

铸造钛合金投梭棒断裂分析

Fracture Analysis of Casting Titanium Alloy Shuttling Bar

戴介泉, 陶春虎 (北京航空材料研究院, 北京 100095)

DAI Jie-quan TAO Chun-hu (Institute of Aeronautical Materials, Beijing 100095, China)

[摘要] 铸造钛合金投梭棒在 5Hz 的交变载荷下长期工作。在推广使用中, 其中一件仅运转 200 多小时就发生断裂。介绍了对该断裂件的损伤分析方法及结果。分析结论认为该件断裂的主要原因是铸件补焊时存在有焊接缺陷, 引起应力集中而导致疲劳断裂。

[关键词] 焊接缺陷; 应力集中; 疲劳断裂

[中图分类号] TG 146.23 [文献标识码] A [文章编号] 1001-4381 (1999) 05-0047-02

Abstract: Casting titanium alloy shuttling bar can work under alternative load with the frequency 5Hz. Fracture occurs in a casting bar after only 200 hours in the course of service. In this paper, fracture analysis has been performed and it reveals that stress concentration by weld defects is an essential reason of fatigue fracture.

Key words: weld defect; stress concentration; fatigue fracture

纺织机钛合金投梭棒原是一种钛合金锻件。为了降低成本, 采用“以铸代锻”, 改为 ZT 4 钛合金铸件。图 1 为铸造钛合金投梭棒成品件, 其工作条件是在 5Hz 的交变载荷下长期工作, 要求铸件具有较好的疲劳性能。在推广使用中, 其中一根连续工作仅 200h 就发生了断裂。为了找出断裂原因, 对断裂件进行了试验分析。

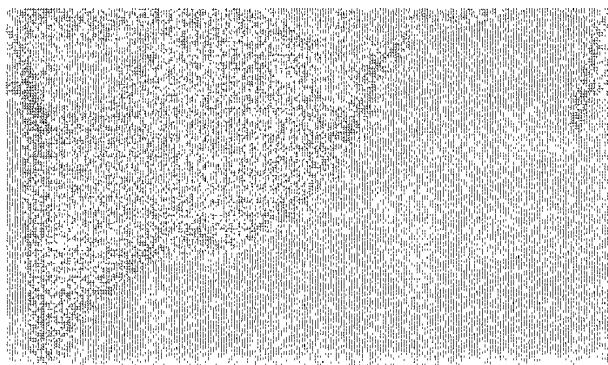


图 1 ZT 4 铸造钛合金投梭棒

Fig. 1 Shuttling bar of casting Ti alloy ZT 4

1 试验方法

1.1 X 射线检验

对断裂件进行了 X 射线检验, 发现断裂区正处于

铸件的补焊区, 其附近尚存在有两处较大 (2~3mm) 的不熔合的虚焊缺陷。

1.2 断口分析

1.2.1 宏观观察

断裂区位于图 1 箭头 A 处, 断口附近无宏观塑性变形, 断口表面可分为三个特征区: A 区, 断裂从零件缺陷区的一棱角开始 (图 2), 起源区靠近零件的表面部

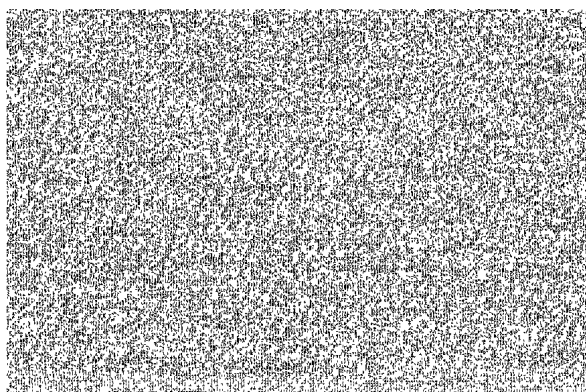


图 2 断裂区外貌

Fig. 2 Exterior morphology of fracture region

分, 组织较粗, 不十分致密, 局部放大可见一圆球形物体, 其颜色与基体不同, 周围有氧化皮包围, 系焊点的焊接缺陷 (虚焊), 且表面在退火处理时被氧化 (图 3), 从边角和补焊缺陷处扩展的棱线表明裂纹源于局部应

