

图2 有限元法与实验得到的 K_I-t 关系

4. 结论

(1) 动态断裂问题完全不同于静态问题。在静态问题中, 应力强度因子随载荷线性变化^[9], 而动态问题则不同, 由图1, 图2比较可见, 在 $p(t)$ 下降时, 等色线条纹仍继续加密, 应力强度因子继续增加, 即应力与载荷比较, 是滞后的。

(2) 动光弹方法可用于确定某些数值计算问题的初、边值条件。

(3) 由于采用了文[9]中的方法, 可以避免由于裂尖条纹密集对取点带来的误差, 提高实验分析精度。

由于我们在数值计算中引入了完全奇异性的应力场(2)式, 这也许是造成数值计算误差的主要原因。

参 考 文 献

- [1] Kobayashi A S, et al. *Cracks and Fracture*, ASTM, STP601, 1976: 274-290
- [2] 杜家吉. 天津大学学报, 1985(4): 80-90
- [3] Kobayashi A S, et al. *Exp Mech*, 1976, 16(5): 176-181
- [4] 孙燕君. 北方交通大学学报, 1988(1): 29-35
- [5] 陈增涛等. 第二届东北三省理论与应用力学学术会议论文集. 哈尔滨工业大学出版社, 1990:125-126
- [6] Sih G C, et al. *Appl Mech*, 1969(27): 193-199
- [7] Irwin G R. *Proc. SESA*, 1958, 16(1): 91-96
- [8] Bradley W B, et al. *Exp Mech*, 1970, 10(3): 106-113
- [9] 陈增涛, 王铎. 力学与实践, 1993,15(4)

(本文于1993年4月8日收到)

疲劳裂纹扩展时焊接残余应力分布的测定

杨化仁

(沈阳工业高等专科学校, 沈阳 110044)

提要 本文采用切割法测定了沿焊缝横向残余应力的分布规律。由于切割试样可以近似地模拟疲劳裂纹扩展, 通过测量释放的应力, 计算出残余应力的分布, 可发现残余应力对疲劳裂纹扩展速率的影响规律。

关键词 裂纹扩展, 焊接, 残余应力

估算焊接件在疲劳载荷下的寿命, 裂纹尖端处垂直裂纹扩展方向的横向残余应力如何变化是影响疲劳裂纹扩展的重要因素之一。实验表明, 采用切割应力释放法误差很小, 能较精确地测得随疲劳裂纹长度的增加残余应力分布的规律。

1. 测试原理及方法

切割应力释放法测量横向残余应力的原理如

图1所示。被测试样为14mm原标准CT试样, x 轴为双面埋弧焊焊缝。沿焊缝A、B两处各一片应变片, 双面共4片。从 $x = w - a_0$ 起, 划分 $\Delta a = 3\text{mm}$ 的若干小段, 沿裂纹扩展方向依次切割, 每次切割3mm, 使作用其上的垂直裂纹扩展方向的残余应力得到释放, 而未切割部分的残余应力为达到新的平衡会发生重新分布。重新分布的变化量与在未切割部分作用了一个力 P 和力矩 M 所引起的变化量相当, 由A、B处测得应力的变化量, 就可计算出被切开那一小段上的平均横向残余应力以及未切开部分各处残余应力的变化量, 累积被切处的残余应力, 便可求出试件初始横向残余应力分布及其变化的情况。

2. 计算方法

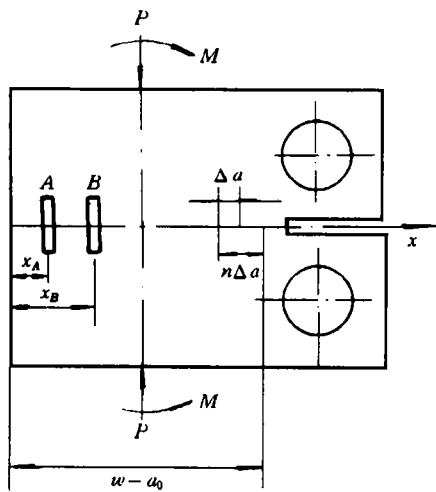


图1 残余应力测量原理示意图

第一次切割 3mm 时, 设 A、B 处测得的应力变化量为 σ_{A1} 、 σ_{B1} , 由于切后焊接件局部应力释放, 若保持平衡, 相当在未切割部分作用了一个力矩 M 和力 P_1 , 则

$$\sigma_{A1} = -\frac{P_1}{A_1} + \frac{M_1 Y_{A1}}{I_z} \quad (1)$$

$$\sigma_{B1} = -\frac{P_1}{A_1} + \frac{M_1 Y_{B1}}{I_z} \quad (2)$$

其中 Y_{A1} 、 Y_{B1} 分别为 A、B 应变片距 P_1 作用线的距离。 A_1 为切割第一次后试件的韧带横截面积。由 (1)、(2) 式解得

$$P_1 = \frac{Y_{B1}\sigma_{A1} - Y_{A1}\sigma_{B1}}{Y_{A1} - Y_{B1}} \cdot A_1 \quad (3)$$

