

TC17钛合金在3.5% NaCl溶液中的疲劳失效行为

于桂峰¹, 王金龙¹, 石泽宇¹, 彭文杰^{2,3}

(1. 大连海事大学 轮机工程学院, 辽宁 大连 116026)

(2. 武昌理工学院 人工智能学院, 湖北 武汉 430223)

(3. 宝钢股份中央研究院, 湖北 武汉 430080)

摘要: 为了研究海水环境中钛合金TC17疲劳失效行为, 开展了不同介质环境中的TC17钛合金超声疲劳试验并分析了疲劳性能及失效特征。采用超声疲劳试验系统分别进行了空气及3.5% NaCl溶液环境的钛合金TC17疲劳试验, 并对相同应力幅值条件下不同介质环境的疲劳寿命进行了比较分析, 提出了高周疲劳阶段2种介质中疲劳寿命的转换模型, 进一步分别根据Murakami模型及基于微观沟壑模型进行应力强度因子计算。使用SEM对疲劳试验试件断口特征进行观察, 比较分析3.5% NaCl溶液对疲劳失效特征的影响。结果表明: 在3.5% NaCl溶液环境中, 以表面微观沟壑为主要变量的应力强度因子计算结果与实际失效行为更加吻合, 并且由于腐蚀环境的影响, 断口出现了基体材料“堆积”、多个裂纹源等现象。

关键词: TC17钛合金; 断口特征; 3.5% NaCl溶液环境; 超声疲劳试验

中图分类号: TG146.23

文献标识码: A

文章编号: 1002-185X(2025)11-2809-07

1 引言

TC17钛合金是航空航天、船舶与海洋工程、化工等领域中重要的使能材料^[1-5], 具有高强度、断裂韧性好、淬透性好、耐腐蚀等优点, 能够充分满足各领域关键零部件损伤容限及高结构效益、高可靠性的要求^[6-9]。TC17钛合金零部件需要面对复杂的服役工况, 不仅受到高频循环载荷的持续作用, 还会受到环境中腐蚀元素的不断影响, 进而形成腐蚀疲劳, 降低了TC17钛合金的疲劳寿命, 严重影响了TC17钛合金零部件的服役能力。因此, 探索腐蚀环境下TC17钛合金的腐蚀疲劳行为, 预测其疲劳寿命, 对于保证TC17钛合金零部件安全、稳定运行有重要的工程价值^[10-14]。

目前, 已有部分关于钛合金腐蚀疲劳研究的报道。董鑫等^[15]应用加速腐蚀技术对TC17钛合金进行了腐蚀疲劳研究, 腐蚀后的钛合金疲劳强度降低, 并且不存在明显的疲劳极限。回丽等^[16-17]研究了含有缺口的TC21试件及TC4-DT试件在空气环境及2种腐蚀环境中的疲劳性能变化规律, 结果表明, 在腐蚀环境中, 腐蚀元素与TC21发生电化学反应进而降低了其抵抗疲劳破坏的能力。Jesus等^[18]研究了增材制造得到的Ti-6Al-4V在不同腐蚀介质中的疲劳失效行为, 试验中观察到在3.5% NaCl溶液中疲劳裂纹的扩展速率最快。Sun等^[19]以深海潜3.5% NaCl溶液器耐压仓材料Ti-6Al-4V为研究对象, 探

索了疲劳载荷间歇比对其驻留疲劳性能的影响, 驻留载荷与疲劳的相互作用, 加速了钛合金的失效。Baragetti^[20]等研究了高强度钛合金Ti-6Al-4V在NaCl溶液及甲醇溶液中的疲劳行为。结果表明, 应力集中的强弱决定了疲劳裂纹形核的难易程度, 并且Ti-6Al-4V在腐蚀介质中的疲劳寿命发生了明显降低。

虽然上述报道已经对TC17及其它钛合金的腐蚀疲劳行为进行了比较深入的研究, 并取得了丰富的成果。但TC17在不同介质中的疲劳失效行为与寿命分析等问题尚未得到充分解决, 其失效特征与应力-寿命曲线尚不明确。本工作以现有的研究成果为基础, 针对TC17钛合金开展超声疲劳试验, 对空气及3.5% NaCl溶液环境中的TC17钛合金腐蚀疲劳失效特征进行了比较分析, 提出了高周疲劳阶段2种环境下的疲劳寿命转换公式, 并分析了3.5% NaCl溶液环境对TC17钛合金疲劳行为的影响。进一步使用扫描电镜显微镜对断口特征进行观察, 比较分析了2种环境下的断口特征, 讨论了3.5% NaCl溶液对TC17疲劳失效的影响。探索TC17钛合金在腐蚀疲劳失效机制对于提高钛合金零部件的服役可靠性, 预测复杂环境中钛合金零部件腐蚀疲劳寿命具有重要而积极意义。

2 实验

使用USF-2000超声疲劳试验系统对TC17试件进行

收稿日期: 2024-11-15

基金项目: 中央高校基本科研业务费(3132024212); 国家自然科学基金(52205515)

作者简介: 于桂峰, 男, 1978年生, 硕士, 副教授, 大连海事大学轮机工程学院, 辽宁 大连 116026, E-mail: ygf527@dlnu.edu.cn

