

某超硬不锈钢的接触疲劳 $P-S-N$ 曲线的测定

张娟娟, 高元安, 叶健熠, 张宗亮

(洛阳轴承研究所, 洛阳 471039)

摘要:测定某超硬不锈钢的接触疲劳 $P-S-N$ 曲线, 估计出试验应力 S 与试样寿命 N 之间函数关系式 $N = CS^{-m}$ 中的待定参数 C 和 m , 得出不同破坏概率(1%, 5%, 10%, 50%)下试验应力 S 与寿命 N 的关系, 为材料的使用和产品设计提供试验依据。

关键词:接触疲劳; $P-S-N$ 曲线; 应力; 寿命

中图分类号: TG142.71, TG113.25⁺⁵ **文献标识码:** A

Determination of Contact Fatigue $P-S-N$ Curve of a Super-hard Stainless Steel

Zhang Juanjuan, Gao Yuanan, Ye Jianyi, Zhang Zhongliang

(Luoyang Bearing Research Institute, Luoyang 471039, China)

Abstract: The contact fatigue $P-S-N$ curve of a kind of super-hard stainless steel is determined, and the parameter C and m in the formula of $N = CS^{-m}$ is estimated. The relationship between test stress S and life span N under different failure probabilities (1%, 5%, 10%, 50%) is obtained, which provide basis for the application of the material and the relative product design.

Keywords: Contact fatigue; $P-S-N$ curve; Stress; Life

材料的接触疲劳寿命反映了材料在循环接触应力作用下直至疲劳失效时所经受的应力循环次数^[1]。而材料的接触疲劳 $P-S-N$ 曲线最直接、最全面地表征了材料在不同破坏概率、不同应力下的接触疲劳寿命。本文通过模拟推力球轴承的工作条件进行接触疲劳试验, 采用韦布尔分布函数统计试验数据, 得出某超硬不锈钢的接触疲劳 $P-S-N$ 曲线, 为该材料的使用和产品设计提供依据。

1 试验原理

采用与推力球轴承相似的推力式接触方式, 只是将推力球轴承的活圈用该超硬不锈钢制成的环形平面试样代替进行接触疲劳试验^[2]。试验中推力球轴承(D8206)的紧圈固定在下端, 环形试样固定在支承台具内, 将推力球轴承(D8206)的钢球保持架放置在紧圈与环形试样之间, 施加试验力。当主轴转动时, 通过摩擦力驱动

保持架中的钢球进行自转和公转, 在环形试样上形成一条应力循环带, 直到循环带上出现疲劳剥落坑为止。试验原理图见图1。

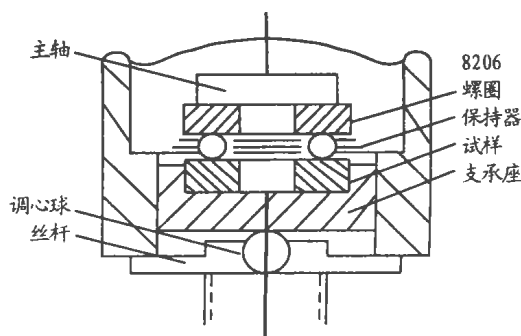


图1 推力片试验原理图

2 试验条件

试验机型号为 TLP 接触疲劳试验机组, 主轴转速为 2040r/min, 用 20[#] 机械油循环润滑。试验温度为室温。试样尺寸为 $\phi 52\text{mm} \times 7.5\text{mm}$, 表面粗糙度 R_a 为 0.2, 硬度为 HRC63~66, 每种试验应力下的试样数量 ≥ 12 个, 试验方式为完全失

效试验。

3 试验方法

3.1 试验应力的选择与计算方法

试验应力选择 4~5 级应力水平^[1],同时参照国家数据库 CAD 材料性能测试研究报告中试验应力的选择方法确定试验应力为 5 级,即 3626、3920、4214、4508、4704MPa。

从试验原理图中可以看出,本试验为点接触方式,其最大接触应力 δ_{\max} 按下列公式计算^[1,2]:

$$\delta_{\max}=1154.567 P^{1/3}$$

式中: P —接触点所受法向载荷,N。

3.2 试验载荷的确定

根据上面公式计算出不同接触应力下的法向载荷,求得各应力状态下的总载荷,用测力计测定出每台试验机的真实杠杆比,在各台试验机上施加相应的砝码,并进行校对。

3.3 试样的安装与开机

试验前要对试样表面的粗糙度、硬度等进行检验,把合格的试样用 120[#]汽油清洗后安装在试验头中,安装过程中严禁用手锤敲击试样表面。用 D8206 紧固,钢球保持架作为陪试件,使其与试样接触良好,施加 98N 左右的预载荷,把一级

杠杆调到水平,启动油泵电机供油,再开主机。然后缓慢施加主载荷,做好各种记录,试验过程中无特殊情况不允许中途停机,更不允许带主载荷停机,直到试样表面单坑疲劳剥落面积 $\geq 0.5\text{mm}^2$ 后停机。

