

钛合金螺母开裂原因分析

张海峰, 李雪峰, 张永辉

(中国船舶重工集团公司第七二五研究所, 河南 洛阳 471023)

摘 要: 钛合金螺母在使用过程中发生了开裂, 采用化学成分分析、金相分析、微观观察等方法对开裂螺母进行了分析。结果表明螺母的开裂是由于应力腐蚀造成的, 并提出改进措施。

关键词: 钛合金螺母; 开裂; 应力腐蚀

中图分类号: T 157 文献标识码: A

Failure Analysis of Cracking of Nut

ZHANG Hai-feng, LI Xue-feng, ZHANG Yong-hui

(Luoyang Ship Material Research Institute, Luoyang 471023, China)

Abstract: For the cracking of a titanium nut occurred in working process, chemical analysis, metallurgical structure inspection and microstructure observation were conducted. The results revealed that the cracking of the nut was originated from stress corrosion.

Keywords: titanium nut; crack; stress corrosion

醋酸环境反应器中的钛制紧固件使用过程中发生开裂, 材质为 Ti6Al4V 钛合金, 使用环境温度为 180 ℃, 介质主要为醋酸、对二甲苯, 催化剂, 氧气等, 使用一年多时, 螺母发生了开裂, 本文通过分析找螺母开裂失效的原因。

钛制螺栓和螺母着色探伤显示螺栓完好, 没有发生明显腐蚀也没有裂纹, 螺母有一贯穿裂纹和数条平行的裂纹, 见图 1。

采用线切割、机加工等方法加工所需要分析样品, 由于螺母较小, 不能取样进行力学性能分析, 从螺栓上取力学性能样品进行分析。分别进行力学性能、化学成分、金相分析、断口分析等。



图 1 送检样品

Fig. 1 Submitted sample

1 实验结果

1.1 化学成分

对螺母进行化学分析, 其结果见表 1。

表 1 螺母化学分析分析结果

Table 1 Composition of the nut(%)

Composition	Al	V	Fe	Si	Mo	Zr	N	H	O	Ti
Nut	6.3	4.06	0.139	0.022	≤0.05	0.05	≤0.005	0.002 7	0.227	Bal.
Standard	5.5 ~ 6.75	3.5 ~ 4.5	≤0.3	—	—	—	≤0.05	≤0.012 5	≤0.2	Bal.

试件化学成分氧超标。

1.2 力学性能分析

螺栓力学性能见表 2。

收稿日期: 2012-08-29

作者简介: 张海峰, 1965 年生, 河南伊川人, 高级工程师, 长期从事理化检测工作, E-mail: ly7256@163.com。

表 2 螺栓材料的拉伸性能(常温)
Table 2 Tensile property of the bolt(room temp.)

Tensile property	$R_{p0.2}$ /MPa	R_m /MPa	A /%	Z /%
Bolt	980	1 040	15. 5	46. 5
Requirements	828	896	15	—