腐蚀环境中的疲劳试验, 本研究中使用的腐蚀环境为 3.5% NaCl 溶液, 试验系统及环境如图 1 所示。试验中所用循环载荷为应力比 $R=-1$ 的对称载荷, 载荷频率为 $20\text{ kHz}\pm 500\text{ Hz}$ 。应力幅值 $\Delta\sigma$ 范围 615~675 MPa, 间隔为 15 MPa。由于液体环境疲劳试验过程中试件发热较小, 因此不设置冷却设备。为了实现腐蚀疲劳的作用, 试验过程中试件 80% 的长度持续浸没在 3.5% NaCl 溶液环境中, 从而保证试件应力最大位置能够同时受到循环载荷与腐蚀介质的作用。为了比较分析腐蚀环境对 TC17 钛合金疲劳行为的影响, 同样进行了空气环境中的超声疲劳试验, 试验载荷与 3.5% NaCl 溶液环境试验一致。

试验中所使用的试件是根据 ASTM 要求加工的“骨头型”试件, 如图 1 所示, 其中间圆弧过渡位置的最小直径为 $3\pm 0.01\text{ mm}$, 该位置的应力最大。对试件材料进行拉伸测试与硬度测试, 得到钛合金 TC17 的基本力学性能参数为: $E=111.5\text{ GPa}$, $R_m=1108.5\text{ MPa}$, $R_{p0.2}=1060.5\text{ MPa}$, $HV=3600\text{ MPa}$ 。

3 结果与分析

3.1 实验结果

TC17 钛合金超声疲劳试验所得的结果包括空气环境与 3.5% NaCl 溶液环境下的疲劳寿命及相应的应力幅值, 图 2 为 3.5% NaCl 溶液及空气环境中得到的试验数据。根据试验结果可知, TC17 钛合金在 3.5% NaCl 溶液及空气

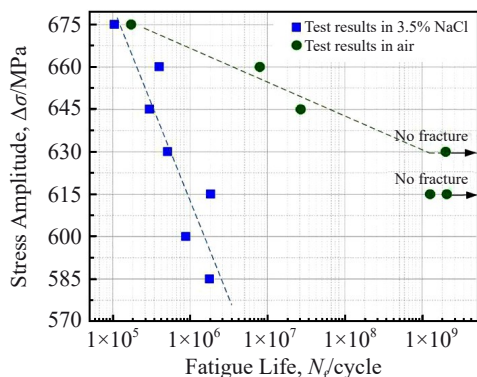


图 2 空气与 3.5% NaCl 溶液环境中 TC17 钛合金疲劳试验数据
Fig.2 Fatigue test data of TC17 titanium alloy obtained in the air and 3.5% NaCl solution

中的寿命与应力幅值之间的关系均呈连续下降趋势, 但在空气环境的试验结果中出现了“无限寿命”结果, 即疲劳寿命超过 1×10^9 周次后仍未发生断裂, 此时所对应的最大应力幅值约为 630 MPa, 这与现有的成果吻合。而在 3.5% NaCl 溶液试验结果中, 当应力幅值下降至 585 MPa 时, 相应的疲劳试件仍发生断裂, 且疲劳寿命未超过 1×10^7 周次。

3.2 腐蚀介质对 TC17 钛合金疲劳寿命的影响

针对 2 种试验介质条件下得到的高周及超高周疲劳试验结果, 以空气环境中 TC17 钛合金试件疲劳寿命为基准, 计算 2 种介质环境中的疲劳寿命差值, 即应力幅值 645~675 MPa 的试验结果差值, 得到如图 3 所示的寿命差值与应力幅值分布关系图。在高周疲劳阶段中, 随着应力幅值的减小, 空气环境试验结果与 3.5% NaCl 溶液试验结果差值逐渐增大, 应力幅值为 675 MPa 时, 差值为 6.90×10^4 周次; 应力幅值为 660 MPa 时, 差值为 7.61×10^6 周次; 应力幅值为 645 MPa 时, 差值为 2.67×10^7 周次。这是因为在低应力幅值情况下, 在高应力幅值情况下, 循环载荷是引起疲劳失效的主要因素, 介质腐蚀性对疲劳失效的影响小于循环载荷对疲劳失效的影响, 空气与

