

2024T3 铝板试件疲劳裂纹张开应力测量

伍义生

(中国科学院力学研究所, 北京, 100080)

J. Schijve

schijve, J

(荷兰 Delft 大学航空系, Delft, 荷兰)

FATIGUE CRACK CLOSURE MEASUREMENTS ON
2024T3 SHEET SPECIMENS

Wu Yisheng

(Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100080)

J. Schijve

(Delft University of Technology, Faculty of Aerospace Engineering, The Netherlands)

摘 要 建立了一种用裂纹张开位移引伸计对 2024T3 铝板试件的疲劳裂纹张开应力进行自动测量的方法。比较了斜率法、切线相交法和切点法所得结果的差别及测点位置的影响。并给出了超载作用下的疲劳裂纹张开应力的测量结果。

关键词 疲劳, 裂纹闭合, 超载, 铝板

中图分类号 V214.35, O348.3

Abstract A computer controlled procedure is developed for automatic measurements of the crack opening stress S_{op} during fatigue tests. A crack opening displacement gauge (COD meter) is used to obtain digital data on load-COD curves. Three methods for deriving S_{op} from the data sets are compared: (1) slope method, (2) tangent lines intersection method, and (3) tangent point method. The effect of the position of the COD meter with respect to the crack tip is studied in tests on 2024T3 specimens. Results on crack growth and S_{op} are presented for CA loading with an overload and with an overload followed by an underload.

Key words fatigue, crack closure, overload

自 1971 年 Elber^[1]发现疲劳裂纹闭合现象以来, 人们越来越认识到裂纹闭合在疲劳裂纹生长中起着重要的作用。因此很多作者采用不同的方法对裂纹闭合进行测量, 并用裂纹闭合概念解释疲劳裂纹生长中所发生的各种现象^[2]。一种简单可靠的方法是利用裂纹张开位移引伸计测量裂纹张开^[1]。裂纹张开位移曲线由于裂纹闭合而发生非线性偏移, 不同的作者分别采用斜率改变法、切线相交法、偏离法、最大相关系数法等不同方法确定裂纹闭合或张开应力^[3]。本文采用切点法确定裂纹张开应力, 并具体给出利用回归确定切点的数值方法^[4], 并与斜率改变法和切线相交法作了比较, 还在测量中研究了引伸计位置对测量结果的影响。为了适应超载作用下裂纹闭合的大量测量工作, 建立了能自动测量疲劳裂纹张开应力的试验控制方法, 进行了超载作用下的裂纹张开应力测量。

1 试验件和试验机

试验采用 2024T3 中心裂纹板试件。试件宽度 105mm, 厚度 6.35mm。试验机为

1992 年 11 月 23 日收到, 1993 年 7 月 5 日收到修改稿

计算机控制的 MTS100t 液压伺服疲劳试验机。试验是在荷兰 Delft 大学航空系试验室进行的。

2 试验方法

试验采用德国宇航研究院设计的裂纹张开引伸计, 每隔一定的周次测取一条裂纹张开位移曲线, 经 A/D 变换将数字信号存入计算机。计算机用不到 5s 时间算出裂纹张开应力。采样的数据同时存入软盘, 以便事后用其它的方法再进行分析。每条曲线采样 200 点。由于试验机的频率响应问题, 在载荷-位移曲线测量阶段, 给定的载荷要略微下降 (2%), 否则会发生轻微的超载, 影响裂纹扩展速率。裂纹长度根据裂纹张开位移曲线的斜率变化计算, 并直接用显微镜测量。在一个常幅加载试验中 ($S_{\max} = 120\text{MPa}$, $S_{\min} = 0\text{MPa}$), 当疲劳裂纹长度 $a = 15\text{mm}$ 时, 将引伸计放在不同的位置, 以便研究测点位置的影响。4 种不同的位置分别为: a 试件的中心线; b 裂尖后 4.0mm; c 裂尖后 2.5mm; d 裂尖后 1.0mm。

