第1期　　固体力学学报　　№. 1
1982年2月　　ACTA MECHANICA SOLIDA SINICA　　February 1982

平均应力对疲劳曲线的影响*

曾春华　　伍义生

（中国科学院力学研究所）

本文通过试验和计算以及用有效应力参数法研究了平均应力对疲劳曲线的影响，用计算机算出国产LY12CZ材料的有效应力参数公式中的常数 m.

1. 有关疲劳曲线及其影响因素　表示应力振幅 S_a 或最大应力 S_{max} 与疲劳寿命 N 之间的关系曲线，是疲劳曲线（或称 S—N 曲线），它是进行疲劳设计和疲劳分析的最基本资料．疲劳曲线，目前主要是通过试验确定．由于影响疲劳曲线的因素很多，譬如平均应力（或应力比 R）、应力集中、加载形式、结构形式等，对疲劳曲线都有重大影响．所以，要估算构件或结构的疲劳寿命，就要试验出一系列的疲劳曲线．在现代工业中疲劳问题增多的情况下，既减少疲劳曲线的试验工作量，又能得到可靠的疲劳曲线，这是亟待解决的问题．

2. 用实验方法研究平均应力对疲劳曲线的影响　实验是确定平均应力对疲劳曲线影响的重要手段，能比较直观地得到结果．本试验选用国产LY12CZ铝合金板材，加工出两种类型的试件：一种是光滑试件；另一种是带中心孔的缺口试件（应力集中系数 $K_t=2.5$）．两种试件的形状和尺寸见图1．

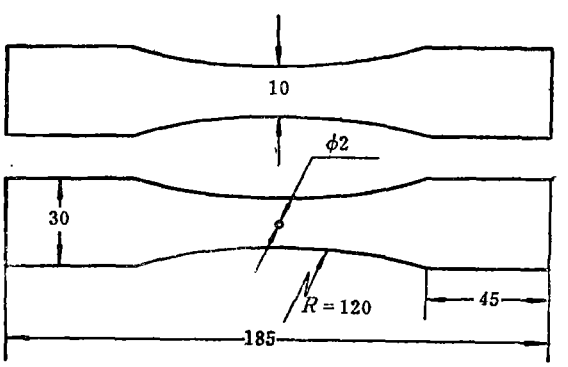

图1　LY12CZ光滑、缺口板试件，厚度＝1.2（单位：毫米）

全部试验在瑞士制Amsler高频疲劳试验机上进行．采用0.4吨示力计．

用常规疲劳试验法进行试验，即对每一种试件选5—6个应力水平，每个应力水平

* 1980年5月27日收到．

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

试验6—10个试件，将所得到的寿命取对数平均值，人为规定试件循环到10^7周仍未断则为疲劳极限．以最大应力S_{max}为纵坐标，以对数平均寿命N为横坐标，用逐点描迹法将试验数据点连成光滑曲线，就得到平均应力下的疲劳曲线．然后将各种平均应力下得出的疲劳曲线进行比较，去分析平均应力对疲劳曲线的影响．

根据对飞机实际受载情况的分析，对光滑试件选三种平均应力（$S_m=7$、9、11.5kg/mm²）；对中心孔试件选四种平均应力（$S_m=7, 9, 10.5, 11.5$kg/mm²）进行试验，试验结果见表1和表2．各种平均应力下光滑和缺口试件的疲劳曲线见图2和图3．