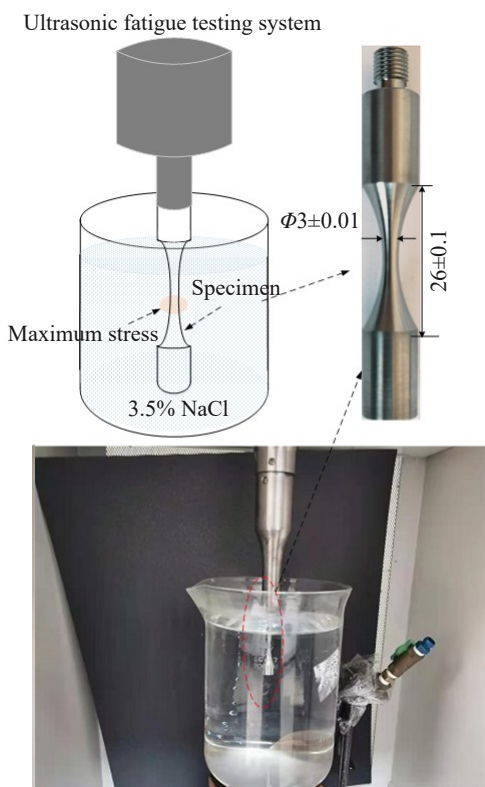


图 1 试验系统及试件
Fig.1 Test system and specimen

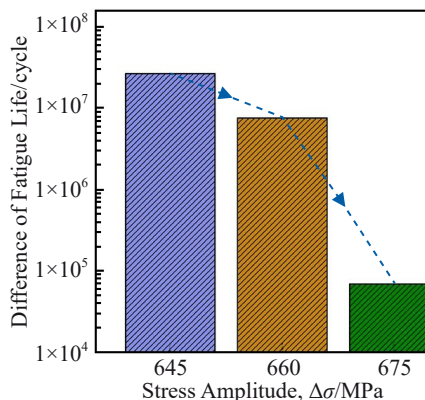


图 3 空气与 3.5% NaCl 溶液环境中 TC17 钛合金疲劳寿命之间的差值
Fig.3 Difference of fatigue life of TC17 titanium alloy in air and 3.5% NaCl solution

3.5% NaCl 溶液情况下疲劳试验结果差值较小。但是随着应力幅值的降低,3.5% NaCl 溶液对试件疲劳失效行为的影响逐渐增强,加速了疲劳破坏,因应力幅值降低而引起疲劳寿命增加的效果被腐蚀环境的加速效果所“抵消”。而在空气环境中,应力幅值的降低导致疲劳寿命明显增长,导致空气环境中的得到的疲劳寿命与 3.5% NaCl 溶液中得到的疲劳寿命之间的差值增大。

进一步以空气环境中得到的试验结果为基础,计算空气中疲劳寿命 N_{air} 与 3.5% NaCl 溶液中疲劳寿命 N_{NaCl} 之间的比值,即 $r_N = \lg N_{\text{air}} / \lg N_{\text{NaCl}}$,得到应力幅值 $\Delta\sigma$ 与比值 r_N 之间的分布关系,如图 4 所示。根据试验结果,可以得到 2 种试验环境下疲劳寿命比值与应力幅值之间基本满足公式(1)所示的函数关系。需要注意的是,针对空气环境中的高周疲劳阶段,可以通过该模型进行相同应力幅值情况下空气与 3.5% NaCl 溶液中疲劳寿命的等效转换。

$$\begin{aligned} \Delta\sigma &= -94.6r_N + 774.5 \\ &= -94.6 \frac{\lg N_{\text{air}}}{\lg N_{\text{NaCl}}} + 774.5 \end{aligned} \quad (1)$$

3.3 腐蚀介质中表面粗糙度对 TC17 钛合金疲劳行为的影响

机械加工而形成的表面微观划痕是引起疲劳失效的重要因素,而表面粗糙度是表征表面微观划痕的主要参数。在进行腐蚀环境疲劳试验之前,使用三维表面轮廓仪对试件表面形貌进行检测,得到试件表面粗糙度平均值 R_a 与峰值 R_z ,图 5 为 3.5% NaCl 溶液 TC17 疲劳试件表面粗糙度检测结果示例。

应力强度因子幅值 ΔK 是评价疲劳裂纹扩展速率的一个重要参数,其反映了裂纹尖端应力场的变化情况。在循环载荷的作用下,应力强度因子幅值将直接影响到疲劳裂纹的扩展速率,其表达式如公式(2)所示:

$$\Delta K = Y\Delta\sigma\sqrt{\pi a} \quad (2)$$

式中, Y 为位置参数,对于表面失效而言, $Y=0.67$; a 为裂纹尺寸。Murakami^[21]将表面微观缺陷等效为表面裂纹,并通过表面粗糙度 R_a 对表面裂纹进行等效。而 Ding

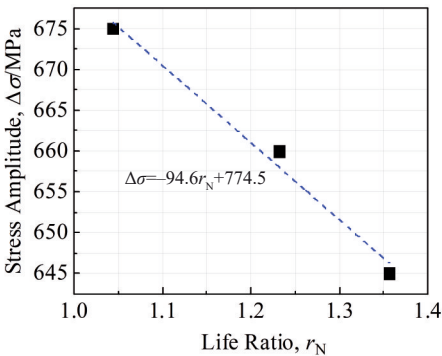


图 4 2 种环境下寿命比值与应力幅值之间的关系
Fig.4 Relationship between stress amplitude and life ratio in two environments

