

常用金属材料质量试验检测验收与 型号选用对照实用手册

(数据库)

◎ 主编 陈 路 ◎



CHANGYONG JINSHU
CAILIAO ZHILIANG SHIYAN
JIANCE YANSHOU YU
XINGHAO XUANYONG
DUIZHAO SHIYONG SHOUC

常用金属材料质量试验检测验收 与型号选用对照实用手册

主编 陈 路

二

卷

北京电子出版物出版中心

F6 数据要求

F6.1 原始的应变/位移-力数据影响着张开力。应用柔度偏离去, 数据质量受两方面因素影响: (1) 系统的线性, (2) 系统的干扰信号和可变性。这两点都影响张开力的结果。因此, 建议对每根试样的试验数据都要进行检查。

F6.2 为了检查每根试样的试验结果, 在试样产生裂纹前, 获得应变/位移-力数据, 在相同的加力速率下获得一个完整力循环的数据, 并采用试验程序中描述的方法分析这些数据。用力循环的加力部分的柔度值, 计算柔度偏离值和平均柔度偏离的标准偏差。对于一个完全线性和无干扰信号的测量系统, 柔度偏离值的平均值和标准偏差应为零。如果偏离值的平均值(以张开裂纹柔度的百分数表示)大于1%或标准偏差大于2%时, 用柔度偏离法确定的张开力值视为无效。此时, 应检查位移规的线性、试样的平直度、加力部分的同轴度、装夹结构和位移规的干扰信号。

F7 试验报告

试验报告除按照第9章的要求外, 还应将下列内容和张开力一起提出报告:

- a) 应变或位移的测量位置和所用的位移规;
- b) 用于定义张开力的柔度偏离基准值;
- c) 非开裂试样的柔度偏离的平均值和标准偏差;
- d) 非开裂试样和已开裂试样的力-柔度偏离的典型图;
- e) 试样厚度;
- f) 张开力测量前的疲劳加力史;
- g) 建议确定并报告1%、2%和4%柔度偏离基准的张开力。至少应该给出2%柔度偏离基准的张开力。

第六节 金属材料滚动接触疲劳试验方法

金属材料滚动接触疲劳试验是一种模拟轴承、齿轮、轧辊、轮箍等滚动接触零件工况的失效试验。它可为这些零件的设计、选材、制订冷、热加工工艺提供依据。

1 主题内容与适用范围

本标准规定了金属材料滚动接触疲劳试验方法的试验原理、术语定义、试验机、试样、试验方法、数据处理、试验结果数值的修约和试验报告。

本标准适用于测定金属材料滚动接触疲劳性能。

2 引用标准

GB 230 金属洛氏硬度试验方法

GB 443 机械油

GB 8170 数字修约规则

3 试验原理

将一恒载荷施加于滚动或滚动加滑动接触的试样，使其接触表面受到循环接触应力的作用，测定试样发生接触疲劳失效的应力循环次数。

4 术语定义

4.1 接触应力：接触物体之间集中于局部接触区的相互压力而产生的应力（亦称赫兹应力）。

4.2 接触疲劳：材料在循环接触应力作用下，产生局部永久性累积损伤，经一定循环次数后，接触表面发生麻点、浅层或深层剥落的过程。

4.3 接触疲劳寿命：试样接触表面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。

4.4 特征寿命：服从威布尔分布，失效概率为 63.2% 时的子样接触疲劳寿命。

4.5 额定寿命：服从威布尔分布，失效概率为 10% 时的子样接触疲劳寿命。

4.6 中值寿命：服从威布尔分布，失效概率为 50% 时的子样接触疲劳寿命。

4.7 斜率参数：服从威布尔分布， $\ln \ln \left[\frac{1}{1 - P(N)_s} \right]$ 对 $\ln \left(\frac{N}{V_s} \right)$ 或 $\lg \lg \left[\frac{1}{1 - P(N)_s} \right]$ 对 $\lg \left(\frac{N}{V_s} \right)$ 直线的斜率。它表示接触疲劳寿命的离散程度或试样接触疲劳寿命的稳定性。

