DOI:10.13374/j.issn1001-053x.1999.06.017

第21卷 第6期 北京科技大学学报 Vol.21 No.6
1999年 12月 Journal of University of Science and Technology Beijing Dec. 1999

25Cr2MoV 离子渗氮齿轮弯曲疲劳可靠度研究

卢 梅[1)] 陶 晋[1)] 熊和根[2)] 唐良芬[3)] 谈嘉祯[1)]

1) 北京科技大学机械工程学院,北京 100083 2) 武汉冶金科技大学机械系,武汉 430081 3) 南京高速齿轮箱厂,南京 210012

摘 要 25Cr2MoV 离子渗氮齿轮弯曲疲劳强度的可靠度试验是在 STRON1603 型电磁谐振疲劳试验机上进行的. 短寿命区采用 4 级恒定应力水平的成组试验法; 长寿命区采用应力升降试验法. 对试验结果数据进行了统计学处理, 拟合出完整的 *C—R—S—N* 曲线并获得各种可靠度下的弯曲疲劳极限值.

关键词 离子渗氮齿轮; *C—R—S—N* 曲线; 疲劳; 可靠度; 置信度

分类号 TH 132.413

80 年代至 90 年代初, 北京科技大学和国内一些科研院所曾受原机械工业部的委托,对 10 几种常用材料和优选材料,如 25Cr2MoV 离子渗氮、20Cr MnMoA 渗碳淬火、40Cr 调质等齿轮的疲劳强度进行试验研究. 结果是各种齿轮的轮齿弯曲疲劳强度均远远低于国际标准 ISO 6336 所提供的数据. 诚然,国产材料齿轮因材料冶炼工艺、热处理过程控制及机械加工与国际先进水平相比有些差距, 其疲劳强度可能低些, 但差距如此之大, 却是令人困惑的. 面临外国齿轮的强劲竞争, 我们与南京高速齿轮箱厂合作, 对国产材料 25Cr2MoV 离子渗氮齿轮再次进行试验研究, 取得了令人满意的结果.

1 试验机与试验齿轮

试验机是进口的 STORN1603 型电磁谐振疲劳试验机. 该机加载精度较高, 载荷和应力循环次数可自动显示和记录. 试验齿轮为标准直齿圆柱形齿轮, 按 GB/T 14230 的要求设计, 模数 $m=5$ mm, 齿数 $z=30$, 齿宽=14 mm. 试验齿轮的工艺路线是: 毛坯锻造→正火处理→粗车毛坯→滚齿→调质处理→离子渗氮. 其中调质后的硬度为 265 ~ 330 HBS; 离子渗氮温度为 520 ~ 550℃, 时间 60 ~ 70 h, 渗氮层厚约 0.5 mm; 齿面硬度 HV_{10} 为 700 左右. 轮齿加工精度 7 GB10095—88, 齿根表面粗糙度 $R_z = 40\ \mu m$. 材料化学成分和力学性能均符合 GB 3077—88 规定. 全部试验齿轮经超声波探伤,无缺陷.

2 试验方法和失效判据

采用双齿脉动加载法, 加载频率为 140~150 Hz. 在短寿命区,采用 4 级恒定应力水平成组试验法, 以拟合疲劳曲线倾斜段方程; 在长寿命区, 采用应力升降法, 以确定疲劳曲线水平段方程, 从而获得完整的齿轮弯曲疲劳曲线. 被试齿在所有试验齿轮中依次随机抽取. 齿根应力按 GB/T 14230—93 所规定的方法计算. 以齿轮轮齿疲劳裂纹扩展到使载荷下降达 10% 时为失效判据.

3 试验数据统计处理和 *C—R—S—N* 曲线方程的拟合

试验数据统计处理方法按文献 [1] 和 [2]. 此外,虽然本试验的样本比 GB/T 14230—93 规定的多 1 倍, 但仍属小样本试验, 故在数据处理时考虑了置信度, 其理论与方法见文献 [3], 这是本次研究对 GB/T 14230—93 的补充和改进. 短寿命区 4 个应力级的轮齿弯曲疲劳寿命如表 1 所列. 经过检验, 4 个应力级的齿轮轮齿弯曲疲劳寿命都服从 3 参数威布尔分布. 长寿命区的应力升降试验情况如图 1 所示.