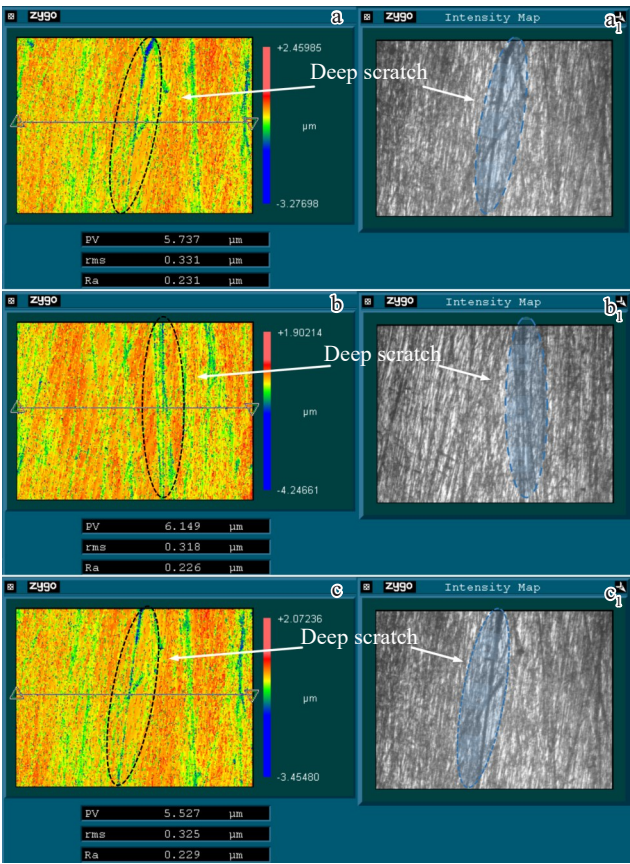


图 5 3.5% NaCl 溶液 TC17 疲劳试件表面粗糙度检测结果示例
Fig.5 Surface roughness of TC17 specimen after fatigue test in 3.5% NaCl solution: (a, a₁) $R_a=0.23 \mu\text{m}$, $R_z=5.74 \mu\text{m}$; (b, b₁) $R_a=0.23 \mu\text{m}$, $R_z=6.75 \mu\text{m}$; (c, c₁) $R_a=0.23 \mu\text{m}$, $R_z=5.53 \mu\text{m}$

等^[22-24]提出了以表面微观划痕为主要参数,并根据截面三角形面积来等效表面裂纹,这里以表面粗糙度峰值 R_z 作为微观划痕,可以得到基于表面粗糙度 R_z 的表面裂纹等效模型,如图 6 所示。基于上述 2 种表面裂纹等效模型的应力强度因子幅值如公式(3)所示:

$$\Delta K = \begin{cases} Y\Delta\sigma\sqrt{\pi 2.97R_a} \\ Y\Delta\sigma\sqrt{\pi\sqrt{\frac{R_z W}{2}}} \end{cases} \quad (3)$$

式中, W 为取样长度中等效表面裂纹的宽度。根据公式(3)及试件表面粗糙度检测结果,得到 TC17 疲劳试件应力强度因子幅值计算结果,如图 7 所示,基于 R_a 的应力强度因子幅值明显小于基于 R_z 的应力强度因子幅值。由于 R_z 表示的是取样区域最深的微观划痕,其在空间尺度上更有利于 3.5% NaCl 溶液的聚集,加剧腐蚀介质对疲劳行为的影响,并且在循环载荷的不断作用下,更容易产生应力集中。同时,根据计算结果可知 2 种应力强度因子幅值与疲劳寿命之间基本呈负相关,如图 7 中的阴影部分,这与空气环境中 TC17 钛合金应力强度因子幅值-寿命分布规律基本一致^[25]。但在 3.5% NaCl 溶液中,由于腐蚀环境的影响,原本“损伤-应力-寿命”三者之间的关系演

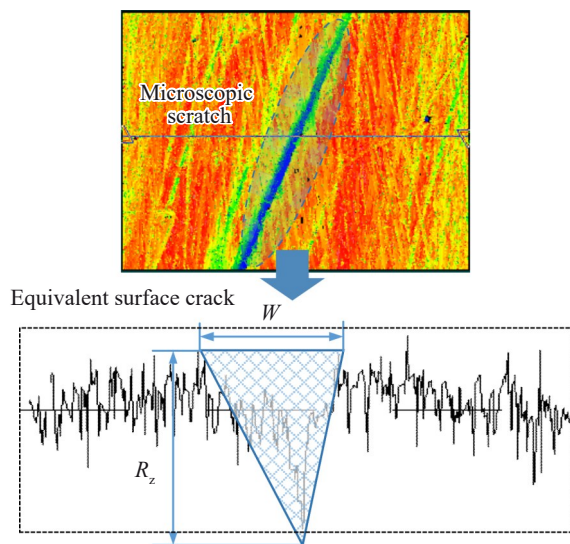
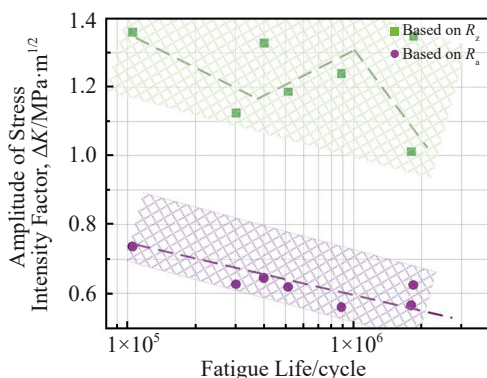


图6 基于微观划痕的表面等效裂纹

Fig.6 Surface equivalent crack based on microscopic scratches

图7 基于不同粗糙度的T17疲劳试件应力强度因子幅值与疲劳寿命分布
Fig.7 Amplitude of stress intensity factors and fatigue life distribution of TC17 fatigue specimen based on different roughness