3 疲劳裂纹张开应力的确定方法

3.1 切线相交法 对载荷-裂纹张开位移曲线的上、下两部分作切线, 用两条切线的交点确定裂纹张开应力。

3.2 斜率变化法 首先对曲线的上段线性回归, 得出初始的斜率 k_0 , 然后计算其余每点的斜率 (利用该点及附近若干点线性回归), 取斜率变化 5% 的点为裂纹张开应力点。

3.3 切点法 如图 1 所示, 曲线的上段用直线模拟, 下段用二次曲线模拟。分别用线性回归和二次曲线回归确定待定系数 a_1 、 a_2 、 b_1 、 b_2 、 b_3 , 并保证两线在切点 P 数值相等、斜率相等。计算拟合误差, 逐渐改变 P 点的位置, 取拟合误差最小的点为切点^[4]。

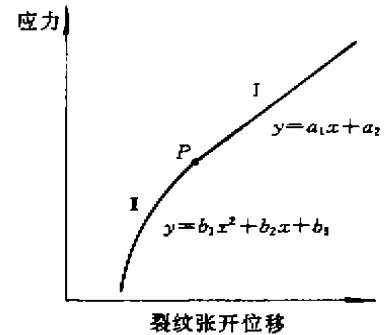


图 1 切点法

4 试验结果

4.1 测量位置 and 不同处理方法的影响 表 1 和图 2 给出 No.2 试件在常幅加载 ($S_{\max} = 120\text{MPa}$, $S_{\min} = 0$), 裂纹长度为 15mm, 引伸计放在不同位置, 利用 3 种不同方法得出的结果。

表 1 测量位置 and 不同处理方法对张开应力的影响

单位: MPa

位置	切点法	斜率法	切线相交法
a	45.00 ± 3.19	33.90 ± 2.12	33.10 ± 2.59
b	44.10 ± 2.02	41.30 ± 0.64	34.90 ± 1.87
c	45.90 ± 3.01	44.40 ± 1.62	34.00 ± 2.19
d	44.80 ± 7.10	44.50 ± 2.11	34.00 ± 2.61

注: a - 试件中心; b - 裂尖后 4mm; c - 裂尖后 2.5mm; d - 裂尖后 1mm

从测量结果可以看出, 斜率法受测量位置影响较大, 而切线法和切点法相反。采用切线相交法和切点法的优点是测量中 can 不用经常改变测点位置, 但切线相交法测量值偏低, 而切点法数据分散较大。本试验裂纹张开应力实测值比 Elber、Schijve 的理论估计值要低一些, 这与文献[3]的报道是一致的。

4.2 超载作用下疲劳裂纹张开应力测量 1961 年 Schijve 指出: 超载作用会引起裂纹扩展停滞, 超载后紧接着作用负超载又会大大削弱这种停滞作用^[4]。本文研究了超载作用下裂纹张开应力的变化。图 3 是在常幅载荷($S_{max} = 120\text{MPa}$, $S_{min} = 0$)循环到 76 000 次时加了一个超载 $S_{oL} = 200\text{MPa}$ 。从图 3(a) 可以看出有显著的裂纹停滞现象产生。从图 3(b) 裂纹张开应力的测量结果看, 在开始超载后裂纹张开应力降为零。此时从显微镜观察到裂纹尖端有钝化现象产生, 当载荷卸载到零时裂纹仍不闭合。经过若干次循环之后, 裂纹张开应力逐渐增大至一个最大值, 然后逐渐下降。大约经 20 000 次循环, 裂纹张开应力恢复到未加超载时的情况。

