

研磨光整处理 Ti-6Al-4V 钛合金表面组织及疲劳性能

王筱冬,张娇

(榆林学院 能源工程学院,陕西 榆林 719000)

摘要:通过金相显微镜等测试仪器测试 Ti-6Al-4V 钛合金表面组织及疲劳寿命性能,对比研磨光整处理前后 Ti-6Al-4V 钛合金拉伸断口形貌以及微观组织。研究结果表明:双面加工时试样硬度随外径增大而显著上升。没有研磨光整处理的 Ti-6Al-4V 钛合金疲劳裂纹产生于表面区域,而经过研磨光整处理后的钛合金裂纹源转移到次表层中,裂纹源的周边组织中便不再存在类解理断裂形貌,形成的疲劳带宽度也更小。研磨处理前的钛合金具有较大的晶粒尺寸,经过研磨处理后钛合金表层的等轴晶粒被彻底击碎,转变为众多小晶粒。

关键词:钛合金;研磨光整;疲劳断裂;组织

中图分类号:TH142.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2019)04-0030-02

Research on Surface Tissue and Fatigue Properties of Ti-6Al-4V Titanium Alloy under Grinding and Finishing

WANG Xiaodong, ZHANG Jiao

(College of Energy Engineering, Yulin University, Yulin 719000, China)

Abstract: The surface structure and fatigue life of Ti-6Al-4V titanium alloy are tested by the metallographic microscope and other test instruments, and the tensile fracture morphology and microstructure of Ti-6Al-4V titanium alloy before and after polishing are compared. The results show that the hardness increases with the outer diameter increasing. The fatigue crack of Ti-6Al-4V titanium alloy with out polishing treatment is produced in the surface area. When the titanium alloy crack source is transferred to the subsurface after the polishing process, there is no longer the cleavage fracture morphology in the surrounding tissues of the crack source, and the fatigue band width is also smaller. Before grinding, the titanium alloy has a large grain size. After grinding, its surface is completely crushed and transformed into many small grains.

Keywords: titanium alloy; grinding and finishing; fatigue fracture; organization

0 引言

目前,钛合金是广泛应用于飞机、卫星等零部件的制造材料,对航空航天工业的发展起到了巨大推动作用。其中,飞机制造领域采用的许多高强度钛合金对于应力集中具有较高的敏感性,较易受到疲劳载荷断裂,使钛合金受力部件出现局部裂纹甚至断裂的问题,故在使用过程中需要钛合金达到良好的表面完整性。对于飞机各个零部件尤其是发动机结构材料一旦发生疲劳断裂,便可能导致灾难性的毁灭^[1-3]。

为了提高工件表面处理的光整性,可以采用研磨光整处理方法对工件材料表面进行处理,这一表面处理方法已经发展成较为成熟的材料表面处理技术。国内的很多研究人员也对研磨光整技术进行了深入研究^[4-6]。例如,沈阳航空发动机研究中心^[7]采用研磨光整方法对组成航空发动机的工件材料表面进行了处理,并对比分析了采用主轴旋转、离心研磨以及振动研磨方式对工件棱边的圆滑处

理效果。张晓东^[8]对钛合金进行了研磨光整实验分析,发现对钛合金进行离心研磨光整处理后的疲劳性能得到了有效的改善,但并没有对疲劳后的内部损伤情况及其裂纹扩展性能进行分析。本文主要对 Ti-6Al-4V 钛合金材料进行了研磨光整试验,并通过相应的测试仪器测试了其硬度疲劳寿命的变化情况,对比研磨光整处理前后 Ti-6Al-4V 钛合金进行拉伸断口形貌以及微观组织,可以作为后续测试钛合金疲劳寿命的重要理论参考。

1 实验

本实验选择 Ti-6Al-4V 钛合金作为试验材料,实际试样通过线切割方法得到。对试样的表面光整处理在 BJK-L60 型离心光整机上完成。采用离心研磨光整方法对材料表面进行处理的具体工作原理为:先在研磨设备中根据设定质量比例装入磨块与被处理零件,之后开启设备滚筒,使滚筒沿中心线旋转以及围绕行星架旋转,具体结构如图 1 所示。在辊筒带动下,工件也一起保持旋转状

基金项目:陕西省教育厅科技项目(JK1890)

