

表面裂纹疲劳扩展的SIFs分布

杨凤鹏

(上海交通大学工程力学系, 上海 200240)

工程中圆柱体构件通常承受往复载荷作用, 因此其表面裂纹的断裂强度和疲劳扩展行为对评估其剩余寿命和安全性能非常重要, 对圆柱体表面裂纹的理论和实验分析近年来日益受到人们的重视。在分析中, 表面裂纹前缘形状通常被假设为直前缘、半椭圆或半圆形状。随着裂纹扩展, 裂纹的断面形貌比也被假设为定值。但是在实际裂纹扩展过程中, 裂纹前缘曲线的曲率会不断变化, 因此使用相同断面形貌比进行计算并不能反映实际的裂纹扩展过程。

本文通过实验方法测试了几种初始表面裂纹深度下的疲劳扩展行为, 并对断面形貌特征进行分析和比较。给出了直裂纹前缘在扩展中断面形貌比与初始裂纹深度之间的函数关系。其次, 使用有限单元法计算了不同裂纹形状, 裂纹深度下的应力强度因子(SIFs)。并且通过与已有研究数据的比较, 分析给出了实际裂纹扩展情况下的SIFs分布。结果得到: 对于直前缘表面裂纹, 在疲劳拉伸载荷作用下裂纹前缘中心点处的应力强度因子总是大于外表面的SIFs值, 裂纹从前缘曲线中心开始扩展, 直裂纹前缘变成曲线。随后裂纹逐渐扩展, 表面处的SIFs增加速度大于深度方向的增加速度。当裂纹扩展到一定长度时, 裂纹在深度方向与外表面方向有着相同的扩展速率, 且裂纹前缘曲线的曲率达到最大。此后, 裂纹在外表面方向的扩展速度超过深度方向, 裂纹前缘曲线的曲率逐渐减小, 直到疲劳断裂。当初始裂纹前缘为半圆形状时, 前缘曲线上最深点处的SIFs值始终小于外表面处。裂纹首先在表面开始扩展, 且半圆裂纹前缘曲线变成椭圆曲线。随着表面裂纹的扩展, 裂纹前缘曲线的曲率不断变化。实际的应力强度因子总是位于直裂纹前缘SIFs和半圆形裂纹前缘SIFs之间。初始裂纹前缘曲率特征对最深点处的应力强度因子影响较大, 而对外表面处几乎没有影响。

纳米尺度小柱压缩的有限元分析

曾珂¹⁾

(中国科学院力学研究所, 北京 100080)

利用有限元分析软件ABAQUS 6.5, 建立旋转轴对称模型, 对纳米尺寸的锥形小柱单向压缩过程进行力学分析。试样为 $Zr_{41}Ti_{14}Cu_{12.5}Ni_{10}Be_{2.5}$ 非晶材料, 其横截面半径在100~200nm范围。材料的本构关系是弹塑性变形行为数值模拟分析模型的基础。通过不同变形参数下的轴对称压缩实验获取材料的应力-应变曲线, 是建立本构关系的常用方法。由于尺度效应, 小尺寸试样的本构关系可能不同于已知常规尺寸下的本构关系。且试样形状为锥形, 压缩实验中获取的载荷-位移曲线不能直接转化为材料的应力-应变曲线。本文利用试样已知的力学参数, 通过有限元法模拟材料压缩过程, 将得到的数据与实测载荷-位移曲线进行拟合, 经过修正得到小柱的应力-应变曲线, 最后通过数值模拟分析试样的变形过程。数值模拟的结果表明, 压缩过程初期小柱受力端最先进入塑性阶段, 其余部分仍处于弹性阶段, 产生弹塑性分界面; 随着压缩过程的进行, 弹塑性分界面逐渐向试样基部发展, 试样的塑性区域逐渐扩大。

关键词 有限元模拟, 压缩, 应力, 应变, 弹塑性, FIB小柱

¹⁾E-mail: zengke@lnm.imech.ac.cn