螺栓的力学性能符合技术要求。

1. 3 金相分析

1. 3. 1 抛光态检验

螺母抛光态观察 ,裂纹中充满氧化物 ,见图 2。

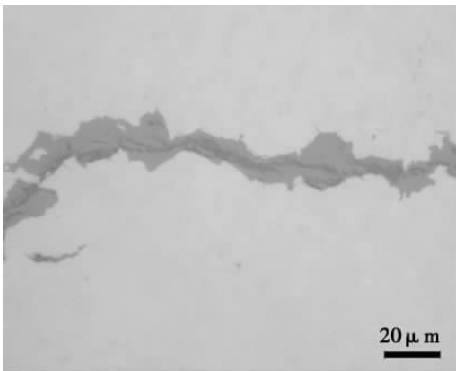


图 2 裂纹形态
Fig. 2 Crack in the nut

1. 3. 2 浸蚀态检验

螺母浸蚀态形貌见图 3 ,裂纹沿 α 相晶界 β 相侧扩展。金相组织均为初生等轴 α + 含片状 α 的转变 β ,见图 4。

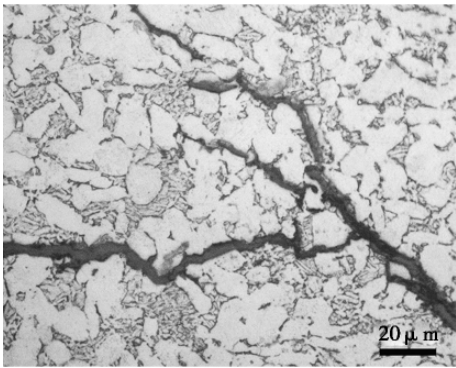


图 3 裂纹浸蚀态
Fig. 3 Macrograph of crack

1. 4 扫描电镜分析

扫描电镜对螺母断口进行观察 ,图 5、图 6 是低倍形貌。可以看到断口分为 3 部分 ,其中裂纹

源区及缓慢扩展区占断口的一半以上 ,快速扩展区占断口接近一半 ,最后有少量剪切唇。裂纹源位于右下角 ,见图 7 ,可以看到裂纹起源于腐蚀坑的底部 ,裂纹源区断口表面有一层较厚的腐蚀产物 ,断口没有塑性变形 ,为穿晶脆性断裂。图 8 为快速扩展区形貌。

