

铝合金构件断裂损伤过程声发射源模式识别研究

阳能军 王汉功 高成强

(第二炮兵工程学院 501 室, 西安 710025)

摘 要 承载铝合金构件弯曲断裂全过程包括塑性变形、微裂纹萌生、宏观裂纹稳定扩展和失稳断裂四个阶段, 每个阶段均产生大量不同特征的声发射信号。本文建立了铝合金构件弯曲断裂过程声发射监测实验方案, 通过实验研究了铝合金构件弯曲断裂过程中声发射参数变化的一般规律, 将铝合金弯曲断裂的四个阶段归纳为声发射源的四种模式, 运用 Matlab 工具箱建立了断裂损伤过程模式识别神经网络模型, 测试结果表明该网络具有较好的识别效果。

关键词: 铝合金, 断裂损伤, 声发射, 模式识别, 神经网络

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A

STUDY ON MODE RECOGNITION OF ACOUSTIC EMISSION SOURCE DURING FRACTURE PROCESS OF ALUMINIUM ALLOY

Yang Nengjun Wang Hangong Gao Chengqiang

(Section 501, Second Artillery Engineering College, Xi'an 710025)

Abstract The overall fracture process of aluminum alloy under stress can be obviously divided into four phases: plastic deformation, tiny crack formation, crack steady extending and unsteady extending to split. Each phase will generate lots of acoustic emission signals from acoustic emission sources with different characteristic parameters. A new experiment scheme for bending fracture process inspection with acoustic emission technology is brought forth in this paper, and the commonly law of acoustic emission characteristics development during the fracture process of aluminium alloy is studied with a lot of experimentations. Treating the four fracture phases as four corresponding modes of acoustic emission source, a neural network model for fracture process mode recognition is constructed with Matlab toolbox. Testing results show that the network model can provide a preferable recognizing effect.

Key words Aluminium alloy, Fracture damage, Acoustic emission (AE), Mode recognition, Neural network

0 引言

铝合金具有塑性好、比强度高的特点, 因此在机械设备中等到了广泛应用。与许多其他金属材料一样, 铝合金构件在承载条件下的断裂损伤过程也可以分为四个阶段: 塑性变形、微裂纹萌生、宏观裂纹稳定扩展和失稳断裂四个阶段。为了动态、实时地监测裂纹的发展变化情况, 近年来, 声发射(Acoustic Emission, AE)技术得到了广泛应用。

在声发射技术中, 裂纹是一种典型的声发射源。在裂纹萌生及扩展的不同阶段, 产生的声发射信号具有不同的特征参数(如能量、频率、持续时间等)^[1]。声发射监测的一个重要目的就是根据监测到的声发射信号推断裂纹所处的阶段, 进而判断其危害性。这实质上是一个模式识别的过程^[2], 也就是把征兆空间 X 的向量(声发射信号的参数)映射到状态空间 Y (裂纹所处的阶段):

$$F: X \rightarrow Y$$

通常情况下, 映射关系 F 是未知的。运用神经网络, 通过学习输入到输出的样本集, 可以实现输入到输出的这种映射关系。

1 实验

本文采用三点弯曲实验方法来研究铝合金构件弯曲断裂过程。试样(图 1)从经过固溶处理并自然时效的板材上沿轧制方向截取, 预先用线切割加工单边缺口, 并在高频弯曲疲劳试验机上预制裂纹。试样尺寸为: 长度 $L=120\text{mm}$, 宽 $W=24\text{mm}$, 厚度 $B=12\text{mm}$, 线切割缺口深度 $a=6\text{mm}$, 预制裂纹(图中未示出)长度 $b=3\text{mm}$ 。