则第一次切割释放的残余应力即被切开那小段的平均横向残余应力为

$$\sigma_1 = \frac{P_1}{A_0} = \frac{Y_{B1}\sigma_{A1} - \sigma_{B1}Y_{A1}}{Y_{A1} - Y_{B1}} \cdot \frac{A_1}{A_0} \quad (4)$$

A_0 为每切一小段的截面积, $A_0 = 3B$ (B 为试样厚)。 $\sigma_{A1} = E \cdot \varepsilon_{A1}$, $\sigma_{B1} = E \cdot \varepsilon_{B1}$, 切第 n 次后, 释放的残余应力为

$$\sigma_n = \frac{Y_{Bn}\sigma_{An} - Y_{An}\sigma_{Bn}}{Y_{An} - Y_{Bn}} \cdot \frac{A_n}{A_0} \quad (5)$$

其中, $Y_{An} = \frac{w - a_0 - 3n}{2} - x_A$, $Y_{Bn} = \frac{w - a_0 - 3n}{2} - x_B$, $A_n = B(w - a_0 - 3n)$.

第 1 次切割后, 未切开部分各处的残余应力变化量为:

力学与实践

第 2 小段

$$\begin{aligned} \sigma_{12} &= -\frac{P_1}{A_1} - \frac{M_1 Y_2}{I_z} \\ &= -\frac{P_1}{A_1} - \frac{M_1}{I_z} \cdot \left(\frac{w - a_0 - 3}{2} - \frac{3}{2} \right) \\ &= -\frac{P_1}{A_1} - \frac{M_1}{I_z} \left[\frac{w - a_0 - 3 \times 1}{2} - \frac{3}{2} - 3(3 - 2) \right] \end{aligned} \quad (6)$$

第 k 小段

$$\sigma_{1k} = -\frac{P_1}{A_1} - \frac{M_1}{I_z} \left[\frac{w - a_0 - 3 \times 1}{2} - \frac{3}{2} - 3(k - 2) \right] \quad (7)$$

据此, 推广到第 n 次切割后, 未切开部分的第 k 小段的残余应力变化量为

$$\sigma_{nk} = -\frac{P_n}{A_n} - \frac{M_n}{I_z} \left[\frac{w - a_0 - 3n}{2} - \frac{3}{2} - 3(k - 2) \right] \quad (8)$$

第一小段每次切割后残余应力的变化量累积相加, 再与每次切割释放的残余应力代数之和即为试件的初始残余应力

$$\begin{aligned} \sigma_{初1}^1 &= \sigma_1 \\ \sigma_{初2}^1 &= -\sigma_{12} + \sigma_2 \\ \sigma_{初3}^1 &= -(\sigma_{13} + \sigma_{23}) + \sigma_3 \\ &\dots\dots \\ \sigma_{初n}^1 &= -(\sigma_{1n} + \sigma_{2n} + \dots + \sigma_{n-1,n}) + \sigma_n \end{aligned} \quad (9)$$

切割第 1 段后, 试件未切割部分的残余应力分布为

$$\begin{aligned} \sigma_{初1}^2 &= \sigma_2 \\ \sigma_{初2}^2 &= -\sigma_{23} + \sigma_3 \\ \sigma_{初3}^2 &= -(\sigma_{24} + \sigma_{34}) + \sigma_4 \\ &\dots\dots \\ \sigma_{初n}^2 &= -(\sigma_{2,n+1} + \sigma_{3,n+1} + \dots + \sigma_{n,n+1}) + \sigma_{n+1} \end{aligned} \quad (10)$$

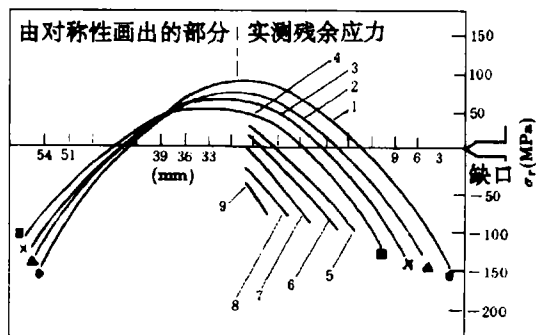


图2 切割应力释放法测得缺口长变化时, 切口前的残余应力的分布及变化情况(焊缝). 1—表示第一次切割, 2—表示第二次切割, 3,4, ..., 9—依此类推.

