

25Cr2MoV 离子渗氮齿轮疲劳强度的试验⁺

谈嘉祯 傅德明

北京科技大学机械系, 北京 100083

摘要 本文对 25Cr2MoV 离子渗氮齿轮所进行的齿面接触疲劳和轮齿弯曲疲劳试验研究, 得出了这种齿轮疲劳寿命分布规律和疲劳强度分布规律的结论, 并求得这种齿轮的 $R-S-N$ 线簇方程以及各种可靠度下的齿轮接触疲劳极限应力值和轮齿弯曲疲劳极限应力值。

关键词 离子渗氮齿轮, 接触疲劳, 弯曲疲劳

中图分类号 TH132.413

Fatigue Strength of Ion-Nitrogen Case-Hardening

25Cr2MoV Steel Gears⁺

Tan Jiachen Fu Deming

Department of Mechanical Engineering, USTB, Beijing 100083, PRC

ABSTRACT Both tooth flank contact fatigue and tooth bending fatigue with ion-nitrogen case-hardening 25Cr2MoV steel gears were investigated. The conclusions of distributing rules both their fatigue lives and fatigue strength were obtained were investigated. The $R-S-N$ curve equations, both limiting stress of tooth flank contact fatigue and limiting stress value of tooth bending fatigue under various reliabilities were also evaluated.

KEY WORDS ion-nitrogen case-hardening gear, contact fatigue, bending fatigue

渗氮处理是强化齿轮表层的工艺之一, 它是在低于钢的相变温度下进行的, 因而齿轮变形量很小, 一般不需再磨齿。过去, 齿轮渗氮主要是液体和气体渗氮。近年来, 由于辉光离子渗氮工艺具有无污染、渗氮速度较快、表面白层组织可控、渗氮层均匀以及节省能量等优点而迅速地发展起来。但在 ISO/DP6336/2-80 和 GB3480-83 中, 辉光离子渗氮齿轮的疲劳极限应力值还是空白, 不能为设计者提供离子渗氮齿轮设计时所需的重要数据。受机电工业部委托, 作者对 25Cr2MoV 辉光离子渗氮齿轮的接触疲劳强度和弯曲疲劳强度进行了大量的试验研究。

1 试验方法、试验机和试验夹具

齿面接触疲劳试验采用负荷运转试验法, 试验机为 JG150 型机械封闭齿轮试验机。

轮齿弯曲疲劳试验采用轮齿脉动加载试验法, 试验机是英国产的 1603 型电磁谐振疲劳试验机, 试验用加载频率为 150Hz, 试验夹具是双齿加载夹具。

2 试验齿轮

2.1 试验齿轮材料

试验材料用 25Cr2MoV, 经检验, 其化学成分完全符合有关标准规定。

2.2 试验齿轮毛坯的热处理工艺和力学性能

调质处理: 920℃, 2h, 油淬; 560℃, 4h, 冷却到 400℃ 出炉。金相组织: 回火索氏体。力学性能: $\sigma_b=980$ MPa, $\sigma_s=926$ MPa, $\delta=10.4\%$, $\varphi=65.8\%$, $a_k=1.83$ J/mm²; 硬度 HRC 38~40。

2.3 渗氮工艺及质量检测

接触疲劳试验齿加轮经 600℃ 离子轰击回火 1.5h, 再经 530~570℃ 渗氮 20h (氮氢比 10/100~15/100), 缓冷出炉; 有效硬化层为 0.44mm, 表面硬度 HV_{0.05} 745。弯曲疲劳试验齿轮, 除渗氮时间为 44h 外, 其余同接触疲劳试验齿轮; 有效硬化层为 0.62mm, 表面硬度 HV_{0.05} 766。

2.4 试验齿轮参数及其加工

接触疲劳试验齿轮: 中心距 $a=150$ mm, 模数 $m=6$ mm, 齿数 $z_1=20$ (从动轮)、 $z_2=30$ (主动轮), 齿宽 $b=30$ mm; A 级滚刀切齿。弯曲疲劳试验齿轮: 模数 $m=5$ mm, 齿数 $z=30$, 齿宽 $b=14$ mm; A 级滚刀加工。

3 试验方法和失效判据

3.1 试验方法

齿面接触疲劳强度采用台架运转方法试验, 为节省试件和避免试验过程中可能出现断齿现象, 采用主、从动轮正反交错搭接的方式。轮齿弯曲疲劳强度采用轮齿脉动加载方法试验, 为避免各被试齿的相互影响, 各被试齿之间至少隔一个齿; 为避免同一应力级的被试齿来源集中, 被试齿在所有试验齿轮中随机抽取。

3.2 试验应力级的确定

根据试验规范, 取 4 个应力级进行试验。

3.3 失效判据

齿面接触疲劳判据按照德国 FVA 的《齿面承载能力试验推荐规范》确定, 轮齿脉动加载试验以轮齿折断时的应力循环次数为轮齿弯曲疲劳失效寿命。

4 试验齿轮的应力计算

4.1 齿面接触应力计算

按 GB 3480-83 的一般方法进行, 计算式中部分系数从试验机的特性曲线图中查取.

4.2 齿根应力计算

由于采用轮齿脉动加载试验, 轮齿的受载点固定不变, 这与齿轮负荷运转时不同. 因此, 试验齿轮的齿形系数 Y_F 和应力修正系数 Y_S 按固定的载荷作用点专门计算求得, 其它各系数仍按 GB3480-83 规定的一般方法计算.