4.8 滑差率：陪试件滚动速度与试样滚动速度之差与陪试件滚动速度之比的百分率。

4.9 N次循环的中值接触疲劳强度：母体的50%能经受N次循环的接触应力水平的估计值。

5 试验机

5.1 安装条件：试验机应安装在无冲击、无强裂振动、无腐蚀的干燥试验室内。试验机安装水平度应在0.5/1 000以内。

5.2 技术要求

5.2.1 试样、陪试件轴线在铅垂平面内，平行度应不大于0.02mm。

5.2.2 试样、陪试件轴线在水平平面内，平行度应不大于0.02mm。

5.2.3 主轴在安装试样和陪试件位置处的径向跳动量应不大于0.01mm，端面跳动量应不大于0.01mm。

5.2.4 静态载荷误差应不大于 $\pm 1\%$ 。

5.2.5 试验机迁移安装、更换主轴或轴承后应按照5.1条和5.2.1~5.2.4进行校验。不更换主轴或轴承，其载荷系统每年校验一次。特殊情况随时抽查，超差者应及时修复。

5.2.6 试验机应配备自动停机装置，试样发生疲劳失效时能及时自动报警停机，无误停和滞停现象，试样疲劳点的检测灵敏度可调。

5.2.7 计数器和计时器应准确可靠。

5.3 润滑

5.3.1 试验机的轴承、齿轮和试样，应采用符合GB 443规定的20号机油，如有特殊要求，可采用其他符合零件工况的润滑油进行循环润滑。

5.3.2 试验过程中试样润滑出口油温不应超过55℃。对油温有特殊要求且具备设备条件的，油温应予以控制，其偏差应在 $\pm 4^\circ\text{C}$ 以内。

5.3.3 润滑油应定期抽样进行粘度、机械杂质和水分检查，不符合技术要求者不应继续使用。应严防灰尘及金属杂质和水分进入润滑油及润滑系统。试验连续工作，每半年至少换油一次；间断工作，每年至少换油一次。

6 试样、陪试件

6.1 试样、陪试件形状与尺寸

6.1.1 推荐的试样和陪试件的形状和尺寸见表1和图1~图6。可根据试验目的和试验机类型进行选用。建议JP-1号和JP-2号试样用于点接触的试验；JP-3号和JP-4号试样用于线接触的试验。

表 1

试 样		陪 试 件		适用试验机 型 号
试 样 号	接触方式	陪试件号	形 状	
JP-1 (图 1) JP-2 (图 2) JP-3 (图 3)	点接触 点接触 线接触	PS-1 (图 5)	圆柱形	JPM-1
JP-4 (图 4)	线接触	PS-2 (图 6)	圆盘形	JP-BD1500

6.1.2 亦可根据试验目的和试验机类型另行设计试样和陪试件。

6.1.3 对比试验应采用形状、尺寸和表面粗糙度相同的试样和陪试件。

6.2 试样和陪试件的制备

6.2.1 选材

试验材料要进行检验,必须符合有关标准要求。不同工艺的对比试验,应采用同一炉号同一批次,同一规格的材料;不同材料的对比试验,应采用同一规格或接近相应规格的材料。陪试件的材料及技术条件要求应与试样材料的相同,特殊情况可根据试验目的确定。

6.2.2 机加工

机加工试样和陪试件的工序,一般先进行粗车,精车,然后毛坯热处理(根据不同材料及要求而定),而进行粗磨和精磨。

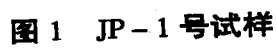
6.2.3 热处理

6.2.3.1 试样、陪试件按有关标准或协议要求进行热处理。

6.2.3.2 硬度大于等于40HRC情况,同一批试样、陪试件的硬度差应不大于2HRC,同一试样、陪试件本射的硬度差应不大于1.5HRC,组与组之间的试样、陪试件的硬度差可根据试验目的确定。低硬度(小于40HRC)情况,可根据试验要求确定硬度差的允许范围。