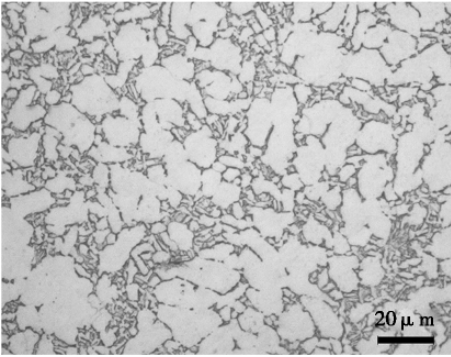


图 4 螺母金相组织
Fig. 4 Micrograph of the nut

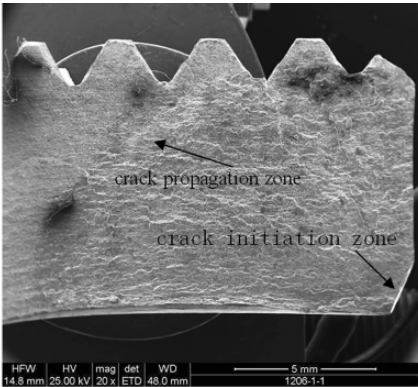


图 5 裂纹源区低倍形貌
Fig. 5 Fracture morphology of the crack initiation zone

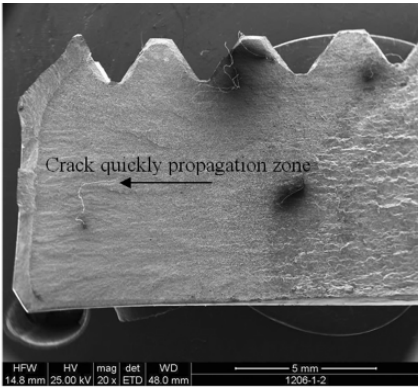


图 6 快速扩展区
Fig. 6 Crack quick propagation zone

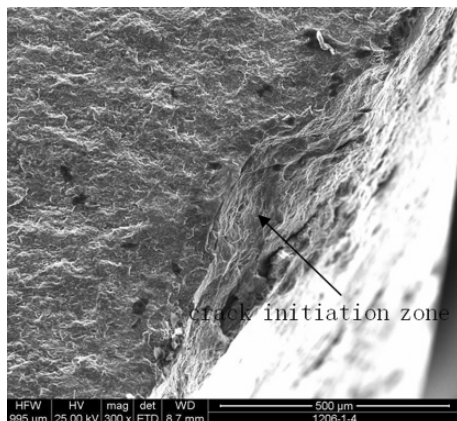


图7 裂纹源区放大

Fig. 7 Crack initiation zone

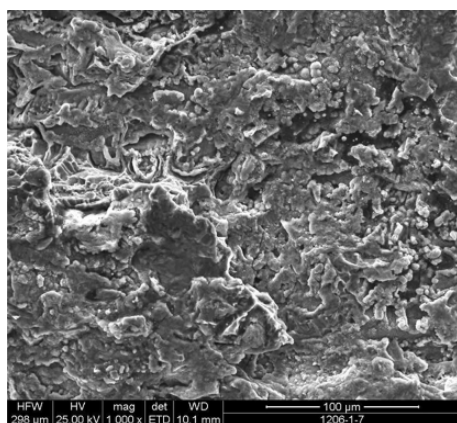


图8 扩展区形貌

Fig. 8 Crack propagation zone

2 讨论

Ti6Al4V 属于 $\alpha + \beta$ 形钛合金。通过上述分析可以看出,螺母断口呈张开状,螺母原始拉应力较大,没有宏观塑性变形,为脆性开裂,螺母表面没有明显的腐蚀痕迹。钛合金主要腐蚀形式有均匀腐蚀,氢脆或吸氢,应力腐蚀开裂等破坏形式。金相分析显示裂纹在 α 相中开裂,沿着 α 与 β 相界面扩展,裂纹中充满腐蚀产物,裂纹呈树枝状,具有典型的应力腐蚀特征。微观分析显示主裂纹旁边有多条裂纹,裂纹产生于腐蚀坑底部,沿轴向两边扩展,裂纹源为点蚀坑^[1]。在裂纹源区与扩展区为穿晶准解理断口,剪切唇为韧性断裂。氢含量分析表明氢含量不高,也没有形成钛氢相,不是氢脆断裂。

化学分析表明螺母的含氧量超过标准规定值,资料表明当氧含量低于 0.13% 时可以大大降低钛合金的应力腐蚀敏感性^[2-3],螺母的氧含量高有利于点蚀和应力腐蚀发生,材料的强度偏高,韧性相对偏低说明材料退火不充分,也使得螺母材料的应力腐蚀敏感性增高。

螺母在加工过程中存在残余应力,在使用紧固过程中蓄积应力,在 180 °C 左右的高浓度腐蚀介质中使用,介质中还含有 S、Cl 等离子,长期使用在螺母表面会产生小点蚀,点蚀底部有应力集中,从而产生微裂纹,裂纹沿钛合金两相界面扩展,由于腐蚀产物的体积效应,从而在裂纹尖端产生很大的应力集中,加速裂纹扩展,最终导致螺母开裂^[4-5]。

3 结论

(1) 螺母材料氧含量偏高、材料退火不充分等使得螺母材料对点蚀、应力腐蚀敏感。

(2) 螺母失效的原因是螺母产生应力腐蚀开裂造成的。

4 建议

根据以上分析结果,提出以下建议:

(1) 控制材料质量,降低其氧含量,从而降低应力腐蚀敏感程度。

(2) 改进热处理工艺,适当降低材料强度,提高材料塑性。

(3) 更换耐应力腐蚀的材料或进行表面处理。

参考文献:

- [1] 殷京瓯,吴荫顺,等. TC4 钛合金在甲醇溶液中的应力腐蚀敏感性研究[J]. 稀有金属材料与工程, 2003, 32(6): 436—439.
Yin J G, Wu Y S *et al.* Study on electrochemical behavior and SCC susceptibility of TC4 in methanol solution [J]. Rare Metal Materials and Engineering, 2003, 32(6): 436—439.
- [2] 沈保罗,冯克芹,等. 钛合金的应用和应力腐蚀[J]. 四川化工与腐蚀控制, 2000, 2(3): 43—45.
Shen B L, Feng K Q *et al.* Apply and stress corrosion of titanium alloy [J]. Si Chuan Chemical Industry and Corrosive Control, 2000, 2(3): 43—45.

- [3] 褚洪. 钛合金的应力腐蚀[J]. 北京科技大学学报 2002 24(1): 47—48.
Chu H. Stress corrosion of titanium alloy [J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2002 24(1): 47—48.
- [4] 肖纪美. 应力作用下的金属腐蚀控制[M]. 北京: 化学工业出版社, 1999.
Xiao J M. Corrosive control of metal in stress [M]. Beijing: Chemical Industry Press.
- [5] 高娃, 侯振声. 钛合金的应力腐蚀开裂分析[J]. 钛工业进展, 1997(5): 38.
Gao W, Hou Z S. Cracking analysis of stress corrosion of titanium alloy [J]. Titanium Industry Progress, 1997(5): 38.

(编辑: 段玉琴)