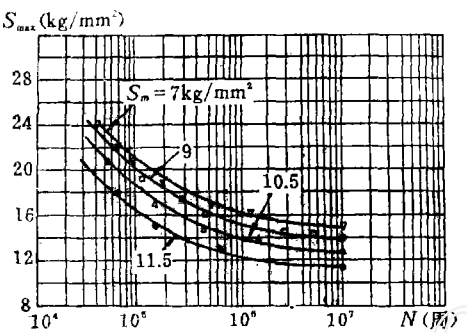

图2 LY12CZ缺口试件各种平均应力下的S-N曲线

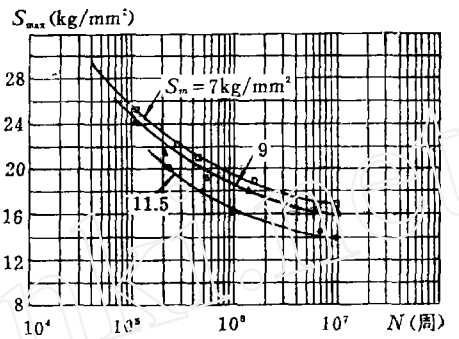

图3 LY12CZ光滑试件各种平均应力下的S-N曲线

2、用有效应力参数法研究平均应力对疲劳曲线的影响 由于构件或结构在实际工作中所受的载荷都是变应力幅值载荷或随机载荷，也就是说，不仅应力幅值在不断地变化，而且平均应力也在不断变化．不少研究者认为精确地确定平均应力对疲劳曲线的影响，对疲劳设计和疲劳寿命的估算都是十分必要的[4~6]．

过去国外处理平均应力对疲劳曲线影响的传统方法是绘制S_m—S_a图[2]，S_m—S_a图就是在循环应力下交变应力振幅S_a相对于平均应力S_m作的图，即在等寿命之下绘出交变应力振幅与平均应力之间的关系曲线．这种方法实际上是一种作图法，其优点是直观，然而不大准确，用起来也较麻烦．

文献[1]提出，可以用有效应力参数$\overline{S}=S_{max}^{1-m}\Delta S^m=S_{max}(1-R)^m$来考虑平均应力对疲劳曲线的影响，公式中$\overline{S}$为有效应力参数，$S_{max}$为循环应力最大值，$R=\frac{S_{min}}{S_{max}}$为循环特征（即表示平均应力），$m$是一个材料常数，$\Delta S=S_{max}-S_{min}$．继后Smith等人进一步提出可用$\overline{S}=\sqrt{S_a(S_a+S_m)}$来估算平均应力的影响[3]．从此，人们开始用数学分析方法来考虑平均应力对疲劳曲线的影响，这种方法能准确、方便和节省材料与时间．

我们用Basic语言编了计算程序，在日本制诺瓦计算机上对LY12CZ光滑和带中心孔试件在不同平均应力下的疲劳曲线，用有效应力参数法进行了处理．选用不同的材料常数m，用最小二乘法求出最佳曲线，并求出试验数据与最佳曲线的方差．从而发现，无论是光滑试件还是带中心孔试件，当$m=0.5$时，所有不同平均应力下的疲劳曲线试验数据都几乎落在一条曲线上，见图4～7；计算结果见表3和表4．证明m是一个与试件几何形状无关的材料常数．有了这些曲线，就能求出在任何平均应力下材料的

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

寿命.

表 1　LY12CZ 光滑试件在各种平均应力下的实验数据

平均应力 S_m(kg/mm²)	7	7	7	7	7	
最大应力 S_{max}(kg/mm²)	20	18	16	15	14	
对数平均寿命 N(周)	2.592×10^5	5.148×10^5	1.008×10^6	7.577×10^6	10^7 1) →	
平均应力 S_m(kg/mm²)	9	9	9	9	9	9
最大应力 S_{max}(kg/mm²)	24	21	19	18	17	16
对数平均寿命 N(周)	1.125×10^5	2.045×10^5	5.45×10^5	1.544×10^6	6.733×10^6	10^7 →
平均应力 S_m(kg/mm²)	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	
最大应力 S_{max}(kg/mm²)	25	23	21	19	17	
对数平均寿命 N(周)	1.128×10^5	2.70×10^5	4.284×10^5	1.718×10^6	10^7 →	

表 2　LY12CZ 带中心孔试件在各种平均应力下的实验数据

平均应力 S_m(kg/mm²)	7	7	7	7	7		
最大应力 S_{max}(kg/mm²)	18	15	13	12	11		
对数平均寿命 N(周)	5.855×10^4	1.435×10^5	6.326×10^5	$\simeq10^7$	10^7 →		
S_m(kg/mm²)	9	9	9	9	9	9	9
S_{max}(kg/mm²)	21	19	17	15	14	13	12
N(周)	5.027×10^4	9.128×10^4	1.537×10^5	4.504×10^5	1.639×10^6	$\simeq10^7$	10^7 →
S_m(kg/mm²)	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5
S_{max}(kg/mm²)	22	19.5	17.5	16	15	14.5	14
N(周)	6.738×10^4	1.059×10^5	2.298×10^5	4.295×10^5	2.171×10^6	5.049×10^6	10^7 →
S_m(kg/mm²)	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	
S_{max}(kg/mm²)	24	21	19	17	16	15	
N(周)	3.684×10^4	8.592×10^4	1.669×10^5	5.302×10^5	1.264×10^6	10^7 →	