6.2.4 试样、陪试件的检验

6.2.4.1 尺寸精度



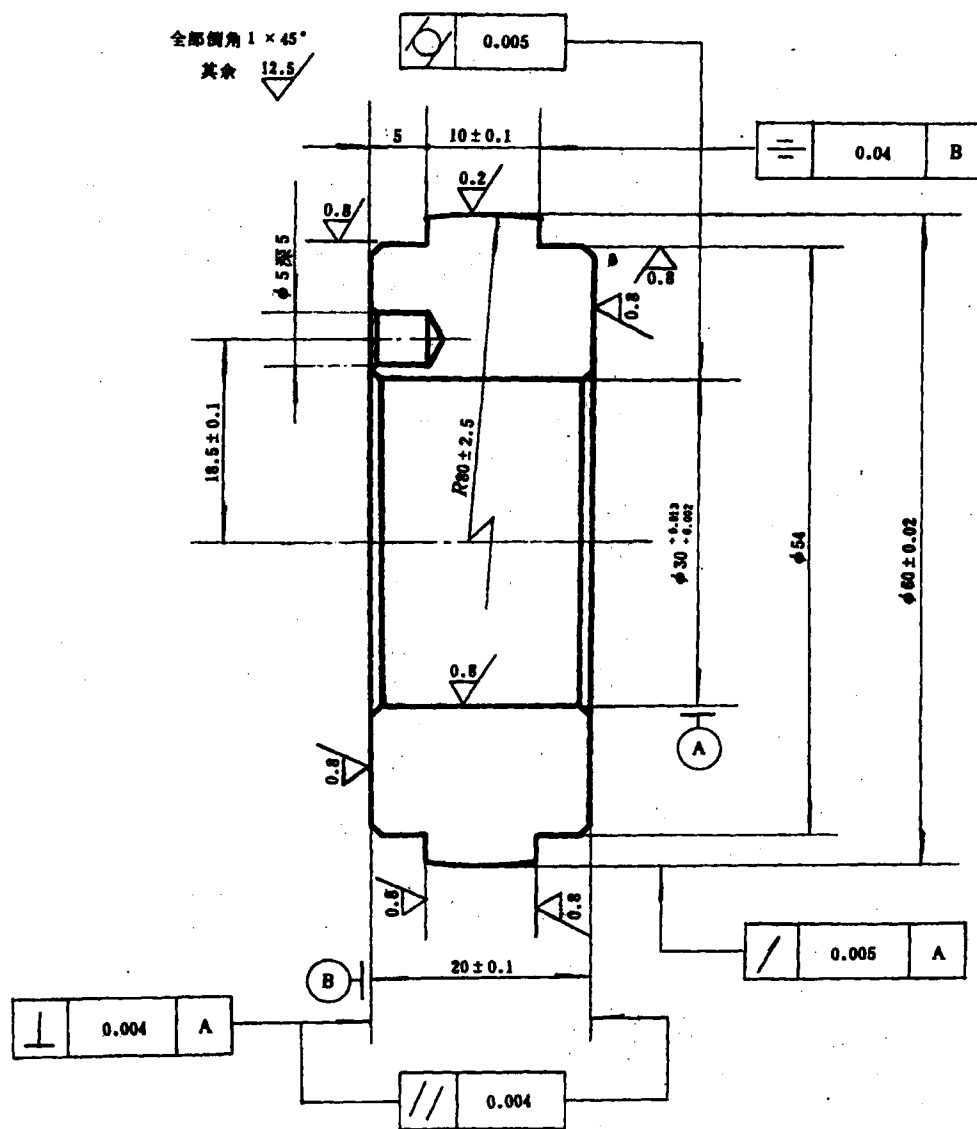
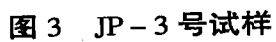


