北京科技大学学报

Vol. 14 No. 5

第14卷第5期 1992年9月

Journal of University of Science and Technology Beijing

Sept. 1992

20CrMnMo 渗碳淬火齿轮 的接触疲劳强度[®]

易秉钺* 陈 键* 周建梁*

摘 要:对齿面硬度 HRC62 的 20CrMnMo 渗碳淬火齿轮,进行了接触疲劳运转试验,获得 33 个试验数据。经过数据处理,绘制出 R-S-N 曲线,可靠度 0.99,循环基数 5×10⁷,其齿面 接触疲劳极限应力为 1 571.6N/mm²。通过电镜等,对齿面损伤特性进行了宏观和微观的分析, 获得一些有益的观点,提出一些有效的技术措施。 关键词:渗碳淬火齿轮,接触疲劳强度,齿面损伤

Contact Fatigue Strength of 20CrMnMo Carburized and Quenched Gears

Yi Bingyue* Chen Jian* Zhou Jianliang*

ABSTRACT: Using power circulating type gear tester , 33 pairs 20CrMnMo carburized and quenched gears, having tooth surface hardness HRC62, were tested to investigate the contact fatigue life. The test results were treated by statistical methods and plotted as R-S-N curve. The contact strength limits σ_{Hum} were 1 571.6 N/mm² with reliability 0.99 at 5×10^7 cystes. By using scanning electron microscope etc., the texture of tooth surface damage were described and the mechanism of failures was investigated.

KEY WORDS: carburized and quenched gear, contact fatigue strength, tooth surface damage

、 我国制订的《渐开线圆柱齿轮承载能力计算方法》标准(GB3480-83)中,极限应力区域图,是沿用了 ISO 标准。而且,硬齿面齿轮的计算方法,都基本上采用软齿面齿轮的计算方

① 1991-10-11 收稿

^{*} 机械工程系(Department of Mechanical Engineering)

法,国内外有些学者认为二者的损伤特性有较大的不同,在计算方法上应有所区别。1986年 由郑州机械研究所和北京科技大学承担的上述齿轮疲劳寿命及其损伤特性的研究,被列入机 械工业科学技术发展基金项目中,并规定 20CrMnMo 等 6 种硬齿面材料,在齿轮设计、材料冶 炼及热处理等,应充分反映我国实际水平。

由于 20CrMnMo 钢材料普遍、价格低廉、具有良好的机械性能和工艺性能,在我国应用甚为广泛,如最新制订的普通减速器系列和重载低速减速器系列的齿轮,都选用了这种材料。因此,本研究具有一定的实际意义。

本研究完成了 33 对齿轮试件的运转试验,相应进行齿面损伤形貌观察、金相、电镜分析等,获得了大量有关硬齿面的信息,这对今后设计、制造、使用这种齿轮是十分有用的。

1 试验方法[1]、[2]

1. 1 齿轮试件

齿轮材质的化学成分: C-0.2%; Si-0.23%; Mn-1%; P-0.025%; S-0.014%; Cr -1.22%; Mo-0.24%。

齿轮试件主要几何参数:标准直齿轮,模数 m = 6mm;小、大齿轮齿数 $Z_1 = 20, Z_2 = 30$; 齿宽 b = 30mm。

齿轮试件进行渗碳淬火热处理和制造。经各种检测,齿轮试件的锻造和热处理均符合 MQ 质量要求;齿轮制造精度为6级;材料的机械性能: $\sigma_s = 1$ 270 N/mm², $\sigma_B = 1$ 360 N/mm², $\delta_s = 12\%$, $\varphi = 53\%$, $\alpha_K = 95$ J/cm², $K_{IC} = 424$,齿面硬度 HRC 62。

1. 2 试验机

试验机采用 JG150 型封闭流机械杠杆加载齿轮试验机⁽¹⁾。试验前,按文献〔1〕要求和方 法对试验机进行性能测定。测定结果表明,性能稳定,两台试验机具有相似性。

1. 3 试验

按文献〔2〕推荐,作4个应力水平的 *R*-*S*-*N*曲线。又按文献〔3〕,每个应力水平至少 有5个试验点,并满足其相关系数的要求。为了节省试件,采用齿轮搭接进行试验,实际接 触宽度 *b*=7~10mm。按文献〔2〕推荐的失效判据作为本试验的失效判据。

2 试验结果及分析

2. 1 疲劳寿命试验结果

试验应力均按 GB3480-83 的一般方法用计算机算出。接触应力和疲劳寿命列入表 1。

• 531 •

表1 接触应力和疲劳寿命

接触应力 (N/mm ²) 2 156		(×10 ⁶)			
	1.03	1.03	1.22	2. 32	2.73
2 057	0. 59	0.65	1.62	1.83	2.55
	2.84	4.60	4.68	30.00	
1 964	3. 38	3. 55	5.77	5.88	6.00
	6.34	7.12			
1 865	4.610	5. 251	6.251	7.644	8.255
	8.711	9.072	11.155	26.100	