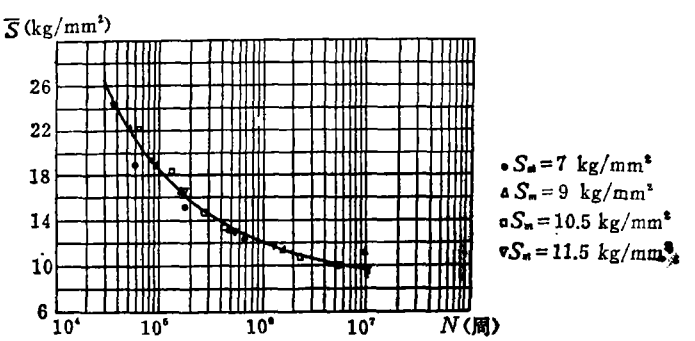

图 4　LY12CZ 缺口试件在 m = 0.5 时各平均应力下的 S——N曲线

1)　10^7 表示试件试验到此数值仍未破坏就停止试验.

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

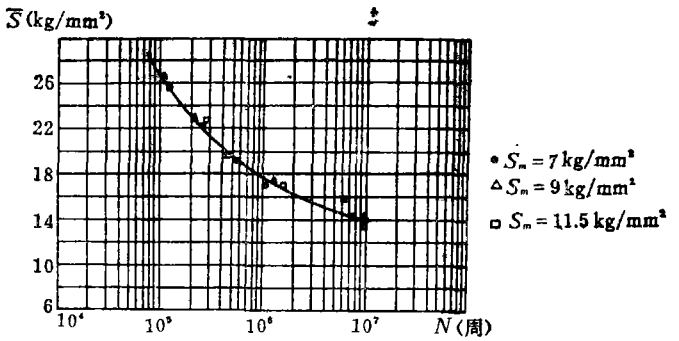

图 5 LY12CZ 光滑试件在m = 0.5时，各种平均应力下的S——N 曲线

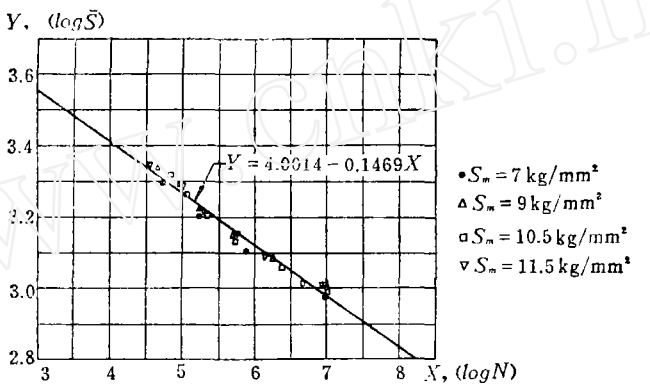

图 6 LY12CZ 缺口试件在 $m = 0.5$ 时，各种平均应力下的 $\log\bar{S}$—$\log N$ 曲线

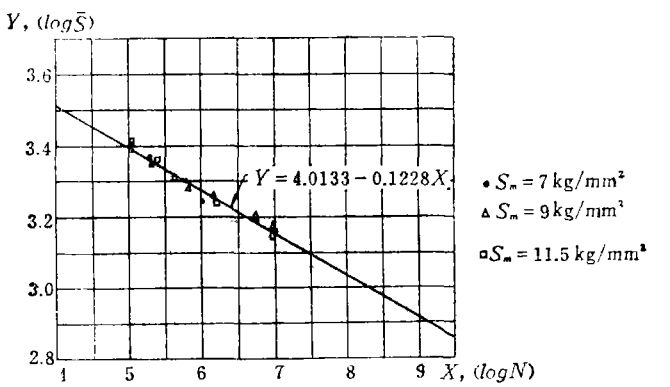

图 7 LY12CZ 光滑试件在 $m = 0.5$ 时，各种平均应力下的 $\log\bar{S}$—$\log N$ 曲线

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 3　LY12CZ 带中心孔试件在 $m=0.5$ 时各平均应力下疲劳曲线计算数据