3.4 交叉试验

为了消除试验机之间的系统误差,每台试验机在各种应力状态下试验的数量基本相同,并按一定的顺序循环进行。

3.5 疲劳失效的判别

试样表面的接触带经过多次应力循环后会出现疲劳剥落坑,伴随着较大的噪音和振动,依靠自动停车仪或试验人员经常(10min 左右一次)不断地监听和触摸,判别其失效与否,当单个疲劳剥落坑的面积 $\geq 0.5\text{mm}^2$ 时,判定试样疲劳失效。

3.6 数据的处理方法

滚动接触疲劳试验数据服从韦布尔分布函数,其 $P-N$ 曲线和 $P-S-N$ 曲线的参数估计分别用最佳线性不变法和最小二乘法进行估计^[1]。

4 试验结果及数据处理

4.1 试验结果

各接触疲劳应力下的试验寿命见表 1。

表 1 各接触疲劳应力下的试验寿命 $\times 10^7$ 次

序号	应力/MPa				
	3626	3920	4214	4508	4704
1	2.7831	1.2390	0.7482	0.2831	0.1913
2	4.3880	2.0426	0.9899	0.7069	0.3672
3	4.8501	2.4633	1.5683	0.8507	0.6120
4	5.1332	3.0386	2.5949	1.2332	0.6610
5	6.1430	3.5354	2.7096	1.4566	0.8262
6	8.5420	3.8633	2.7770	1.9599	0.9257
7	10.0337	4.6665	3.6644	2.6163	1.0572
8	10.0521	5.6993	3.7516	2.7479	1.4535
9	11.4336	6.9646	4.2534	3.3629	1.5713
10	13.5252	9.1066	4.2687	3.3905	1.9477
11	16.8147	10.4193	5.5310	3.7179	2.9820
12	21.5301	10.4499	8.8618	4.6206	3.1595

4.2 数据处理

(1) $P-N$ 曲线的参数估计

滚动接触疲劳寿命服从两参数韦布尔函数,其表达式如下^[1]:

$$P(N)_s=1-\exp[-(N/V_s)^b] \tag{1}$$

其对数形式为:

$$\lg\lg[1/(1-P(N)_s)]=b(\lg N-\lg V_s)-0.36222 \tag{2}$$

式中: $P(N)_s$ —表示在某一试验应力水平 S 下, 试样寿命小于 N 的概率, %; b —韦布尔分布的斜率参数; N —试样寿命, 应力循环次数; V_s —韦布尔分布的特征寿命, 即失效概率为 63.2% 时的疲劳寿命。

对韦布尔分布函数的两个参数 b 和 V_s , 采用最佳线性不变估计方法进行数据处理, 其表达式为^[1]:

$$b = \frac{1}{2.3026 \sum_{i=1}^n C_i(n, r, i) \lg N_i}$$

(3)

$$\lg V_s = \sum_{i=1}^n D_i(n, r, i) \lg N_i$$

(4)

式中, C_i 和 D_i 为最佳线性不变估计系数^[1], 其值可查表。

不同破坏概率 $P=0.01, 0.05, 0.10, 0.50$ 下其相应的疲劳寿命 L_1, L_5, L_{10}, L_{50} 用下列公式计算:

$$L_1 = V_s(0.01005)^{1/b}$$

(5)

$$L_5 = V_s(0.05129)^{1/b}$$

(6)

$$L_{10} = V_s(0.10536)^{1/b}$$

(7)

$$L_{50} = V_s(0.69315)^{1/b}$$

(8)

不同应力水平下接触疲劳寿命 $P-N$ 曲线参数估计结果见表 2, $P-N$ 曲线见图 2。

表 2 $P-N$ 曲线参数估计结果

应力/MPa	b	$V_s \times 10^7$	$L_1 \times 10^7$	$L_5 \times 10^7$	$L_{10} \times 10^7$	$L_{50} \times 10^7$
3626	1.8604	11.2538	0.9494	2.2799	3.3571	9.2415
3920	1.8028	6.1716	0.4811	1.1881	1.7713	5.0363
4214	1.6978	4.0542	0.2699	0.7049	1.0771	3.2670
4508	1.6905	2.5996	0.1710	0.4486	0.6867	2.0929
4704	1.4564	1.5188	0.0645	0.1976	0.3239	1.1809

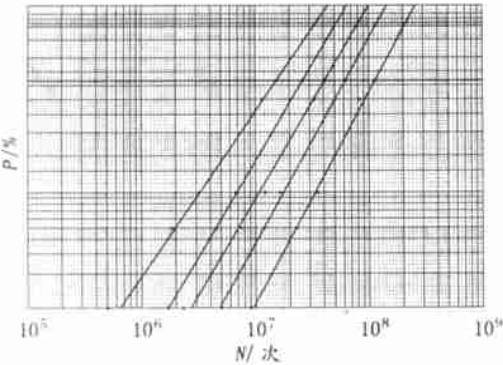


图 2 超硬不锈钢 $P-N$ 曲线

(2) $P-S-N$ 曲线的参数估计

接触疲劳寿命试验中试验应力与试样寿命 N 之间有如下函数关系^[1]:

$$N = CS^{-m}$$

(9)