图2 JP-2号试样



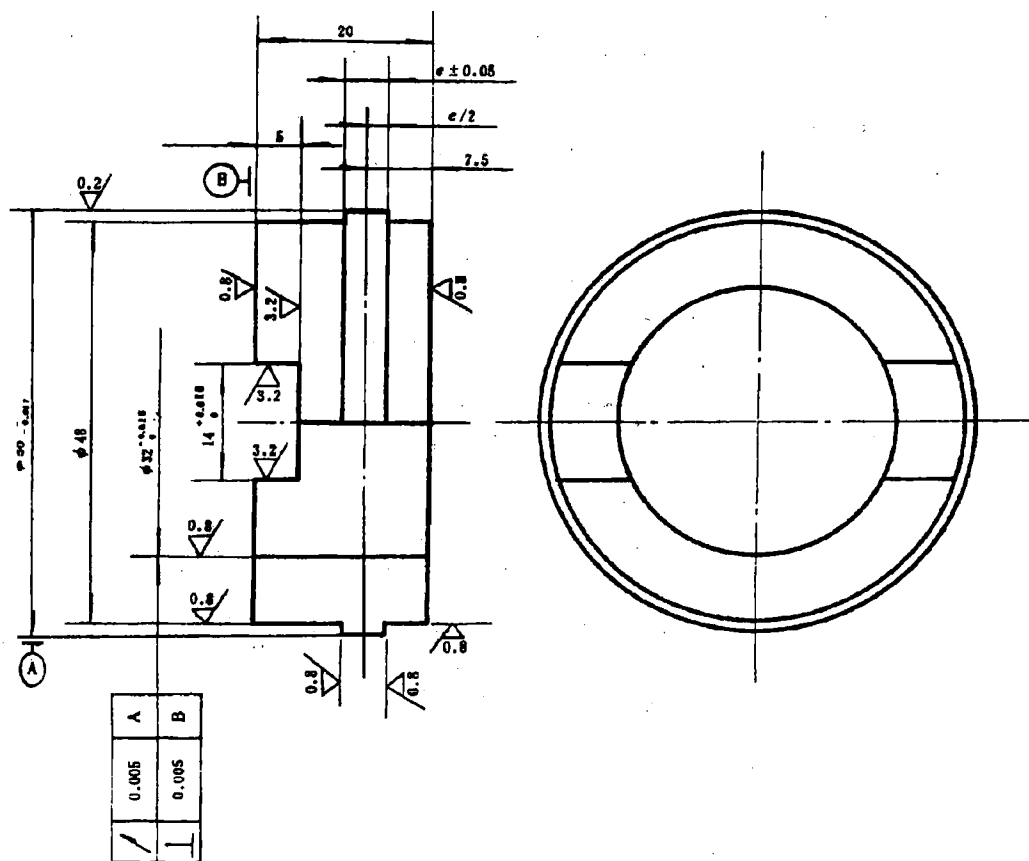


图4 JP-4号试样

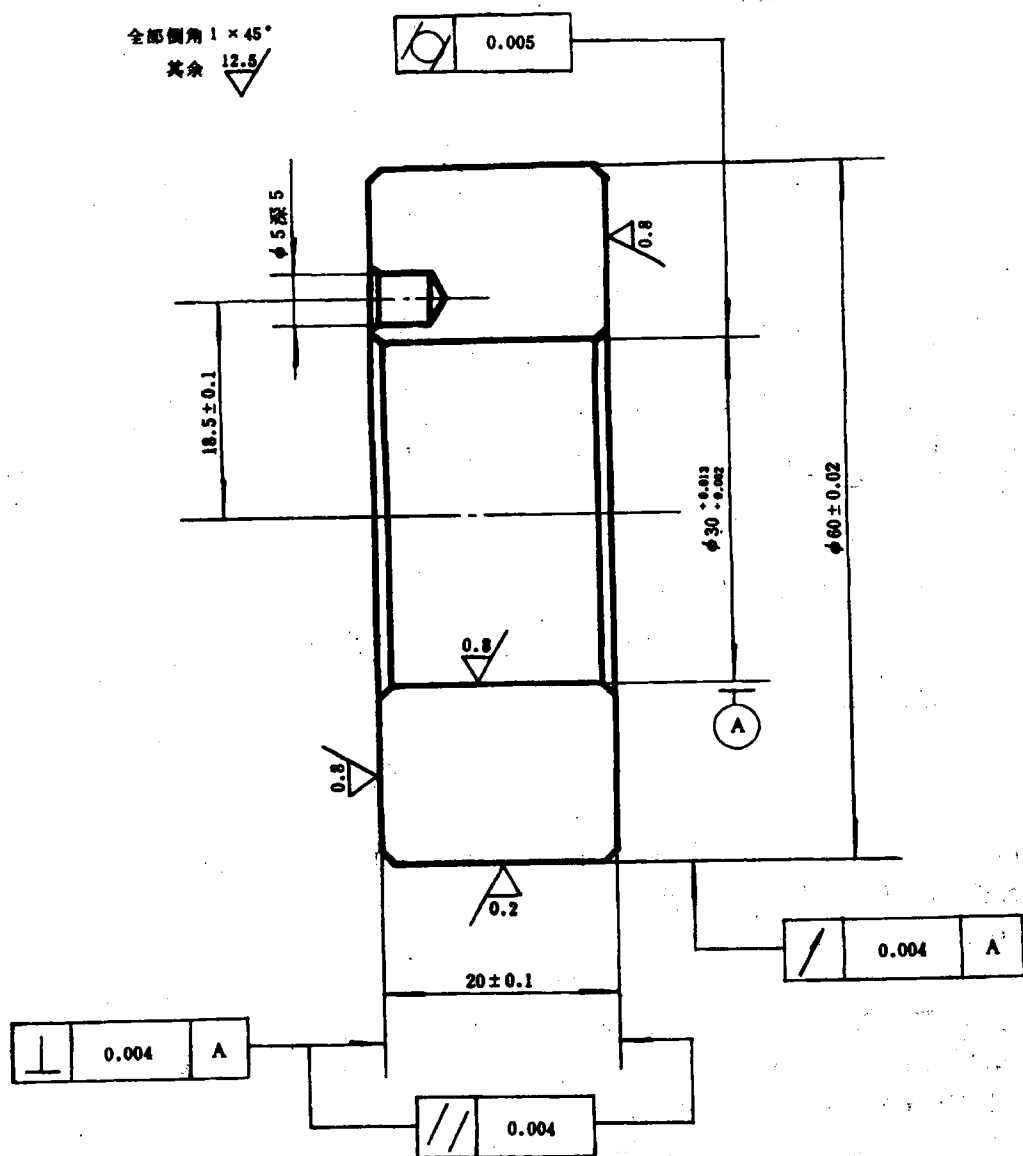


图 5 PS-1 号陪试件

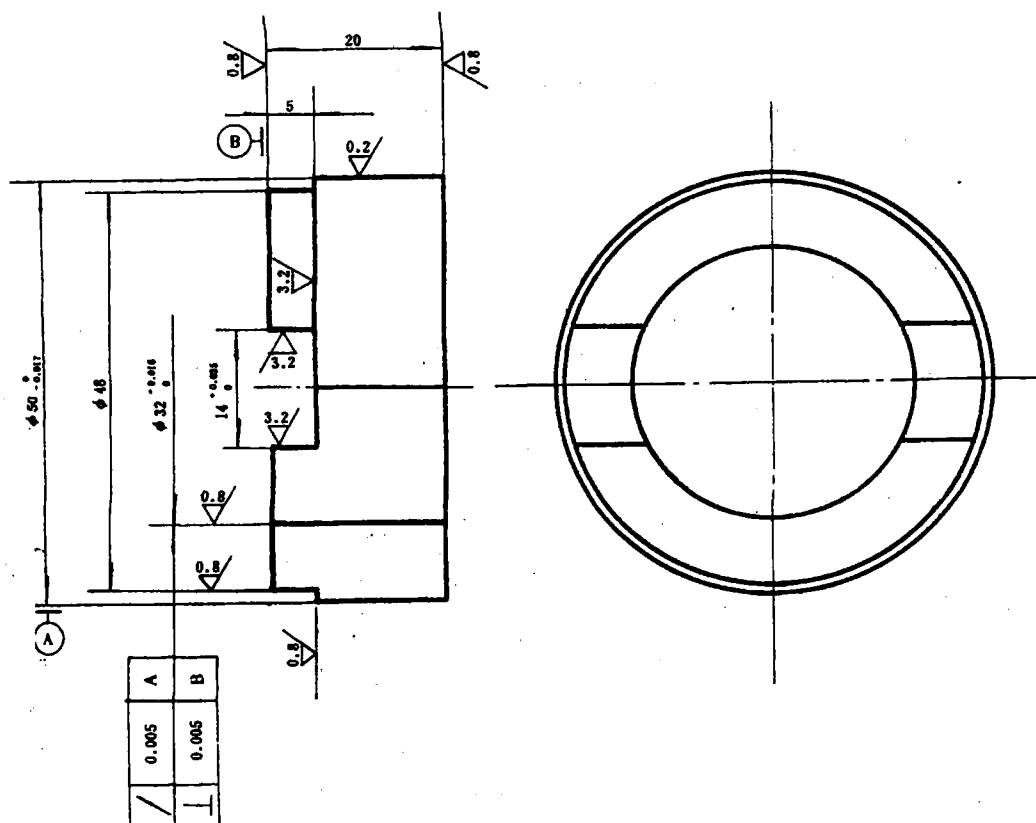


图 6 PS-2 号陪试件

试样的内直径、外直径、球面（或凸度）半径和陪试件的内直径、外直径均百分之百检查。形位公差抽检 20%。必须均符合技术条件要求。

6.2.4.2 表面粗糙度

将同一批机加工的试样和陪试件随机地抽检 30% 或按附录 B 的规定抽检。如发现不合格者，则该批试样和陪试件必须全部检查。

6.2.4.3 表面缺陷

用 5 倍放大镜对试样和陪试件的工作表面和定位面进行百分之百检查，不得有压痕、划伤、锈蚀、烧伤和裂纹等缺陷。

6.2.4.4 硬度

将尺寸精度和表面质量合格的试样和陪试件进行百分之百硬度检验。每个试样和陪试件均在非定位端面每隔 120° 角的方向上进行测试，其硬度应符合 6.2.3.1 和 6.2.3.2 规定的要求。硬度的测定方法按照 GB 230。