1999-07-12 收稿 卢梅 女,44 岁,工程师

表 1 轮齿弯曲疲劳寿命(应力循环次数)

齿根应力σ_F/MPa	循环次数N / 10^3 次									
$\sigma_{F1}=538.0$	40.00	44.00	46.00	49.00	72.00	72.30	—	—	—	—
$\sigma_{F2}=459.8$	43.20	59.80	67.10	73.00	77.30	85.90	88.00	141.40	—	—
$\sigma_{F3}=382.1$	92.90	101.00	128.50	138.30	149.90	171.30	192.80	251.10	—	—
$\sigma_{F4}=330.5$	312.20	406.10	422.00	454.70	459.90	471.70	588.10	632.20	1 337.30	1 725.30

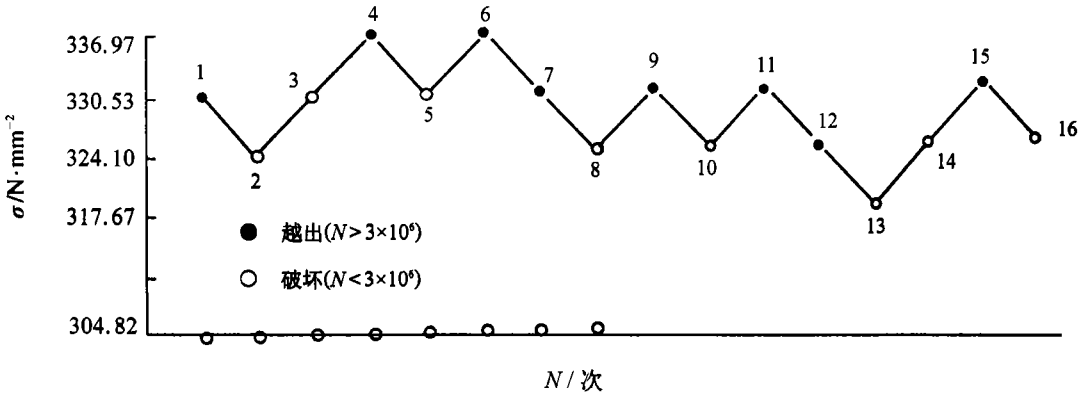

图 1 25Cr2MoV 离子渗氮齿轮长寿命区应力升降试验图

齿轮弯曲疲劳曲线倾斜段的方程式为:

$$m\log\sigma_{F\lim}+\log N=\log C \quad (1)$$

齿轮弯曲疲劳曲线水平段的方程式为:

$$\log\sigma_{F\lim}=\log\delta_{F\lim\infty} \quad (2)$$

式中,$\sigma_{F\lim}$—轮齿弯曲疲劳极限, MPa; N—轮齿疲劳寿命或应力循环次数,次; m—方程指数; C—方程常数; $\sigma_{F\lim\infty}$—轮齿弯曲持久疲劳极限, MPa.

按照参考文献 [1~6] 所述方法,经过计算机运算,拟合出设定置信度下的各种可靠度时的疲劳曲线方程族. 方程参数及弯曲持久疲劳极限值典型数据见表 2 和表 3,齿轮轮齿弯曲疲劳曲线典型数据如图 2 所示.

表 2 25Cr2MoV 离子渗氮齿轮弯曲疲劳曲线方程参数和弯曲持久疲劳极限(50%置信度)数据

可靠度 R / %	方程指数 m	方程常数 $\log C$	相关系数 r	弯曲持久疲劳极限 $\sigma_{F\lim\infty}$/MPa	疲劳曲线拐点对应的应力循环次数 N_c/次
90.00	5.308 804	18.927 874	−0.999 998	323.17	403 456
95.00	5.055 313	18.211 328	≈−1	321.77	342 689
99.00	4.805 888	17.483 686	−0.999 992	319.77	281 687

表 3 25Cr2MoV 离子渗氮齿轮弯曲疲劳曲线方程参数和弯曲持久疲劳极限(95%置信度)数据

可靠度 R / %	方程指数 m	方程常数 $\log C$	相关系数 r	弯曲持久疲劳极限 $\sigma_{F\lim\infty}$/MPa	疲劳曲线拐点对应的应力循环次数 N_c/次
90.00	5.527 293	19.407 303	−0.999 927	318.31	374 383
95.00	5.115 101	18.312 192	−0.999 986	315.99	335 823
99.00	4.467 158	16.624 974	−0.999 050	312.54	301 881