变为“腐蚀-损伤-应力-寿命”4个参数之间的复杂关系，因此在应力幅值降低，疲劳寿命提高的过程中，由于腐蚀作用的不断增强，其疲劳失效过程同样会出现加剧的现

象，这与基于 R_z 的应力强度因子幅值计算结果中出现的“折线”变化规律像吻合。因此对于3.5% NaCl溶液中的疲劳试件而言，基于 R_z 的应力强度因子幅值作为评价TC17钛合金腐蚀疲劳行为与试验结果将更加有利于其腐蚀疲劳失效行为分析。

3.4 不同环境下TC17钛合金疲劳失效特征

3.4.1 空气环境中的断口特征

以应力幅值645及660 MPa的失效试件为例，使用扫描电镜显微镜(SEM)对试件断口进行观察，其断口特征如图8与图9所示。其中图8a与图9a为试件宏观断口特征，在疲劳裂纹源附近未观察到类似“鱼眼区”的特征，也未发现明显的与夹杂物相似的损伤，这说明疲劳失效起源于表面裂纹源，并且裂纹源附近区域比较光滑。在裂纹扩展区域能够观察到解理断裂中常出现的河流状辉纹，从裂纹源向瞬断区延伸。在裂纹扩展区与瞬断区的交界位置，能够发现河流状辉纹更加明显且面积增大，这是因为此时的塑性变形增大，多个相同的辉纹在瞬断阶段汇聚成一个较大的辉纹，严重阻碍了位错运动，从而形成位错堆积，在外加循环载荷的作用下最终断裂。从图8b与图9b可以观察到台阶状断口特征，同时在断口区域内还存在大量的韧窝，这是因为在疲劳失效的过程中晶界处会产生大量的塑性变形，从而导致基体材料产生“内缩颈”，从而形成韧窝。同时，还可以观察到一些与解理台阶类似的台阶状特征，这些都证明空气环境中TC17试件在循环载荷的作用下产生了类似于准解理断裂的失效模型，介于解理断裂与韧窝断裂之间。

3.4.2 3.5% NaCl溶液环境中的断口特征

根据试验结果可知，3.5% NaCl溶液环境中的试验结果均处于高周疲劳阶段，选取其中3个试件为例进行断口特征分析，如图10所示。从图10a与10b中可以看出，其裂纹源附近的区域相比于空气情况变得更加粗糙，出现了较大面积的基体材料“堆积”现象。循环载荷的作用下试件表面微观损伤处产生应力集中并发生挤入挤

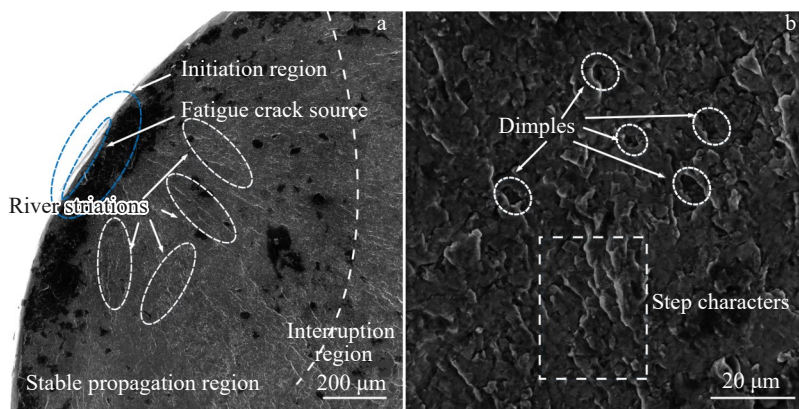


图8 645 MPa空气环境中的断口特征

Fig.8 Fracture characteristics in 645 MPa air environment: (a) macroscopic fracture characteristics and (b) dimple and step features

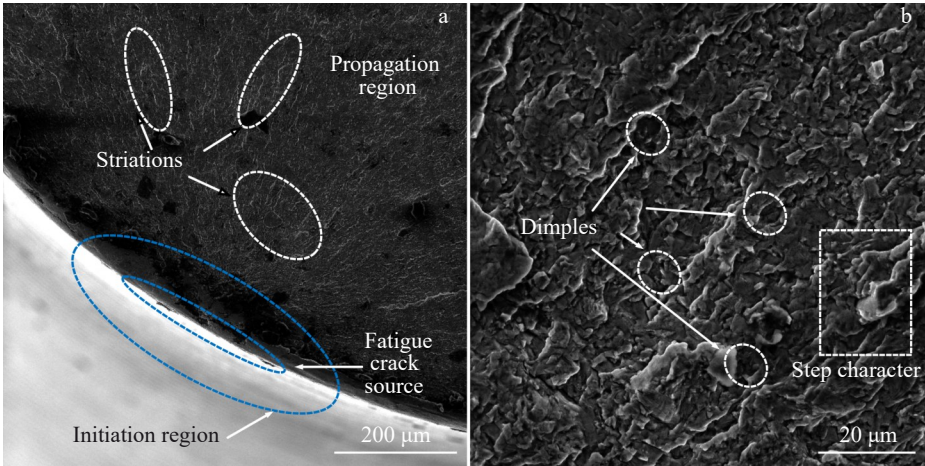


图9 660 MPa 空气环境中的断口特征

Fig.9 Fracture characteristics in 660 MPa air environment: (a) macroscopic fracture characteristics and (b) dimple and step features