N	58600	144000	633000	1E+7	1E+7		
	50300	91300	154000	450000	1.64E+6	1E+7	1E+7
	67400	106000	230000	430000	2.17E+6	5.05E+6	1E+7
	36800	85900	167000	530000	1.26E+6	1E+7	
$\overline{S}$	1989.98	1549.19	1249	1095.44	938.083		
	2245	1945.06	1649.24	1341.64	1183.21	1019.8	848.59
	2249.44	1873.5	1565.25	1326.65	1161.9	1077.03	989.85
	2449.49	1997.49	1688.19	1367.48	1200	1024.69	
X, $(logN)$	4.76789	5.15836	5.8014	7	7		
	4.70157	4.96047	5.18752	5.65321	6.21484	7	7
	4.82866	5.0253	5.36172	5.63347	6.33646	6.70329	7
	4.56585	4.93399	5.22272	5.72427	6.10037	7	
Y, $(log\overline{S})$	3.29885	3.1901	3.09656	3.0959	2.97224		
	3.35121	3.28989	3.21728	3.12764	3.07306	3.00851	2.92867
	3.35207	3.27265	3.19458	3.12275	3.06517	3.03220	2.99561
	3.38908	3.36049	3.22742	3.13592	3.07918	3.01059	
	$Y=A+BX$ 公式中 $A=4.00148$　$B=-0.146901$						
	方差 $W=1.7378E-2$						

表 4　LY12CZ 光滑试件在 $m=0.5$ 时各平均应力下疲劳曲线计算数据

N	959200	514800	1.008E+6	7.577E+6	1E+7	
	112500	204500	545000	1.544E+6	6.733E+6	1E+7
	112800	270400	428400	1.718E+6	1E+7	
$\overline{S}$	2280.35	1989.98	1697.06	1519.19	1400	
	3683.28	2245	1949.36	1800	1649.24	1496.36
	2598.08	2300	1997.49	1688.19	1367.48	
X, $(logN)$	5.41363	5.71164	6.00346	6.87949	7	
	5.05115	5.31069	5.73689	6.18865	6.82821	7
	5.05231	5.43201	5.63185	6.23502	7	
Y, $(log\overline{S})$	3.358	3.29885	3.2297	3.1901	3.14613	
	3.42866	3.35121	3.28989	3.25527	3.21728	3.17512
	3.41465	3.36173	3.33049	3.22742	3.13592	
	$Y=A+BX$ 中的 $A=4.0133$　$B=-0.122787$					
	方差 $W=4.7822E-3$					

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

4. 结论 1）实验表明平均应力是影响疲劳曲线的一个重要因素，无论是光滑试件还是带中心孔的试件，疲劳曲线都随平均应力的增加而降低.

2）用有效应力参数法处理平均应力对疲劳曲线的影响是行之有效的，这种方法与传统的 S_a—S_m 图比更便于分析和计算，在作疲劳寿命估算时，通过计算机能迅速给出结果.

3）计算表明 m 是一个与试件几何形状无关的材料常数，对于 LY12CZ 铝合金，$m=0.5$.

4）本文结果是根据 LY12CZ 材料的试验引出的，对其它材料是否适合尚需进一步研究.

参 考 文 献

〔1〕 Walker K., The Effect of Stress Ratio during Crack Propagation and Fatigue for 2024—T3 and 7075—T6 Aluminium. ASTM STP 462, (1970), 1—14.

〔2〕 Forrest P.G., Fatigue of Metals, (1962), 93—59.

〔3〕 Dowling N.E. Brose W. R. and Wilson W. K., Notched Member Fatigue Life Predictions by the Local Strain Approach. SAE, 6(1977), 67.

〔4〕 Herbert F. Hardrath and Eugence C. Naumann, Fatigue of Aircraft Structures. ASTM STP 274 (1959), 125.

〔5〕 Herbert F. Hardrath., Fatigue and Fracture Mechanics, Journal of Aircraft, March, (1971).

〔6〕 Darrell F. Socie, Fatigue-Life Prediction Using Local Stress-Strain Concepts. SESA XXXⅣ, 1 (1977), 50—56.

A STUDY OF EFFECT OF MEAN STRESS ON FATIGUE CURVE

Zeng Chun-hua Wu Yi-sheng

(Institute of Mechanics, Academia Sinica)

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net