6.2.5 试样和陪试件应采取防锈措施，存放于无腐蚀介质的室温环境

中。

7 试验方法

7.1 参数的选择与计算

7.1.1 试验应力的选择

7.1.1.1 同一应力水平下的对比试验, 试验应力应选择偏于零件实际工作应力范围的上限。对于轴承钢、渗碳钢及其他高强度材料, 推荐: JP-1 号试样的接触应力选择 $5\,000\text{N/mm}^2$ 左右; JP-2 号试验的接触应力选择 3500N/mm^2 左右; JP-3 号和 JP-4 号试样的接触应力选择 $2\,500\text{N/mm}^2$ 左右。低强度钢和软表面试样的试验应力需根据材料实际强度调试确定。

7.1.1.2 测定 P-S-N 曲线的试验应力, 应在零件实际工作应力范围内选择 4~5 级应力水平。最低试验应力应选择实际工作应力的下限, 然后逐级上升确定各试验应力。相邻两级应力的级差根据接触方式确定。点接触应力级差宜比线接触的大, 点接触的应力级差选择 $250 \sim 400\text{N/mm}^2$; 线接触的应力级差选择 $180 \sim 300\text{N/mm}^2$ 为宜。

7.1.2 接触应力的计算

点接触和线接触最大应力分别按公式 (1) 和 (2) 计算:

$$\sigma_{\max} = \frac{1}{\pi \cdot \alpha \cdot \beta} \cdot \sqrt[3]{\frac{3}{2} \frac{F (\sum \rho)^2}{\left(\frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2}\right)^2}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\sigma_{\max} = \sqrt{\frac{F (\sum \rho)}{\pi \cdot L \left(\frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2}\right)}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中 $\sigma_{\max}$ ——最大接触应力, N/mm^2 ;

π ——常数, 取 3.1416;

α 、 β ——点接触变形系数;

F ——施加于试样上的载荷, N;

μ_1 ——试样的泊松比;

μ_2 ——陪试件的泊松比;

E_1 ——试样的弹性模量, N/mm^2 ;

E_2 ——陪试件的弹性模量, N/mm^2 ;

L ——试样接触长度, mm;

ρ ——试样与陪试件接触处的主曲率, mm^{-1} ;

$\sum \rho$ ——试样、陪试件主曲率之和, mm^{-1}

$$\sum \rho = \rho_{11} + \rho_{12} + \rho_{21} + \rho_{22}$$

$$= \frac{1}{R_{11}} + \frac{1}{R_{12}} + \frac{1}{R_{21}} + \frac{1}{R_{22}}$$

式中 R_{11} ——试样垂直于滚动方向的曲率半径, mm;

R_{12} ——试样沿滚动方向的曲率半径, mm;

R_{21} ——陪试件垂直于滚动方向的曲率半径, mm;

R_{22} ——陪试件沿滚动方向的曲率半径, mm。

如试样和陪试件均为钢时, 其泊松比和弹性模量分别取值为 0.3 和 $2.06 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$, 则点接触和线接触最大应力分别按公式 (3) 和 (4) 计算:

$$\sigma_{\max} = \frac{852.6}{\alpha \cdot \beta} \times \sqrt[3]{F (\sum \rho)^2} \dots\dots\dots (3)$$

$$\sigma_{\max} = 189.8 \sqrt{\frac{F (\sum \rho)}{L}} \dots\dots\dots (4)$$

公式 (1) 和 (3) 中的 α 、 β 值由辅助参数 $\cos \tau$ 决定:

$$\cos \tau = |(\rho_{11} - \rho_{12}) + (\rho_{21} - \rho_{22})| / \sum \rho$$

根据计算得 $\cos \tau$ 值从附录 A 中查得相应的 α 、 β 值。

7.1.3 试样接触应力循环次数按公式 (5) 计算:

$$N = n \cdot t \dots\dots\dots (5)$$

式中 N ——接触应力循环次数;

n ——试样转速, r/min ;

t ——试验时间, min 。

7.1.4 油膜参数的选择和计算

7.1.4.1 油膜参数的选择

对于材料因素的对比试验, 油膜参数推荐 $\lambda > 1.8$, 使试样工作表面处于部分弹流或接近弹流润滑状态。对于考核其他因素的试验, 油膜参数应根据试验目的确定。