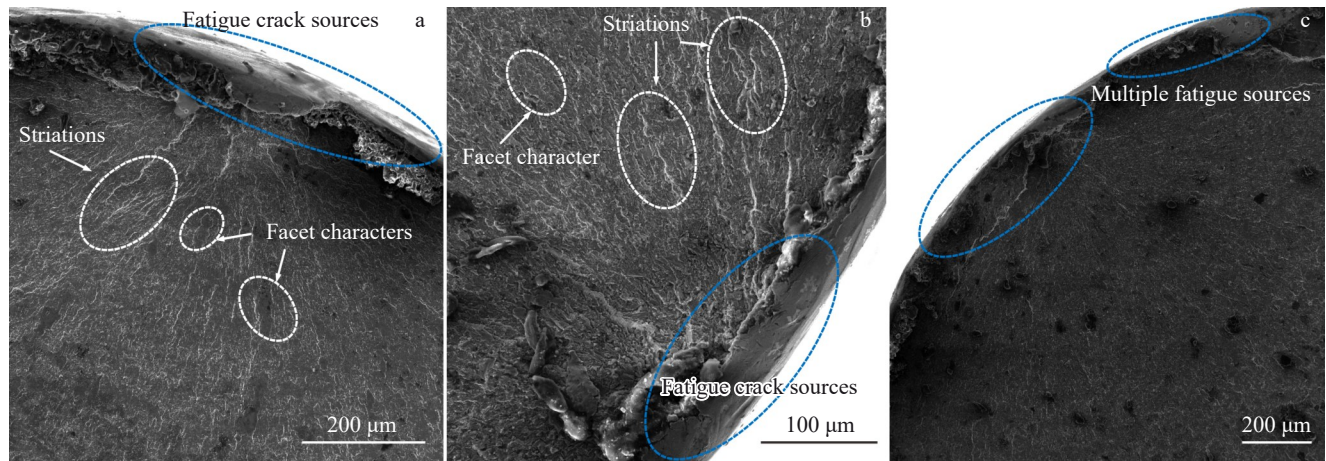


图 10 3.5% NaCl 溶液环境中的试件裂纹源及周围区域特征

Fig.10 Crack source and surrounding area characteristics of specimen in 3.5% NaCl solution environment: (a–b) single fatigue crack source and (c) multiple fatigue crack sources

出,但在 3.5% NaCl 溶液中,腐蚀介质对基体材料产生一定的脆性作用,这种脆性作用阻碍了基体材料的塑性变形,导致挤入挤出形成的滑移带发生“堆积”,最终形成裂纹源附近区域的基体材料“堆积”现象。同时,在裂纹扩展区域内还可以观察到河流状辉纹与类似解理平面的“平面特征”,这都表明当疲劳失效发生于 3.5% NaCl 溶液中时,整个过程是一个复杂的脆性断裂与塑性断裂相结合的断裂模型,具有解理与准解理断裂的复杂特征。除此之外,由于腐蚀介质的作用,原本较小的缺陷同样形成了疲劳裂纹,最终导致断口出现多个疲劳裂纹源,如图 10c 所示。

如图 11 所示,在疲劳失效扩展区域与瞬断区域同样观察到了韧窝,但韧窝的数量相比于空气情况下断口中的韧窝数量有所降低,这与腐蚀环境对疲劳失效的影响有关。韧窝是由于疲劳失效过程中塑性变形引起的,但

腐蚀介质对材料的塑性变形起到了抑制作用,材料脆性有所提高,因此由于塑性变形而引起的韧窝减少。断口中同样观察到了平面特征与台阶状特征,这些都是解理断裂与准解理断裂的典型特性。除此之外,还在该区域中观察到了倾向于脆性断裂的撕裂棱,这同样表明在 3.5% NaCl 溶液环境的疲劳失效过程中,材料脆性增强,也间接证明腐蚀环境中的疲劳失效是脆性与塑性共同出现的复杂失效过程。

进一步,对疲劳裂纹源附近区域的材料进行能谱分析,结果如图 12 所示,可以看出裂纹源附近的材料出现了一定量的 Cl 元素及其他非金属元素,这说明在 3.5% NaCl 溶液环境的疲劳失效过程中,Cl、H、O 等元素对于基体材料发生了一定的反应,进而影响失效机制与断口特征。