作者简介:王筱冬(1983—),男,陕西榆林人,讲师,硕士,研究方向为机械制造业、金属材料成形工艺研究。

态,两者间呈现出非常复杂的运动状态,使零件表面受到充分挤压、碰撞与摩擦作用,并使表面形成更加均匀的应力分布状态,最终实现表面光整的效果。

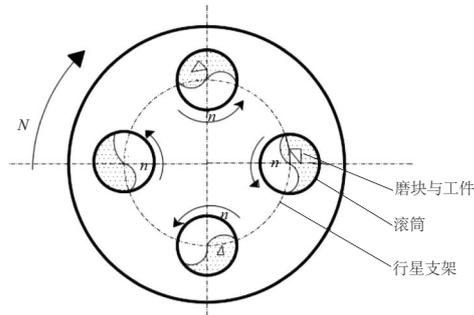


图1 离心式研磨光整处理示意图

实验中选择采用 LC-10 研磨剂,磨块的直径选择 5 mm。由于磨块在滚筒中加工会产生一定的热量,温度过高研磨剂效果不是很好,而且温度高有可能对工件表面造成氧化,因此加工时间不宜过长。但是时间过短也达不到加工的效果,综合考虑加工时间分别选择 15 min、30 min、45 min、60 min 4 个值;磨块的装入量是指磨块与工件的体积占滚筒容积的百分比,选择装入量为 50%。

分别对研磨光整处理前后的工件进行疲劳测试,之后再以线切割方式得到 SEM 形貌观察所需的试样,进行表征之前使试样的断口朝下,并利用酒精擦拭断口区域,将其放入样品包装袋内等待后续形貌表征。本实验利用型号为 HM-102 的显微硬度测试仪表征了各试样的硬度,同时对对比分析了光整前后的试样 X 射线应力分析结果。采用扫描电镜观察分析了各个试样的断口形貌特征,并根据断裂形成的组织形貌结构推断出钛合金发生疲劳断裂的类型,对研磨光整处理前后的试样疲劳断裂机理进行比较。

2 实验结果分析

2.1 硬度结果分析

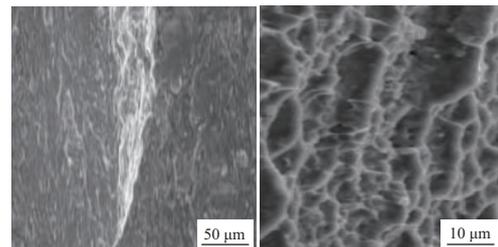
表 1 给出了研磨光整处理后 Ti-6Al-4V 钛合金随加工时间的硬度变化。根据表 1 可知,试样硬度随加工时间的增加表现出先增加后稳定的变化规律,最大值发生在加工时间 45 min 时,此时对应的硬度值为 328 HV。这是由于在相同的处理时间与装入量条件下,其对零件产生的作用力也越小;工件受到磨块的撞击作用也越明显,从而导致试样表面的法向与切向上形成更加显著的塑性变形结果,引起试样表面硬度的上升。但当加工时间 > 45 min 以后,研磨光整过程已经基本完成,再研磨会对表面造成一定程度损伤。因此确定最佳的加工时间为 45 min。

表 1 研磨光整处理后 Ti-6Al-4V 钛合金
硬度随加工时间的变化

检测项目/单位	数值			
加工时间/min	15	30	45	60
硬度/HV	308	312	328	326

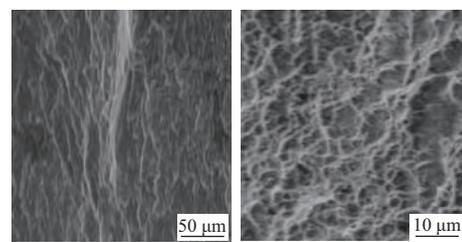
2.2 断口形貌与疲劳断裂机理分析

对没有进行研磨光整处理的 Ti-6Al-4V 钛合金进行拉伸断口形貌表征得到如图 2 所示的结果。对钛合金工件进行循环拉应力测试可以发现,其疲劳裂纹产生于钛合金板材的表面区域。随着试样表面的裂纹逐渐形成之后,这些裂纹将继续扩展,使裂纹断面区域受到持续的摩擦与挤压作用。产生的疲劳裂纹通常先出现在试样的表面部位,这是因为钛合金表面相对于基体往往存在明显的机械划痕、凹坑缺陷等,使表面更易形成应力集中现象。对裂纹边缘部位的组织结构进行放大观察可以发现,在裂纹的初始扩展阶段主要表现为类解理特征的断裂形式。当裂纹形成后,便会沿主滑移面进一步扩展到钛合金基体中,断裂区域的面积取决于钛合金的晶粒尺寸,表现为晶粒尺寸越大,断裂区域的面积也会随之增加。