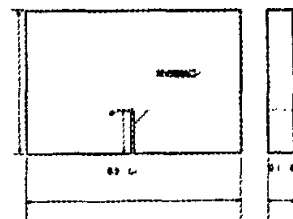


图 1 三点弯曲试样

加载装置由液压千斤顶和支架组成(图 2), 用手摇

泵(图中未示出)给千斤顶提供液压油。实验时, 声发射传感器安装在试样表面, 用凡士林作为耦合剂。

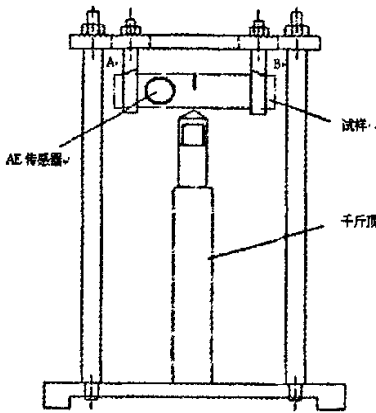


图 2 三点弯曲实验装置

实验在匀速加载情况下进行(千斤顶活塞匀速伸出)。采用德国 Vallen Systeme 公司生产的 AMSY-5 型声发射仪记录试样裂纹形成及扩展过程的声发射信号。采样频率设置为 5MHz, 每组采样数 2048, 信号门限值 40dB。

2 铝合金断裂过程声发射特性分析

在描述声发射信号特征的参数中, 撞击数(Hit)和振铃计数(CNTS)能较好地反映材料性能的变化。前者反映声发射活动的总量和频度, 常用于评价声发射活动性。后者与声发射事件的能量有关。因此, 本文选用累计撞击数和振铃计数来反映断裂损伤演化过程。

图 3 为试样在匀速加载下的撞击 / 振铃计数—时间曲线。I (图中实线)为试样的累计振铃计数—时间曲线(左轴刻度所示), II(虚线)为累计撞击数—时间曲线(右轴刻度所示)。

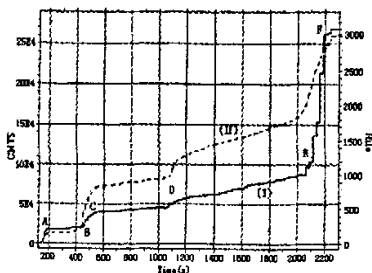


图 3 实验过程的撞击 / 振铃计数—时间曲线

两条曲线的斜率分别在 B、C、D、E 四处发生突变(AB 为仪器标定段), 这种斜率的突变反映了试样裂

纹的萌生、扩展和失稳断裂的不同阶段。具体分析如下:

BC 段: 为塑性变形阶段。在 B 点处, 开始对试样加载, 预制裂纹尖端由于应力集中而产生晶粒的塑性变形、非金属夹杂物与基体的剥离及断裂、循环硬化, 出现少量声发射信号, 导致曲线斜率增大。这些声发射信号具有较高的幅值, 且每一个撞击都具有很多个振铃计数, 因此图中振铃曲线(II)的斜率比撞击曲线大。

CD 段: 微裂纹萌生阶段。随着载荷增加, 导致裂尖塑性区增大, 滑移带变宽加深, 微裂纹开始在局部高应力区萌生。由于微裂形成时释放的应变能较弱且稳定, 此阶段记录的声发射信号撞击数和振铃计数均较少, 曲线斜率较小。

DE 段: 宏观裂纹形成及稳定扩展阶段。随塑性变形区不断扩大, 能量积聚, 微裂纹逐渐汇合、贯通, 最终形成宏观裂纹, 释放出较大能量, 所以两条曲线在 D 点处都呈现明显的跃迁。随后, 继续加载, 进入宏观亚临界裂纹扩展阶段, 此时裂纹扩展缓慢匀速并伴随有相当多的能量较高的突发型信号, 曲线趋于平稳。DE 段与 CD 段相比, 声发射信号活跃程度有显著增强, 两条曲线的斜率均增大。

EF 段: 裂纹失稳断裂阶段。随载荷增大, 裂纹不断扩展, 裂纹尖端应力强度因子 K_I 逐渐增大, 当其增大到等于材料的平面应变断裂韧度 K_{Ic} 时, 裂纹就失稳扩展, 构件在较短时间断裂。此时, 积聚的大量应变能需要瞬时释放, 声发射信号频度高且能量大, 每个信号之间的间隔时间太小, 数十个甚至上百个信号彼此叠加在一起, 被记录成包含上千个振铃计数的声发射撞击。E 点处, 裂纹开始失稳扩展, 声发射振铃计数和撞击数都明显增加。由于每次撞击包含振铃计数很多, 故曲线 I 的斜率比曲线 II 更大。