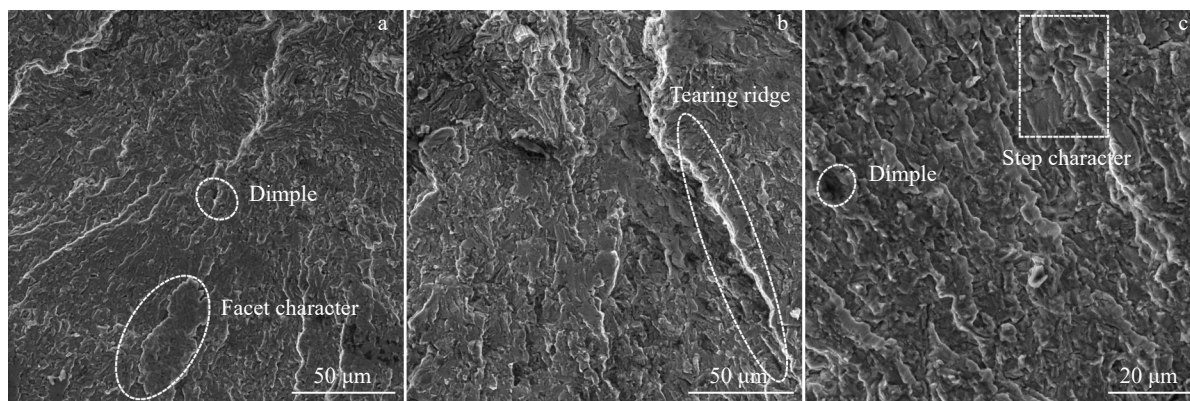


图 11 3.5% NaCl 溶液环境中试件扩展及瞬断区域断口特征

Fig.11 Fracture characteristics of expansion and instantaneous fracture zone of specimens in 3.5% NaCl solution environment: (a) dimple and facet features, (b) tearing edge, and (c) dimple and step features

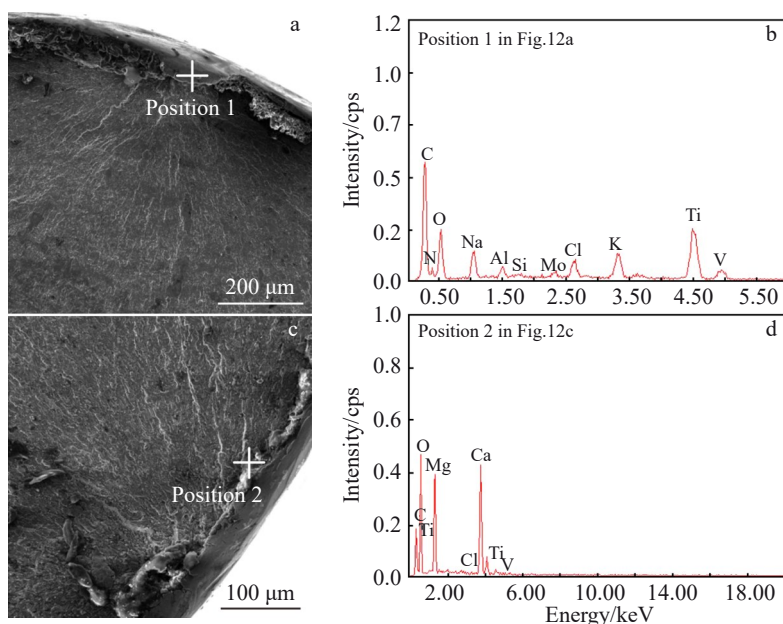


图 12 裂纹源附近区域 SEM 照片及 EDS 能谱分析结果

Fig.12 SEM images (a, c) and EDS spectra (b, d) of the region near the crack source: (a–b) stress amplitude of 660 MPa and (c–d) stress amplitude of 645 MPa

4 结论

1) 根据 3.5% NaCl 溶液疲劳试验结果可知, TC17 钛合金在 3.5% NaCl 溶液中的寿命与应力幅值之间的关系均呈连续下降趋势, 当应力幅值下降至 585 MPa 时, 相应的疲劳试件仍发生断裂, 且疲劳寿命未超过 1×10^7 周次。

2) 在高周疲劳阶段, 随着应力幅值的减小, 空气环境试验结果与 3.5% NaCl 溶液试验结果差值逐渐增大, 并根据试验结果提出相同应力幅值情况下空气与 3.5% NaCl 溶液中疲劳寿命的等效转换模型。

3) 根据试验结果分别计算基于 R_a 与 R_z 的应力强度因子, 基于 R_z 的应力强度因子幅值计算结果呈现“折线”变化规律。且由于腐蚀环境对 TC17 试件疲劳性能的影响, 以基于 R_z 的应力强度因子幅值作为评价 TC17 钛合

金属疲劳行为与试验结果将更加接近实际情况。

4) 3.5% NaCl 溶液环境的试件断口特征中, 其裂纹源附近的区域相比于空气情况变得更加粗糙, 出现了较大面积的基体材料“堆积”现象。在裂纹扩展与瞬断区域可以观察到河流状辉纹、韧窝及撕裂棱等典型断口特征。同时由于腐蚀环境的影响, 断口特征中还出现了多个裂纹源的现象。对疲劳裂纹源附近区域的材料出现了一定量的 Cl 元素及其他非金属元素。

参考文献

References

- [1] Wang Jinlong, Ma Yuxin, Peng Wenjie et al. *Engineering Failure Analysis*[J], 2023, 153: 107586
- [2] Liu Hanqing(刘汉青), He Chao(何超), Huang Zhiyong(黄志勇) et al. *Acta Metallurgica Sinica*(金属学报)[J], 2017, 53(9): 1047