a) 裂纹扩展区 b) 疲劳条纹
图 2 研磨光整处理前 Ti-6Al-4V
钛合金进行拉伸断口形貌

对经过研磨光整处理后的 Ti-6Al-4V 钛合金疲劳测试断口形貌进行观察得到如图 3 所示的结果,可以明显看到此时裂纹源已经从之前的最表面区域转移到了次表层中,与上表面之间具有一定距离。由此可以推断,对钛合金进行研磨光整处理后,其表面质量得到明显改善,使这些部位能够承受的循环拉应力载荷减小。按照内部疲劳分析理论可知,在试样表面残余压应力较大的情况下,如果其表面粗糙度较低且没有出现较大的应力集中现象时,基体内部将先产生疲劳裂纹,最终使钛合金疲劳性能获得提升。对图 3 进行分析可知,经过研磨光整处理后,试样裂纹源的周边组织中便不再存在类解理断裂形貌,形成的疲劳带宽度也更小,可见钛合金的表层组织出现了细化以及塑性变形的结果,基体位错密度快速增大,对裂纹扩展起到了明显的抑制作用。



a) 裂纹扩展 b) 疲劳条纹
图 3 研磨光整处理后 Ti-6Al-4V
钛合金进行拉伸断口形貌

对研磨前后的 Ti-6Al-4V 钛合金采用金相显微镜进行了观察,得到图 4 所示的结果。从图中可以看到,研磨处理之前的 Ti-6Al-4V 钛合金具有较大的晶粒尺寸, α 相与 β 相表现为等轴分布形态,没有明显的晶界,经过研磨处理后钛合金表层的等轴晶粒被彻底击碎,转变为众多小晶粒。由于离表层距离较大的区域受到的冲击力较小,最终表现为从表层往下,晶粒尺寸发生逐渐变大的现象。这说明研磨光整加工通过降低表面粗糙度从而降低表面的应力集中,通过细化晶粒组织从而在表面形成一定厚度的硬化层提高表层硬度,这些都在很大程度抑制了裂纹的萌生以及扩展。

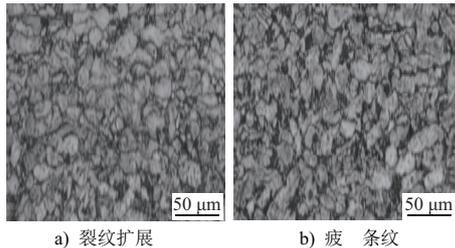


图 4 Ti-6Al-4V 钛合金组织对比

3 结语

1) 单面加工时,对试样光整处理后其硬度变化情况与磨块的外径间关系不大,而双面加工时,试样的硬度随外径增大而出现了显著上升的现象。

2) 没有进行研磨光整处理的 Ti-6Al-4V 钛合金疲劳裂纹产生于钛合金板材的表面区域,当裂纹形成后,便会

沿主滑移面进一步扩展到钛合金基体中。经过研磨光整处理后的试样裂纹源已经从之前的最表面区域转移到了次表层中,试样裂纹源的周边组织中便不再存在类解理断裂形貌,形成的疲劳带宽度也更小。

3) 研磨处理之前的 Ti-6Al-4V 钛合金具有较大的晶粒尺寸, α 相与 β 相表现为等轴分布形态,没有明显的晶界,经过研磨处理后钛合金表层的等轴晶粒被彻底击碎,转变为众多小晶粒。

参考文献:

- [1] 吴崇周. 钛合金在飞行器中的作用[J]. 宇航材料工艺, 2016(5): 8-12.
- [2] 张宇, 李亮, 戎斌, 等. TC4 钛合金条形零件铣削加工表面残余应力测试与分析[J]. 机械制造与自动化, 2016, 45(2): 25-27, 35.
- [3] 张美娟, 南海, 鞠忠强, 等. 航空铸造钛合金及其成型技术发展[J]. 航空材料学报, 2016(3): 13-19.
- [4] 陈清良, 葛恩德, 陈雪梅, 等. 冷挤压抗疲劳制造技术在钛合金构件中的应用[J]. 机械制造与自动化, 2017, 46(6): 57-60.
- [5] 李献军, 王镐, 马忠贤. 钛在舰船领域的应用及前景[J]. 世界有色金属, 2013(8): 24-27.
- [6] 李亚江, 刘坤. 钛合金在航空领域的应用及其先进连接技术[J]. 航空制造技术, 2015(16): 34-37.
- [7] 杨印权, 张亚双, 梁巧云. 滚磨光整技术在航空发动机产品制造中的应用研究[J]. 航空制造技术, 2016(11): 69-71.
- [8] 张晓东. 离心滚磨光整加工改善钛合金抗疲劳性能的实验研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2015.

收稿日期: 2018-05-07