微硬度沿径向的分布规律大体相同, 例如, 光杆部位的显微硬度沿径向均匀分布, 其中, MJ5 规格螺栓显微硬度为 290~300; MJ6 显微硬度为 280~290, 与直径为 6 mm 的 BT16 钛合金丝材退火状态下的硬度相当, 但明显低于固溶时效后的显微硬度 (见表 2)。表明螺栓是在退火状态下直接使用的, 且光杆部位未经过任何强化。

螺杆部位的显微硬度明显高于光杆部位, 同时呈边缘高心部低的趋势, 可以认为螺杆心部的显微硬度代表了螺纹滚压前坯料的显微硬度。从图 1 和 2 可以看出, 螺杆心部的显微硬度比光杆部位的显微硬度高 20 左右, 表明螺杆是通过挤压强化完成缩径的。螺纹牙底受到挤压缩径和滚压的综合强化, 硬度最大。

2.2 显微组织及流线分析

图 3 所示为 2 种规格螺栓螺纹牙底和中心部位的显微组织。由图 3(a)和(c)可见, 2 种规格的螺栓在牙底部位都发生了剧烈变形, 导致显微组织纤维化, 其中, MJ5 螺栓组织更加致密, 对应的显微硬度也更高。由图 3(b)和(d)可见, 心部组织没有发生明显变形。

为进一步确定俄螺栓使用时的热处理状态, 图 4 所示为直径为 6 mm BT16 钛合金丝材不同热处理状态的显微组织照片(热处理按俄工艺文件中给定的典型制度进行)。由图 4(a)可见: 退火状态下的显微组织

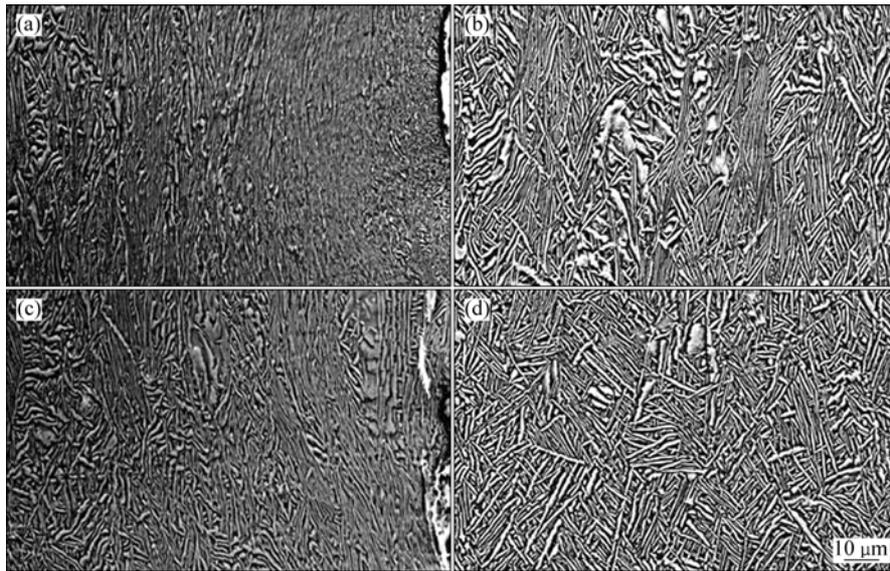


图3 2种规格的螺栓不同位置的显微组织

Fig.3 Microstructures of different locations of BT16 alloy bolts: (a) MJ5 bolt, microstructure at bottom of screw; (b) MJ5 bolt, microstructure at center of bolt; (c) MJ6 bolt, microstructure at bottom of screw; (d) MJ6 bolt, microstructure at center of bolt

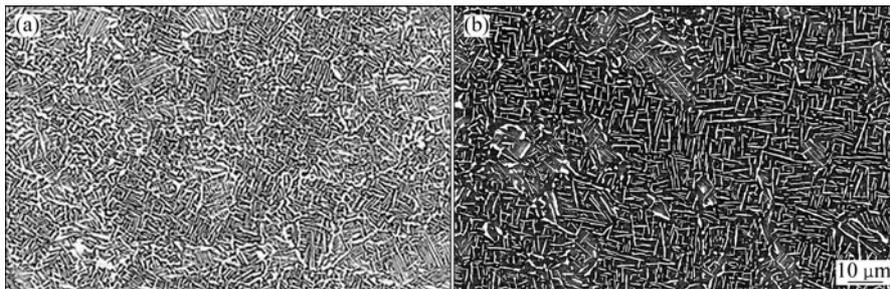


图4 直径6 mm BT16 钛合金丝材不同热处理状态的显微组织

Fig.4 Microstructures of BT16 alloy with diameter of 6 mm under different heat-treatment conditions: (a) Annealing; (b) Solution treatment and aging

中初生 α 相在60%左右;由图4(b)可见:固溶时效的显微组织中初生 α 相占40%左右, β 基体上有大量细小弥散分布的次生 α 相。MJ5和MJ6螺栓的显微组织显然与图4(a)一致,由此说明,MJ5和MJ6螺栓都是退火状态下使用的。

3 结论

1) BT16钛合金沉头螺栓光杆部位显微硬度与直径6 mm的丝材退火状态下的硬度相当,光杆部位未经强化。

2) BT16钛合金沉头螺栓螺杆部位经受了冷挤压缩径和螺纹滚制双重冷变形强化,其显微硬度明显高于光杆部位的。

3) 螺栓显微组织与丝材退火状态下的硬度相当,

表明螺栓是在退火状态下直接使用的。

REFERENCES

- [1] 王金友, 葛志明, 周彦邦. 航空用钛合金[M]. 上海: 科学技术出版社, 1985: 168.
WANG Jin-you, GE Zhi-ming, ZHOU Yan-bang. Titanium for aviation usage[M]. Shanghai: Science and Technology Press of Shanghai, 1985: 168.
- [2] FERRERO J, HUTT A, SWEET S. Properties comparison for various beta and alpha-beta alloys[C]//LUTJERING G, ALBRECHT J. Ti-2003 Science and Technology, Hamburg: DGM, 2004: 385.
- [3] МОИСЕЕВ В Н. Высокопрочный титановый сплав BT16 для производства деталей крепления методом холодного деформирования[J]. Металловедение и термическая металлов, 2002(5): 2-5.

(编辑 赵俊)