式中: N —试样寿命, 次; S —试验应力, MPa; C, m —试验待定参数。

根据上面 b 和 C 的有关公式计算求得各试验应力下的等概率寿命, 得到 n 组数据对 (X_i, Y_i) 。用最小二乘法确定参数 C 和 m 。其公式如下^[1]:

$$-\frac{1}{m} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{\sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n X_i)^2}$$

(10)

$$\frac{1}{m} \lg C = \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n Y_i + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n X_i)$$

(11)

式中: $X_i = \ln N_i, Y_i = \ln S_i, n$ 为数据对的数目。

用(10, 11)式分别求出各种失效概率相应的参数 C 和 m , 即可确定各种等概率试验应力与试样寿命的关系式 $N = CS^{-m}$, 绘出各失效概率下的 $P-S-N$ 曲线, 见图 3, 计算结果见表 3。

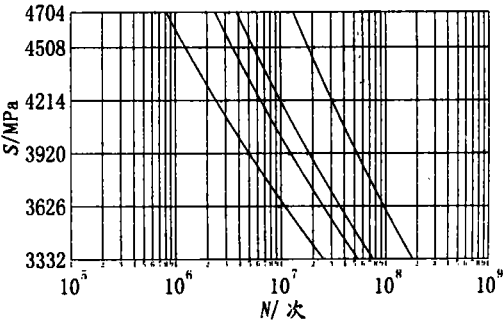


图 3 超硬不锈钢 $P-S-N$ 曲线

表 3 P-S-N 曲线参数估计结果

破坏概率	估计参数	
	<i>m</i>	<i>C</i>
0.01	2.7535×10^{42}	9.9463
0.05	3.2826×10^{39}	9.0231
0.10	1.7845×10^{38}	8.6227
0.50	1.0394×10^{35}	7.5956

可见,给定条件疲劳极限,就可由表 3 中各式求出破坏概率分别为 0.01、0.05、0.10 和 0.50 时的接触应力。如给定条件疲劳极限为 5×10^7 次,则破坏概率为 0.01、0.05、0.10 和 0.50 时的接触应力分别为 3111、3359、3494 和 3950MPa。同样,给定接触应力,也可求出不同破坏概率时的对

应疲劳寿命。

5 结 论

测出了该超硬不锈钢的接触疲劳 P-S-N 曲线,得出了试验应力 S 与试样寿命 N 之间函数关系式: $N = CS^{-m}$ 。由此,既可以知道某应力下该材料的疲劳寿命,也可以明确该材料在使用中要达到某种寿命所能承受的最大应力,为该材料在实际应用中的设计选材提供依据。

参考文献

[1] GB 10622-89 金属材料滚动接触疲劳试验方法
[2] 李训教,张宗亮,等.TLP 接触疲劳试验机组及其试验方法的研究[J],轴承.1982(2)

(上接 27 页)

(2)焊接顺序:链环对称的两个接头同时进行焊接。先用氩弧焊打底,清根后双面进行焊条电弧焊接。要双面对称焊接以防焊接变形。

(3)接头检验:每层焊缝经着色检验合格后才进行下一层焊缝的焊接。焊至 35mm 厚度时进行 X 射线拍片检查,JB4730-94《压力容器无损检测》Ⅱ级合格后再进行余焊缝焊接直至焊满(每层同样要进行着色检验)。

3.2 拉力试验

吊杆经焊接并检验合格后,进行 5388kN 的拉力试验。拉力试验后接头无任何残留塑性变

形,鉴定为合格产品。

4 结 论

(1)选择 M831A 焊条焊接 0Cr16Ni5Mo 钢吊杆,焊后进行 950℃/2h 油淬+500℃/10h 回火,既能使焊接接头强度满足技术指标要求,又可以防止焊接过程焊缝开裂。

(2)选用双 U 型坡口,既降低了焊接工作量,又减少了焊接变形。最终产品链环平直度。无焊接变形。

日本开发出新型防锈涂料

新华社信息北京 9 月 10 日电。据海外媒体报道,日本东京大学藤岛昭和立间彻两位教授利用光催化剂二氧化钛的还原能力,开发出了在夜间能够发挥作用的防锈涂料。

据两位科学家介绍说,金属生锈是由于金属被溶解于水的氧夺取电子,成为离子,并与空气中的氧结合的结果。而二氧化钛有在紫外线照射下夺取电子的功能。将它混合在涂料里,能够从金属表面的水分子中夺取电子供应给金属,从而可以防止金属失去电子。

他们说,把二氧化钛粉末与能储藏电子的氧化钨或杂酸混合在一起,添加在涂料里,然后把涂抹了这种涂料的铁置于盐水里。结果发现,白天二氧化钛接受阳光照射而夺取的电子被氧化钨等吸收,到夜间又释放出来,供应给铁,从而防止了铁生锈。