5 试验数据统计处理结果及 $R-S-N$ 方程参数

齿轮的 $R-S-N$ 线簇方程为

$$m_R \cdot \ln S_R + \ln N = \ln C_R$$

式中 S_R —可靠度为 R 时的疲劳强度 (以应力表示); N —疲劳寿命 (以应力循环次数表示)
 m_R —可靠度为 R 时试验指数 (反映线簇的斜率); C_R —可靠度为 R 时的试验常数.

5.1 齿面接触疲劳试验

根据试验所得的 4 个应力级的疲劳寿命样本 (从略), 按统计学方法检验结果是, 各应力级的齿面接触疲劳寿命均服从两参数威布尔分布. 经过线性拟合, 求出 $R-S-N$ 线簇方程参数及 $N_0 = 5 \times 10^7$ 次时的齿面接触疲劳强度 (极限应力) 值, 如表 1 所列.

5.2 轮齿弯曲脉动加载试验

根据试验所得的 4 个应力级的轮齿弯曲疲劳寿命样本 (从略) 的检验结果, 各应力级的轮齿弯曲疲劳寿命均服从对数正态分布. 经过线性拟合, 求出轮齿弯曲疲劳的 $R-S-N$ 线簇方程参数及 $N_0 = 3 \times 10^6$ 次时疲劳极限强度值如表 2 所列.

表 1 齿面接触疲劳的 $R-S-N$ 方程参数

Table 1 $R-S-N$ equation parameters for tooth flank contact fatigue

序号	R	m_R	$\ln C_R$	$S_R (N_0 = 5 \times 10^7 \text{次})$ / MPa
1	0.99	23.7988	194.016	1648.23
2	0.95	24.2565	197.664	1665.88
3	0.90	24.3961	198.855	1676.63
4	0.80	24.6887	201.296	1694.85
5	0.50	24.8903	203.411	1737.17

注: $S_{k=0.99}$ 相当于 GB3480-83 中的接触极限应力 σ_{HLim}

表 2 轮齿弯曲疲劳的 $R-S-N$ 方程参数

Table 2 $R-S-N$ equation parameters for tooth bending fatigue

序号	R	m_R	$\ln C_R$	$S_R (N_0 = 3 \times 10^6 \text{次})$ / MPa
1	0.99	5.3678	44.8998	266.7
2	0.95	6.4782	51.9249	302.82
3	0.90	9.3634	70.1811	365.93
4	0.80	12.8570	92.2849	410.72
5	0.50	19.5400	134.5710	456.59

注: $S_{k=0.99}$ 相当于 GB3480-83 中的弯曲疲劳极限应力 σ_{FLim}

6 分 析

(1) 由表1可知, 25Cr2MoV离子渗氮齿轮的齿面接触疲劳极限应力 $\sigma_{HLim}=1\ 648.23\ \text{MPa}$, 与GB3480-83提供的资料相比, 远高于调质钢液体渗氮和气体渗氮齿轮的极限应力值, 并接近合金钢渗碳淬火齿轮接触疲劳极限应力值的上限。

(2) 由表2可知, 25Cr2MoV离子渗氮齿轮的轮齿弯曲疲劳极限应力 $\sigma_{FLim}=266.7\ \text{MPa}$, 与调质钢液体渗氮或气体渗氮齿轮的轮齿弯曲疲劳极限应力值相当。但经过实测发现, 弯曲疲劳试验齿轮齿根 30° 切线点处的曲率半径实测值($\rho_f=1.05\ \text{mm}$)比用标准刀具加工出来的正常值($\rho_f=2.745\ \text{mm}$)要小得多, 说明加工刀具修磨不合标准。我们仍按实测值经过修正计算, 求得 $\sigma_{FLim}=483\ \text{MPa}$, 它与合金钢渗碳淬火齿轮的轮齿弯曲疲劳极限应力的平均值相当。

(3) 25Cr2MoV离子渗氮齿轮的接触疲劳曲线的斜率较气体渗氮齿轮的小。这说明, 随着接触应力的提高, 接触疲劳寿命下降较快。因此, 在进行这种齿轮的设计时, 要特别注意接触疲劳极限应力取值恰当。相反的是, 这种齿轮的轮齿弯曲疲劳曲线的斜率远比液体和气体渗氮齿轮的大, 并随着弯曲应力的提高, 轮齿弯曲疲劳寿命下降不快。设计时, 弯曲极限应力取值稍高或稍低不会导致弯曲疲劳寿命的大幅度变化。

7 结 论

(1) 25Cr2MoV齿轮采用离子渗氮工艺进行表面强化, 其接触疲劳强度和弯曲疲劳强度均可达到合金钢渗碳淬火的强度水平, 并可省去化学热处理后的磨齿工序, 有较好的经济效益。

(2) 为提高齿轮轮齿的弯曲疲劳强度, 加工刀具的修磨必须严格按照规定要求进行, 注意防止刀具齿顶圆角半径偏小。

参 考 文 献

- 1 GB3480-83, 渐开线圆柱齿轮承载能力计算方法, 北京: 中国标准出版社, 1984. 1
- 2 高镇同. 疲劳应用统计学. 北京: 国防工业出版社, 1986. 82
- 3 Kapur K. C. Lamberson Reliability in Engineering Design. New York: John Wiley and Sons Inc, 1977. 291