- [3] Jin Hexi(金和喜), Wei Kexiang(魏克湘), Li Jianming(李健明) *et al. The Chinese Journal of Nonferrous Metals*(中国有色金属学报)[J], 2015, 25(2): 280
- [4] Han Tong(韩彤), Zhang Junxiao(张俊晓), Liu Di(刘娣) *et al. Titanium Industry Progress*(钛工业进展)[J], 2025, 42(3): 35
- [5] Guo Ping(郭萍), Qiang Fei(强菲), Wang Huan(王欢) *et al. Titanium Industry Progress*(钛工业进展)[J], 2024, 41(3): 19
- [6] Wang Jinlong, Peng Wenjie, Yu Jing *et al. Materials Science and Technology*[J], 2021, 37(3): 301
- [7] Wang Jinlong, Peng Wenjie, Yu Jing *et al. Engineering Failure Analysis*[J], 2020, 117: 104961
- [8] Ma He, Li Ju, Tao Bohao *et al. Journal of Materials Science*[J], 2022, 57(1): 700
- [9] Li Gen, Ke Lei, Ren Xuechong *et al. International Journal of Fatigue*[J], 2023, 166: 107299
- [10] Lin Shuang(林爽), Cai Jin(蔡晋), Wang Gang(王刚) *et al. Aeronautical Manufacturing Technology*(航空制造技术)[J], 2023, 66(16): 117
- [11] Shu Lili(舒力力), Chen Yonghui(陈永辉), Pan Kai(潘凯) *et al. Chinese Journal of Solid Mechanics*(固体力学学报)[J], 2024, 45(4): 488
- [12] Guo Ping(郭萍), Zhang Qingli(张菁丽), Qiang Fei(强菲) *et al. Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2022, 51(11): 4358
- [13] Guo Ping(郭萍), Pan Hao(潘浩), Jia Guoyu(贾国玉) *et al. Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2022, 51(1): 301
- [14] Li Gen, Guo Yiyu, Rui Shaoshi *et al. International Journal of Fatigue*[J], 2023, 176: 107896
- [15] Dong Xin(董鑫), Li Peiyuan(李培源), Wang Xu(王旭) *et al. Materials for Mechanical Engineering*(机械工程材料)[J], 2014, 38(11): 76
- [16] Hui Li(回丽), Zhao Yongsheng(赵永生), Zhou Song(周松) *et al. Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2020, 49(8): 2706
- [17] Xu Liang(许良), Zhao Qing(赵晴), Hui Li(回丽) *et al. Hot Working Technology*(热加工工艺)[J], 2019, 48(20): 37
- [18] Jesus J S, Borrego L P, Ferreira J A *et al. Engineering Failure Analysis*[J], 2020, 118: 104852
- [19] Sun Chengqi, Li Yangqing, Xu Kuilong *et al. Journal of Materials Science & Technology*[J], 2021, 77: 223
- [20] Baragetti S, Villa F. *JOM*[J], 2015, 67(5): 1154
- [21] Murakami Y. *Metal Fatigue-Effects of Small Defects and Nonmetallic Inclusions*[M]. Amsterdam & Boston: Elsevier, 2002: 6
- [22] Ding Mingchao, Zhang Yuanliang, Wang Jinlong *et al. Materiali in Tehnologije/Materials and Technology*[J], 2020, 54(3): 311
- [23] Ding Mingchao, Zhang Yuanliang, Lu Huitian. *International Journal of Fatigue*[J], 2020, 139: 105793
- [24] Ding Mingchao, Zhang Yuanliang, Lu Huitian. *Materials Performance and Characterization*[J], 2021, 10(1): 66
- [25] Wang Jinlong(王金龙), Gao Sibao(高斯博), Yang Yuxing(杨宇星) *et al. Journal of Harbin Engineering University*(哈尔滨工程大学学报)[J], 2021, 42(8): 1203

Fatigue Failure Behavior of TC17 Titanium Alloy in 3.5% NaCl Solution

Yu Guifeng¹, Wang Jinlong¹, Shi Zeyu¹, Peng Wenjie^{2,3}

(1. Marine Engineering College, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)

(2. School of Artificial Intelligence, Wuchang University of Technology, Wuhan 430223, China)

(3. Baosteel Central Research Institute, Wuhan 430080, China)

Abstract: To study the fatigue failure behavior of TC17 titanium alloy in salty-water environment, ultrasonic fatigue tests of TC17 titanium alloy in different medias were conducted and the fatigue properties and failure characteristics were analyzed. The fatigue tests of TC17 titanium alloy in air and 3.5% NaCl solution were carried out using ultrasonic fatigue test system, and the fatigue lives in different medias under the same stress amplitude were compared and analyzed. The conversion model of fatigue life in two kinds of media in the “finite life” stage was put forward, and the stress intensity factors were calculated according to Murakami model and micro-gully model. The fracture characteristics of fatigue test specimens were observed by SEM, and the effects of 3.5% NaCl solution on fatigue failure characteristics were compared and analyzed. Results show that in 3.5% NaCl solution environment, the calculated results of stress intensity factor with surface micro-gully as the main variable are more consistent with the actual failure behavior, and due to the influence of corrosion environment, there are some phenomena such as “accumulation” of matrix materials and multiple crack sources on the fracture surface.

Key words: TC17 titanium alloy; fracture characteristic; 3.5% NaCl solution; ultrasonic fatigue testing

Corresponding author: Wang Jinlong, Ph. D., Associate Professor, Marine Engineering College, Dalian Maritime University, Dalian 116026, P. R. China, E-mail: wjl19890806@dlmu.edu.cn