力集中部位。B 区, 裂纹扩展区, 比较平滑, 但略有起伏。C 区, 瞬断区, 显示纤维状暗灰色。

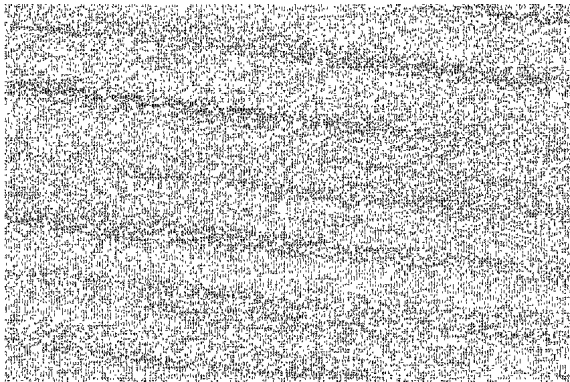


图 3 虚焊缺陷
Fig.3 Weld defects

2. 2. 2 微观分析

断裂起源部位可见一些平坦光滑的小平面, 高倍下显示交滑移和无特征小刻面。裂纹扩展起始部位多显示极细密的甚至难于分辨的疲劳条带花样 (图 4), 随裂纹向纵深扩展, 条带间距加宽 (图 5), 条带自然弯曲, 连续性好, 显示材料有一定的韧塑性或在 相中扩展。

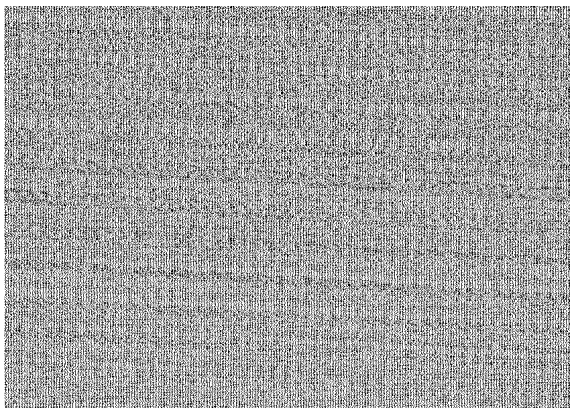


图 4 细密的疲劳条带花样
Fig.4 Fine fatigue striation pattern

能谱分析表明基体材料及补焊缺陷主要成分为 Ti, Al, V, 不存在其它杂质元素。

3 讨论

3. 1 断裂损伤性质

宏观断口有三个明显的特征区。起始区、扩展区比较平滑细腻, 最终断裂区显示纤维状暗灰色, 属于典型的疲劳损伤。微观分析表明疲劳裂纹扩展缓慢, 起始区显示交滑移和无特征花样的小平面, 疲劳带由密变疏或由细变粗发展缓慢, 由服役时间和服役交变载荷的频率

可以推算出, 该零件的使用寿命大致相当于 4×10^6 循环数, 属于典型的应力疲劳。

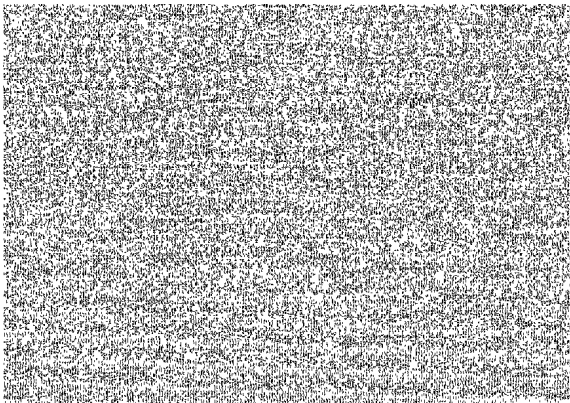


图 5 明显的疲劳条带
Fig.5 Obvious fatigue striation

3. 2 断裂原因

断裂起始于棱角部位, 该部位正是补焊区, 有焊接缺陷 (虚焊) 存在, 从而导致局部应力集中, 在交变载荷作用下疲劳裂纹经过充分扩展后导致断裂。

近年来, 随着铸造钛合金的广泛应用, 有关设计范围内的缺陷, 尤其是焊接缺陷引起的应力疲劳屡有报导, 曾发现过由 20 ~ 50 μ m 焊接缺陷引起的应力疲劳破坏。本研究中的焊接缺陷, 其尺寸也仅为 200 μ m 左右, 因此铸造钛合金对缺陷的敏感性是导致该零件发生早期应力疲劳破坏的内在原因。而用缺口敏感性和断裂韧性试验均不能准确地表征这一问题, 为此, 俄罗斯科学界已提出用 K_{CT} 来表征铸造钛合金缺陷敏感性的问题, 但尚待进一步研究。

4 结论

(1) 铸造钛合金投梭棒断裂系疲劳断裂, 其原因是铸件补焊时产生虚焊缺陷。虚焊处出现局部应力集中而导致裂纹, 在交变载荷作用下疲劳裂纹经过充分扩展后导致断裂。

(2) 钛铸件的焊接缺陷 (虚焊) 是应力集中的敏感部位, 是导致疲劳断裂的裂纹源; 因此, 钛铸件在补焊过程中要避免出现虚焊, 经补焊后的铸件必须严格经过无损检测确认合格。

[作者简介] 戴介泉, (1942-), 男, 高级工程师, 从事铸造钛合金及其铸造工艺研究三十多年。联系地址: 北京市 81 信箱 58 分箱 (邮编 100095)