

力学不均匀性对焊接接头疲劳裂纹扩展影响的研究

北京工业大学 李晓延* *

南京航空航天大学 许 棠 高德平 范引鹤

哈尔滨工业大学 朱鸿官 田锡唐

【摘要】 本文将焊接接头简化为夹层材料裂纹体模型,通过实验及弹塑性有限元方法研究了均匀材料和具有力学不均匀性的夹层材料裂纹体中心裂纹试件中疲劳裂纹的扩展规律。发现疲劳裂纹的扩展不但取决于裂纹尖端处材料的性质,而且还受裂纹尖端附近材料力学不均匀性的严重影响;不均匀体裂纹尖端的塑性区、应力应变场与均匀材料裂纹体显著不同;力学不均匀性对疲劳扩展寿命影响的本质在于力学不均匀性对疲劳裂纹闭合的影响。

关键词: 焊接接头 疲劳裂纹 不均匀性

分类号: O346.2

1 引言

近年来,在焊接力学的研究领域中,对力学不均匀性影响焊接接头断裂特征参数的研究相当活跃^[1-4],有关力学不均匀性对焊接接头疲劳裂纹扩展速率影响的研究也已展开^[5-7]。实验和数值分析的方法已被证明为研究焊接接头疲劳裂纹扩展的有力工具。

文献[5]通过边界元方法对焊接接头疲劳裂纹扩展进行了研究,指出了力学不均匀性对焊接接头疲劳裂纹扩展速率的影响在于力学不均匀性对疲劳裂纹尖端张开位移幅值($\Delta CTOD$)或 J 积分幅值(ΔJ)的影响。但应该指出的是,尽管文献[5]中考虑了材料的非线性性质,但没有考虑几何非线性。实际上,在焊接接头疲劳裂纹扩展过程中,裂纹尖端塑性区中位移与应变关系中的非线性性质是不容忽略的。另一方面,当疲劳裂纹扩展过程中存在闭合现象时,CTOD 的传统定义已失去意义, J 积分的守恒性已不复存在。

本文将在实验研究的基础上,全面考虑材料与几何的非线性,采用弹塑性有限元方法研究力学不均匀性对焊接接头疲劳裂纹扩展的影响。

2 主要研究结果与讨论

考虑到焊接接头的力学不均匀性,在研究其疲劳裂纹的扩展行为时,本文将焊接接头简化为不同夹层宽度的软夹硬中心裂纹体模型。其中硬夹层用材料 60Si2Mn 来模拟,软区材料用 A3 钢来模拟。试样的形状及尺寸如图 1 所示。

在正弦波疲劳载荷($P_{\max} = 38.2 \text{ kN}$, $R = 0$, $f = 25 \text{ Hz}$)作用下, 夹层宽度不同的软夹硬中心裂纹试件的寿命曲线如图 2 所示。可以看出: 随着硬夹层的变窄, 疲劳寿命增大; 硬夹层越宽, 疲劳寿命越短。

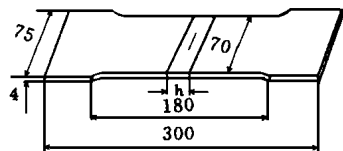


图 1 试件形状和尺寸

在本文的弹塑性有限元分析中, 利用循环载荷达到最大值时裂纹尖端节点的释放来模拟疲劳裂纹的扩展。同时, 沿着裂纹方向引入虚拟刚性被动接触面, 试样的扩展裂纹面作为主动接触面, 在循环载荷的加载和卸载过程中, 通过接触面对的接触与再分离来模拟疲劳裂纹的张开与闭合。

图 3 是均匀材料和夹层宽度为 0.5 mm 的软夹硬不均匀体疲劳裂纹尖端的塑性区形状。对于不均匀体, 疲劳裂纹尖端的塑性区主要存在于裂纹尖端附近的软区材料中, 随着硬夹层的变宽, 疲劳裂纹尖端的塑性区还会变得不连续。软夹硬不均匀体疲劳裂纹扩展过程中裂纹尖端塑性区的演变如图 4 所示。