7.1.4.2 油膜参数的计算

点接触和线接触的油膜参数分别按公式 (6) 和 (7) 计算:

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{h_0}{R_a} \\ &= \frac{1}{R_a} \times 2.04 \phi^{0.74} (\eta_0 B_v)^{0.74} R^{0.407} \left(\frac{E'}{F} \right)^{0.074} \dots\dots\dots (6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{h_0}{R_a} \\ &= \frac{1}{R_a} \times 2.65 \eta_0^{0.7} v^{0.7} B^{0.54} R^{0.43} q^{-0.13} E'^{-0.03} \dots\dots\dots (7) \end{aligned}$$

式中 λ ——油膜参数;

h_0 ——最小油膜厚度, μm ;

R_a ——试样表面综合粗糙度, μm ;

$$R_a = \sqrt{R_{a1}^2 + R_{a2}^2}$$

式中 R_{a1} ——试样表面粗糙度, μm ;

R_{a2} ——陪试件表面粗糙度, μm 。

ϕ ——漏泄修正系数

$$\phi = \left(1 + \frac{2}{3} \times \frac{R_y}{R_x}\right)^{-1}$$

$$\frac{1}{R_x} = \frac{1}{R_{1x}} + \frac{1}{R_{2x}}$$

$$\frac{1}{R_y} = \frac{1}{R_{1y}} + \frac{1}{R_{2y}}$$

式中 R_x ——试样和陪试件垂直于滚动方向的当量曲率半径, mm ;

R_y ——试样和陪试件沿滚动方向的当量曲率半径, mm ;

R_{1x} ——试样垂直于滚动方向的曲率半径, mm ;

R_{2x} ——陪试件垂直于滚动方向的曲率半径, mm ;

R_{1y} ——试样沿滚动方向的曲率半径, mm ;

R_{2y} ——陪试件沿滚动方向的曲率半径, mm 。

η_0 ——大气压下润滑油的粘度, $N \cdot s/mm^2$;

B ——压力系数, mm^2/N ; (按 GB 443 规定的 20 号油, 算得 $B = 0.0202 mm^2/N$)

v ——当量滚动速度, mm/s ;

$$v = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

式中 v_1 ——试样的滚动速度, mm/s ;

v_2 ——陪试件的滚动速度, mm/s 。

R ——试样与陪试件的综合曲率半径, mm ;

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_{1x}} + \frac{1}{R_{1y}} + \frac{1}{R_{2x}} + \frac{1}{R_{2y}}$$

F ——施加于试样上的径向载荷, N ;

E' ——试样和陪试件的综合当量弹性模量, N/mm^2 ;

$$\frac{1}{E'} = \frac{1}{2} \left(\frac{1 - \mu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \mu_2^2}{E_2} \right)$$

式中 E_1 ——试样弹性模量, N/mm^2 ;

E_2 ——陪试件弹性模量, N/mm^2 ;

μ_1 ——试样泊松比;

μ_2 ——陪试件泊松比。

q ——单位长度载荷, N/mm ;

$$q = \frac{F}{L}$$

式中 L ——试样接触长度, mm ;

F ——施加于试样的径向载荷, N 。

7.1.5 滑差率的选择

试样和陪试件的滑差率, 主要根据零件工作滑差范围进行选择。对于模拟滚动轴承的试验, 选用 5% 的滑差率为宜; 对于模拟齿轮等的试验, 选用 10% ~ 20% 左右的滑差率为宜。模拟其他零件的试验, 可根据零件实际工况确定恒滑差率或变滑差率。推荐 10% 的滑差率作为一般试验目的采用。

7.1.6 转速的选择

试验机主轴的转速, 应根据试验载荷和试样的滑差率来选择, 重载荷大滑差率可选择 $1\,500 \sim 2\,000 r/min$; 轻载荷小滑差率可选择 $2\,000 \sim 3\,000 r/min$ 。对于单因素的对比试验, 如滑差率为 5%, 转速可选择 $3\,000 r/min$; 如滑差率为 15% 左右, 转速可选择 $2\,000 r/min$ 。其他试验应根据具体情况确定。