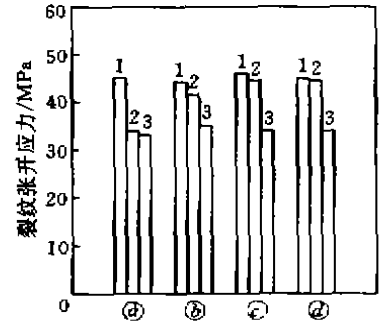


图 2 测点位置和处理方法对裂纹张开应力的影响
1-切点法; 2-斜率法; 3-切线相交法

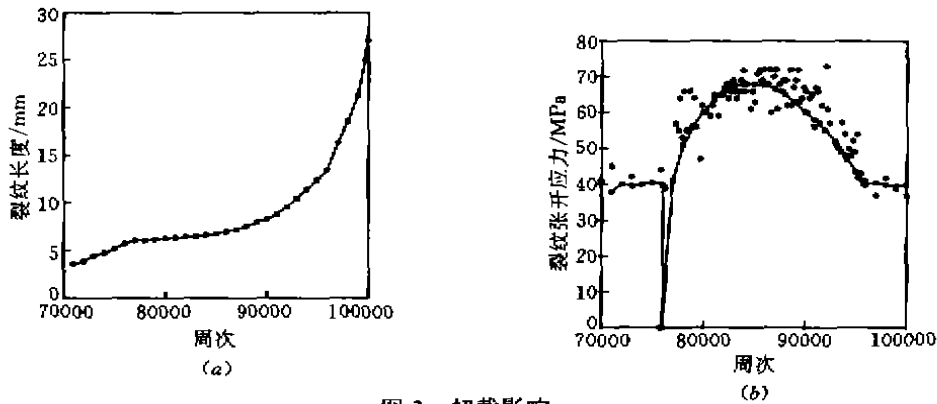


图 3 超载影响
(a) 超载影响下的裂纹生长曲线; (b) 超载影响下的裂纹张开应力

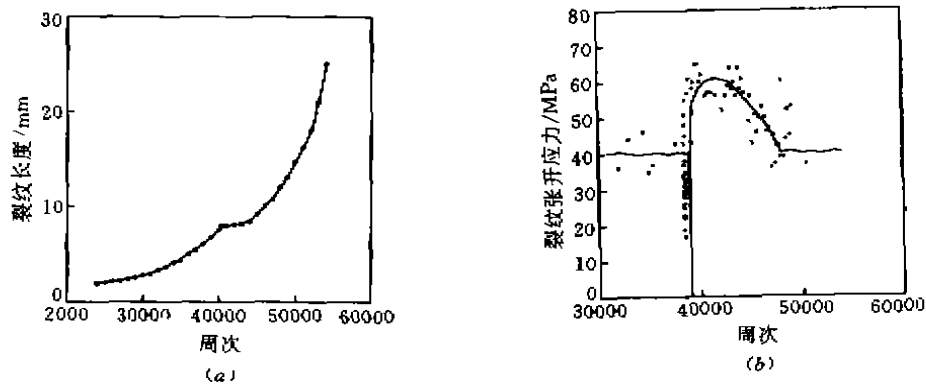


图 4 超载和负超载影响
(a) 超载和负超载影响下的裂纹生长曲线; (b) 超载和负超载影响下的裂纹张开应力

图 4 是在常幅载荷($S_{max} = 120\text{MPa}$, $S_{min} = 0$)的基础上先加正向超载(200MPa), 然后

紧接着又加负向超载(-80MPa)的情况。从图 4(a)可以看出, 虽然裂纹停滞现象仍有发生, 但由于负超载的作用, 裂纹停滞现象已大大削弱。从图 4(b)的裂纹张开应力测试结果来看, 由于正向超载后所加负向超载的作用, 超载后裂纹张开应力所达到的最大峰值, 以及裂纹张开应力恢复至正常的循环周次都大大减少。由此可知超载引起的裂纹扩展停滞及负超载对停滞的削弱均与裂纹张开应力的变化有关。

参 考 文 献

- 1 Elber W. The significance of fatigue crack closure. ASTM STP486, 1971; 230-242
- 2 Schijve J. Fatigue crack closure, observations and technical significance. Dept of Aerospace Engineering, Delft University of Technology. Report LR-485, 1986
- 3 Allison J E, Ku R C, Pompetzki M A. A comparison of measurement methods and numerical procedures for the experimental characterization of fatigue crack closure. ASTM STP 982, 1988; 171-185
- 4 Schijve J. Fatigue crack propagation in light alloy sheet material and structures. Advances in Aeronautical Sciences, pergamon press, 1961; (3); 387