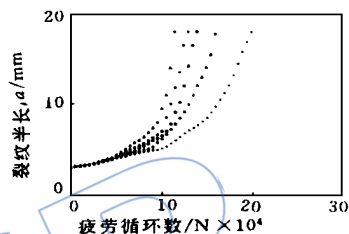


图 2 疲劳裂纹扩展寿命

不均匀体疲劳裂纹尖端塑性区的特性必然影响裂纹尖端的应力应变场和裂纹尖端张开位移。在相同的外载条件下, 夹层宽度不同的不均匀体裂纹尖端的应力分布如图 5 所示。不均匀体疲劳裂纹尖端前方的应力分布出现明显的低谷, 并且随着夹层宽度的减小, 这一应力分布的低谷越来越明显。这一现象的出现是由于在疲劳载荷的加载过程中, 裂纹尖端附近的软区材料出现了局部屈服, 在随后循环的进一步加载过程中, 软区的局部屈服限制了该区下方裂纹上应力的升高, 导致了应力分布出现低谷。

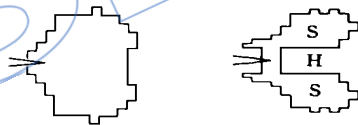


图 3 均匀材料和夹层厚度的塑性区形状

在数值计算中, 本文以裂纹尖端后第一个主节点的位移代表裂纹尖端张开位移。在相同的

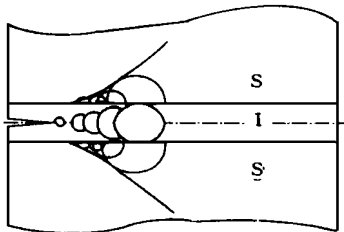


图 4 疲劳裂纹尖端塑性区的演变

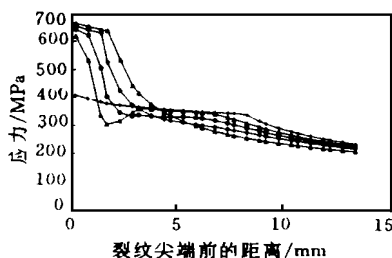


图 5 疲劳裂纹尖端应力分布

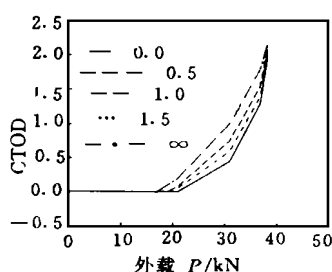


图 6 疲劳裂纹尖端张开位移的变化

条件下, 夹层宽度不同的不均匀体加载过程中疲劳裂纹尖端张开位移的变化如图 6 所示。可以看出, 加载时裂纹尖端并不能立即张开, 只有当外载大于一定值以后, 裂纹尖端才逐渐张开。夹层越宽, 裂纹尖端张开时所需的外载越小; 夹层越窄, 裂纹尖端张开时所需的外载越大。这一现

象的出现是由于软区屈服对疲劳裂纹闭合影响的结果。

对于恒定幅值的疲劳循环来说, 裂纹尖端张开时所需的外载越大, 意味着促使裂纹扩展的有效推动力越小, 则裂纹扩展速率越小; 张开载荷越小, 促使裂纹扩展的有效推动力越大, 则裂纹扩展速率越大, 寿命越短。从这一点出发, 以力学不均匀性影响疲劳裂纹的闭合为依据, 可以很好的解释图 2 所示的力学不均匀性影响疲劳裂纹扩展寿命的影响: 夹层越窄, 张开载荷越大, 有效推动力越小, 则裂纹扩展速率越小; 与此相反, 夹层越宽, 则裂纹扩展速率越大。

3 结 论

(1) 力学不均匀性对软夹硬裂纹体的尖端场有重要影响。在夹层宽度越小时, 裂纹尖端的塑性区主要存在于裂纹尖端附近的软区材料中; 裂纹尖端的应力分布存在低谷, 并随夹层的变窄, 这一低谷越来越明显。(2) 软夹硬不均匀体疲劳裂纹的扩展过程中存在闭合现象。硬夹层越窄, 裂纹张开载荷越大, 裂纹扩展的有效推动力越小, 则疲劳寿命越长; 相反, 夹层越宽, 张开载荷越小, 有效推动力越大, 则疲劳寿命越短。(3) 力学不均匀性对疲劳裂纹扩展寿命影响的本质在于其对疲劳裂纹闭合的影响。本文的研究结果为在工程中采用高匹配焊接接头来提高焊接结构的疲劳寿命找到了依据。