7.2 子样容量的选择

7.2.1 筛选试验的子样数量不少于 6 个。定性比较试验的子样数量不少于 12 个。

7.2.2 为制订材料标准和改进设计等提供依据的高可靠性 (可靠度在 90% 以上) 试验, 一般子样数量不少于 16 个。

7.3 试验方案的选择

7.3.1 筛选试验和定性比较试验, 建议测定 $P-N$ 曲线。高可靠度试验, 一般需测定 $P-S-N$ 曲线。

7.3.2 测定 $P-N$ 曲线, 可以进行完全失效试验, 或定数截尾试验, 其截尾数量不大于子样数量的 20%。按 8.1 和 8.2 求得 $P-N$ 曲线。

7.3.3 测定 $P-S-N$ 曲线, 一般选取 4 ~ 5 级应力水平, 在每一应力水平下按 7.3.2 测定 $P-N$ 曲线。根据各应力水平下的 $P-N$ 曲线, 按 8.3 求得 $P-S-N$ 曲线。

7.4 N 次循环的中值接触疲劳强度的测定

第一个试样的应力水平应选择略高于预计的中值接触疲劳强度, 试验一般在 3 ~ 5 级等间距应力水平下进行, 应力增量一般约取预计的中值接触疲劳强度的 3% ~ 5% 左右。每级应力水平下一般试验两个以上的试样。试验顺序如图 7 或图 8 或图 9 所示。

用下列方法之一处理试验结果所得应力水平即为 N 次循环的中值接触疲劳强度 $\sigma_{R(N)}$:

a. 半数试样试验至指定循环数 N 而不失效的最高应力水平。但在比此

应力水平低一级的应力水平下, 试验至 N 次循环而不失效的试样必须超过半数, 见图 7 和图 8。

b. 如果在某级应力水平下, 超过半数的试样试验未达 N 次循环已失效, 而在比此应力水平低一级的应力水平下, 试样试验至 N 次循环而全部不失效时, 则上述两级应力水平的平均值确定为 N 次循环的中值接触疲劳强度。见图 9。

指定循环数 N , 应根据材料和使用要求确定, 一般可取 $N = 10^7$ 次。

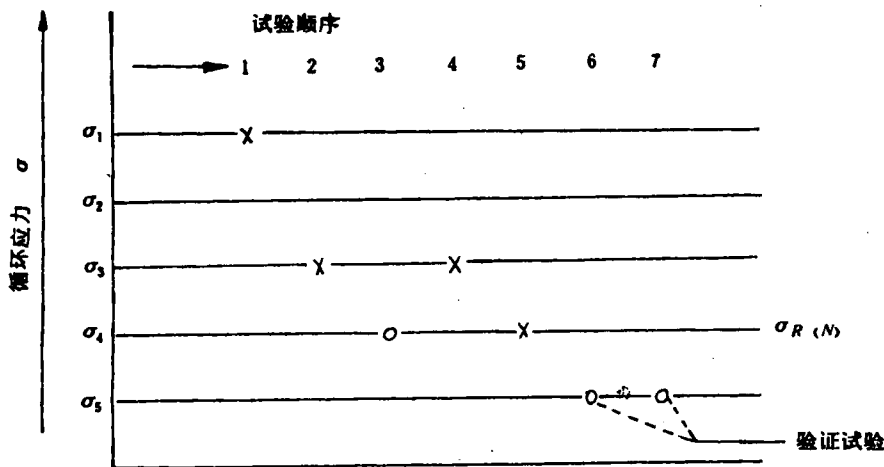


图 7 第一种情况的试验顺序

7.5 试样安装与加载

7.5.1 试样和陪试件在安装前, 用煤油将其清洗干净。试样装于上主轴, 陪试件装于下主轴。试样与陪试件接触后, 在摇摆头的压力下测试样径向跳动量, 应不大于 0.03mm 。

7.5.2 如试验机的载荷系统为砝码杠杆载荷系统, 须把加力一级杠杆调到水平。试样加预载荷后开机, 然后施加主载荷。不允许带主载荷开机、停机 (自动停机除外)。试验过程中应保持载荷恒定。无特殊情况不得中途停试。

7.6 交叉试验

7.6.1 台次交叉: 当一级试样在几台试验机上试验时, 每台试验机试验的试样数量应相近。

7.6.2 时间交叉: 几组试样在同一台试验机上试验时, 各组试样的试验次序要按顺序循环进行。

7.6.3 应填写试验原始记录表, 其格式可参照附录 E。