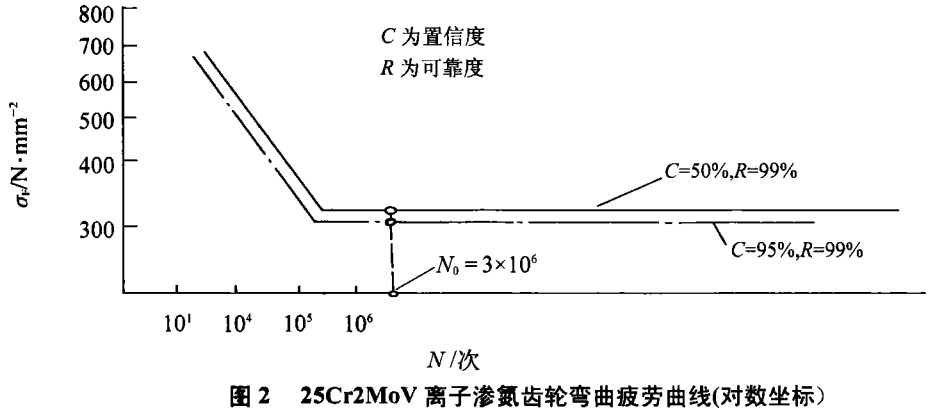

图 2 25Cr2MoV 离子渗氮齿轮弯曲疲劳曲线(对数坐标)

4 结论

（1）由于本试验研究是通过大量试验获得完整真实的弯曲疲劳曲线的基础上求得轮齿弯曲持久疲劳极限的，从而纠正了以往采用疲劳曲线倾斜段外延法所引起的严重误差．同时在数据处理时考虑了置信度，因而求得的疲劳极限不仅具有可靠度指标，还具有设定的置信度指标．

（2）在国内首次获得这种国产材料齿轮的弯曲疲劳曲线由倾斜段转入水平段的拐点坐标 N_c，证明它与人为规定的循环基数 N_0 值是不同的，为这种国产材料齿轮弯曲疲劳极限的正确取值提供了依据．

参 考 文 献

1 中华人民共和国国家标准 GB/T 14230—93．齿轮弯曲疲劳强度试验方法．北京：中国标准出版社，1993

2 谈嘉祯．齿轮疲劳试验数据统计处理及 *R—S—N* 曲线拟合方法．北京科技大学学报 1994，16(2):166

3 谈嘉祯，边新孝．三参数威布尔置信限的确定和 *C—R—S—N* 曲线的拟合．北京科技大学学报，1994，16(5):425

4 高镇同．疲劳应用统计学．北京：国防工业出版社，1986.336

5 Collins J A．机械设计中的材料失效—分析、预测、预防．谈嘉祯等译．北京：机械工业出版社，1987.196

6 Kapur K C，Lamberson L R．Reliability in Engineering Design．New York: John Wiley and Sons Inc, 1977.486

Retiability of Gear-tooth Bending Fatigue Strength for 25Cr2MoV Ionitriding Gear

Lu Mei[1)], *Tao Jin*[1)], *Xiong Hegen*[2)], *Tang Liangfen*[3)], *Bian Xinxiao*[1)], *Tan Jiazhen*[1)]

1)Mechanical Engineering School, UST Beijing, Beijing 100083, China 2) Mechanical Engineering Department, UMST Wuhan, Wuhan 430081, China 3) Nanjing High Speed Gear Box Works, Nanjing 210012, China

ABSTRACT Reports the experimental investigation on the reliability of gear-tooth bending fatigue strength for 25Cr2MoV ionitriding gear. The tests were carried out on a Electro-magnetic resonance fatigue test machine of type STRON 1 603. The grouping test method at four constant stress levels was applied for short life-span areas while the stress up-and-down test method were used for long life-span areas. The tested data were then processed with statistic method. Complete *C-R-S-N* curves were thus fitted and as a result, the values of limits of bending fatigue under various reliabilitys were gained.

KEY WORDS ionitriding gear; *C-R-S-N* curves; fatigue; reliability; confidence