根据上述分析, 可以将断裂损伤的四个阶段声发射源表现出来的四种不同模式。

3 声发射源模式识别

本文选用两层 BP 网络。选取声发射信号的振幅、上升时间、持续时间、振铃计数、能量 5 个特征参数作为网络的 5 个输入节点^[3]; 输出节点数为 1, 输出值 $T = [1, 2, 3, 4]$, 分别对应断裂损伤各阶段模式。网络中间层(隐含层)节点数取为 20。

从实验记录的大量数据中选取四种模式各 80 组数据作为全部样本数据, 样本集的大小为 320。为了提高网络的推广能力和识别能力。在训练之前, 将样本数据随机划分为训练样本和测试样本各 160 组。

使用 Matlab 工具箱构造神经网络, 中间层传递函数类型选为 tansig 函数, 输出层传递函数选为线性函数 purelin, 训练函数设为 trainscg, 选用退化 Hebb 权值学习函数 learnhd, 训练性能函数采用均方误差函数 mse。

对神经网络进行迭代训练, 训练至 400 步, 网络性能达标。将 40 组测试样本代入训练好的网络对神经网络进行测试, 测试结果如表 1 所示。

表 1 测试集模式识别结果

	模式 1	模式 2	模式 3	模式 4	误判率 (%)
塑性变形	40	0	0	0	0
裂纹形成	1	38	1	0	5.0
裂纹扩展	0	1	39	0	2.5
断裂	0	0	0	40	0

4 识别结果与讨论

由测试结果可以看出, 建立的神经网络能够对声发射特征参数进行有效识别, 从而判定试样损伤所处阶

段, 这对于工程应用具有一定的实用价值。同时, 对裂纹形成及扩展阶段的声发射信号存在一定的误判, 且多为 1、3 模式混淆。其原因主要有两方面, 一是由于测试集中两个声发射信号的特征参量分布范围与塑性变形、裂纹扩展比较接近, 二是网络规模较小, 而且各特征参量数值差异较大, 网络训练不够。

参考文献

- [1] 沈功田, 段庆儒, 周裕峰等. 压力容器声发射信号人工神经网络模式识别方法的研究. 无损检测, 2001, 23(4): 144-146
- [2] 钟秉林, 黄仁主编. 机械故障诊断学. 北京: 机械工业出版社, 1997, 174-177.
- [3] 李家林, 董云朝, 马羽宽. 声发射源特性的神经网络模式识别研究. 无损检测, 2001, 23(6): 231-233.

铝合金构件断裂损伤过程声发射源模式识别研究

作者: [阳能军](#), [王汉功](#), [高成强](#)
作者单位: [第二炮兵工程学院, 西安, 710025](#)

相似文献(2条)

1. 会议论文 [高成强](#), [王汉功](#), [阳能军](#), [刘晓方](#) [LY12CZ铝合金三点弯曲损伤的声发射监测](#) 2006

本文采用声发射技术对LY12CZ铝合金试样三点弯曲损伤断裂过程进行监测,探索声发射技术在金属构件断裂损伤研究中的应用.介绍了信号采集系统,提供了硬件系统常用的降噪措施.试验分恒定载荷和加载速率为定值两类情况进行,分析了试样在不同情况下的声发射监测试验结果.

2. 会议论文 [买买提明·艾尼](#), [苏白·阿那别克](#), [菊池正纪](#), [居来提·阿不力孜](#) [不同应力三维度条件下SiC粒子强化铝合金复合材料的损伤模拟计算与分析](#) 2000

通过拉伸实验和数值模拟计算,对SiC粒子强化铝合金复合材料进行了不同应力三维度 α 条件下损伤过程的分析.拉伸实验适用了圆棒光滑试样和切口试样.拉伸实验后,用电子扫描显微镜观察了破坏面及损伤种类与SiC粒子形状及应力三维度之间的关系等.建立了考虑不同损伤种类的力学模型.考虑有限变形进行了SiC粒子强化铝合金复合材料损伤过程的FEM数值模拟计算.计算结果与实验结果基本吻合.

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Conference_6295734.aspx

下载时间: 2010年5月27日