同理可求得切割第 n 段后, 试件未切割部分的残余应力分布. 整个计算由计算机完成. 图 1 所示试样的测量结果如图 2 所示, 与 X 射线法测定的残余应力值误差小于 3%.

3. 结果与讨论

(1) 采用上述方法可较精确地测定焊接件垂直

疲劳裂纹扩展方向的残余应力, 方法简便.

(2) 由于疲劳裂纹扩展过程中裂纹尖端存在小的塑性区, 且裂纹扩展路径可能偏离直线, 因此存在着一定的偏差. 作者的后续工作已表明, 当应力比 $R < 0.6$ 时, 该方法完全可以满足工程需要.

(本文于 1993 年 5 月 8 日收到)

旋转弯曲疲劳试验机自动载荷装置

陈治安 朱爱君 李自俊

(石家庄铁道学院, 石家庄 050043)

摘要 本文作者研制旋转弯曲疲劳试验机自动加载卸载装置. 给出了这种装置的结构原理图和电器原理图; 论述了该装置的工作原理、工作过程以及性能特点. 比较详尽地介绍了这一成果的技术.

关键词 旋转弯曲疲劳试验, 疲劳试验机, 自动加载, 自动卸载, 自动载荷装置

1. 引言

目前广泛使用的旋转弯曲疲劳试验机有一大不足: 它需试验人员按一定的程序手动加载和卸载. 如 PQ1-6 型疲劳机, 其加载过程是: 先启动电机, 待运转正常后, 转动手轮加载至杠杆水平止, 然后打开计数器开关; 在试件尚未断裂而需停车时, 须先卸载, 后停车. 如果违背这一操作规程, 即在有载情况下启动电机或未卸载就停车, 将会产生共振, 从而造成试件报废甚至试验机损坏. 这种事故是容易发生的, 尤其在供电不正常的地区常常是不可避免的. 因为突然停电时, 试验人员来不及在电机转速降至共振转速之前把载荷卸掉.

为克服这一不足, 试验机上应增加自动加载卸载装置 (简称自动载荷装置). 下面介绍笔者针对 PQ1-6 型纯弯曲疲劳试验机研制的自动载荷装置, 对其他机型可同样设计.

2. 自动载荷装置的构成

在原机上增设的自动载荷装置包括机构和电器两部分.

图 1 是原机的结构原理图, 图 2 是增设了自动载荷装置后的部分结构原理图. 图 2 比图 1 多出的部分即为该装置的机构部分.

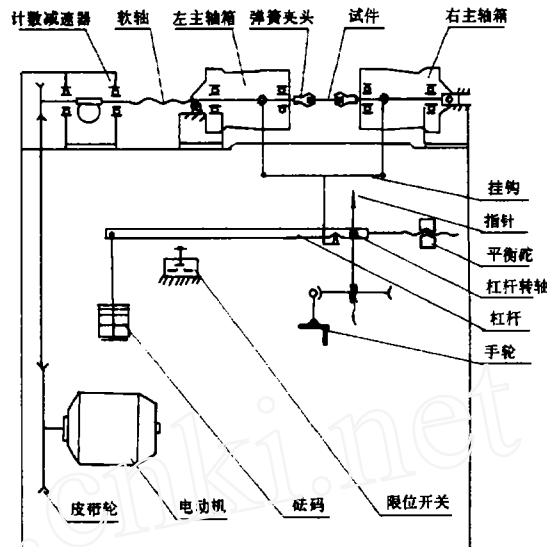


图 1 原机的结构原理图

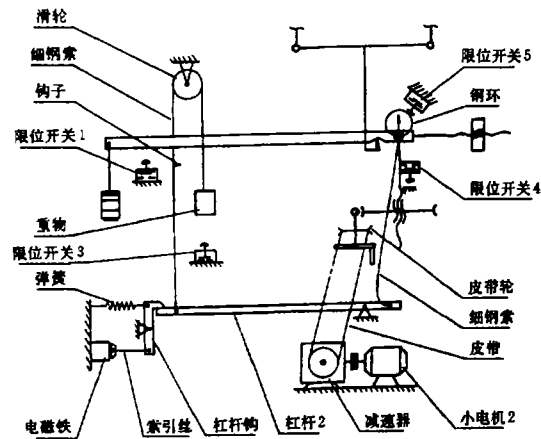


图 2 含自动载荷装置的部分结构原理图