参 考 文 献

- 1 Tian X T, Zhu H G, Ma W D. Study on the Fracture Behaviour of Joints with a Crack in Transverse Hard Layer- Effect of Hard Layer with on COD. Proc. Int. Conf. on Quality and Reliability in Welding, Hangzhou, 1984
- 2 林键治. Study on J - Integral for Crack in Heterogeneous Materials. 材料, 1987, 36(403): 341
- 3 马维甸, 田锡唐. 焊接接头软夹硬不均匀裂纹体的 J 积分研究. 焊接学报, 1986, 7(1): 23
- 4 马维甸. 焊接接头不均匀体的弹塑性断裂力学研究: [学位论文]. 哈尔滨工业大学, 1985
- 5 孙大成. 力学不均匀性对疲劳裂纹扩展影响的研究: [学位论文]. 哈尔滨工业大学, 1988
- 6 Tian X T, Zhu H G, Feng Y F. Influence of Heterogeneous on the Fatigue Behaviour of Welded Joints with a Crack in Transverse Hard Layer. IIW Asian Pacific Regional Welding Congress, Hobart, 1988
- 7 李晓延. 力学不均质焊接接头疲劳裂纹扩展及裂纹闭合的研究: [学位论文]. 哈尔滨工业大学, 1992

(责任编辑 王震华)

tor have been investigated. Essentially, the injector is a plain-orifice atomizer with injecting air or gas into the liquid upstream of the final discharge orifice. Measurements of mean drop size and drop-size distribution and velocity characteristics of the spray are obtained with the aid of Particle Dynamic Analyzer (PDA). The liquid employed is water and all tests are carried out at normal atmospheric pressure and temperature. The injecting pressures of water range from 1.5×10^5 to 5.5×10^5 Pa, and air/liquid mass ratios from 0 to 0.12. Investigations are focused on the influence of gas-ejecting methods and the convergent angles on atomization performance of horizontally ejecting effervescent atomizer. The results show that atomization quality changes obviously at horizontally and downwards injecting of the atomizer. Different two-phase flow patterns lead to various atomization effects.

Key Words Atomizers Pneumatic atomization Performance analysis

TECHNICAL NOTES

EFFECTS OF MECHANICAL HETEROGENEITY ON FATIGUE CRACK GROWTH IN WELDED JOINTS

Li Xiaoyan

(Welding Division, Beijing Polytechnic University, Beijing 100022)

Xu Tang, Gao Deping, Fan Yinhe

(2nd Dept. Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016)

Zhu Hongguan and Tian Xitang

(Welding Division, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

ABSTRACT Welded joints were simplified as sandwiched crack bodies of CCP type. By means of experiments and elastic-plastic finite element method, the law of fatigue crack propagation in the simplified models both with and without mechanical heterogeneity was researched. It is found that, fatigue crack growth not only depends on material properties of crack tip region, but also on material properties adjacent to the crack tip seriously. The shape of plastic zone and distribution of stress and strain in heterogeneous cracked body magnificently differ from these of homogeneous one. It can be considered that the essential effect of mechanical heterogeneity on the fatigue crack growth life is its effect on crack closure.

Key Words Welding joints Fatigue Crack propagation Heterogeneity

SOFTWARE PACKAGE SRMICAD FOR DESIGNING SRM IGNITER

Zhang Weihua, Li Qinnian, Hou Zhongxi, Shi Lihua, Guo Jian

(1st Dept. National University of Defense Technology, Changsha 410073)

ABSTRACT The design methods of four kind of commonly used igniters of Solid Rocket Motor (SRM) are considered in this paper. C Language is used to complete software programming. A software package has been worked out for designing the igniters of SRM, which uses Chinese interface, window input and drawing show. The software package