Table1 Contact stress and fatigue life

按文献〔3〕编程用计算机对每个应力水平进行各种分布的参数估计,以及 *S-N* 分布检验和概率纸相关检验。4 个应力水平的寿命分布均为 3 参数威布尔分布。

根据 S-N 疲劳曲线的性质,在不同应力水平上取相同可靠度 R的寿命点,在双对数坐标 系呈线性关系。作者选定 6 个 R 值(0.99、0.95、0.9、0.8、0.5、0.1),从 4 个寿命分布分别可得各 R下相应的 4 个点,再进行线性回归,在计算机上显示出 6 条线组成的 R-S-N 曲线族,见图 1。图中每条线都进行了 F 检验(当显著性水平 $\alpha = 0.1$,临界值 $F_{0.1(1,2)} = 8.526$ 31),运算结 果都满足线性要求。

按图 1 R-S-N 曲线和各条线的方程, 取 $N_0 = 5 \times 10^7$, 可求出不同 R 下的齿面接触疲劳极限应力值, 见表 2。

将表 2 进行应力分布检验,为对数正态分布(特征值 U = 7.395 4, V = 0.015 3, 线性相关系数 r = 0.98)。

表 2 不同 R 下齿面接触疲劳极限应力值 (N/mm²)

R	0.99	0.95	0.9	0.8	0. 5	0.1
<i>σ</i> _{Hlim}	1 579.474	1 593. 244	1 598.900	1 605. 488	1 623. 271	1 670. 535

Table 2 At different R, contact limiting stress of tooth surface (N/mm^2)

2. 2 损伤特性

在全部试验过程中,当采用 y₅₀=57.4 mm²/s 的机械油,齿面易出现破坏性胶合;当采用 50 号极压工业齿轮油,轮齿端部齿廓不倒缘,从动轮轮齿端部易出现掉块;若进行足够倒缘,齿面出现的损伤是点蚀坑,个别也出现严重磨损。对于硬齿面齿轮来说,出现破坏性胶合和端部掉块现象是不正常的。

2. 2. 1 点蚀坑

在约占 90%的试件和约占 90%的主动件上,齿面上先产生霜状微点蚀,然后逐渐发展成 • 532 •

大点蚀坑,其发展速度是随齿面接触应力 的增大而加快。大点蚀坑多产生在节线附 近偏向齿根处。

(1) 霜状微点蚀。当试件经过一定运转后,正常的话,在轮齿节线附近偏齿根处, 开始产生霜状点蚀带。文献〔4、5〕认为这种霜状微点蚀多产生于渗碳淬火齿轮,所以,本试验也不例外。

图 2 为电镜下的霜状点蚀。作者分析, 它的产生,除和轮齿磨痕有关外,还和齿面 出现鳞皱有关。在高接触应力不断地碾压 和碾击下,将磨痕或鳞皱的峰尖碾碎(图 3)或碾平,出现了霜状微点蚀。随之产生 的第二次微裂纹,在接触应力不断地作用 下,逐渐发展成大点蚀坑,这和尼曼的分析 是一致的。





西西西北北北北北	图 3 二次微裂纹	图 4 内部病苦烈纹
图 2 稍伏微点蚀	Fig. 3 Aspect of secondary	B nmwnxx
Fig. 2 Frosting		Fig. 4 Internal fatigue carck
	micro-crack	
与工 从止用如温动演曲十	产于的需比微占 如今很 性 州湖廊拔	5. 所以, 在轮齿根部不易

由于轮齿根部滑动速度大,产生的霜状微点蚀会很快地被磨掉,所以,在轮齿根部不易 出现大点蚀坑。

(2)疲劳裂纹。在大多数情况,疲劳裂纹产生在齿面上,偶尔也有发生在齿面下内部 (图 4)。由电镜拍摄的照片可见,疲劳裂纹遍布轮齿工作面上;对主动轮,齿高和齿根部分的 疲劳裂纹尖端其方向相反,都指向节线,它与齿面磨擦力方向相反。这和文献〔6〕描述是一 致的。



图 5 齿面疲劳裂纹扩展 Fig. 5 Fatigue crack propagation on the tooth surface



图 6 疲劳裂纹向深部扩展 Fig. 6 Fatigue carck propagation from surface to deepness

图 7 大点蚀坑形貌 Fig. 7 Aspect of large pitting

齿面上疲劳裂纹在其上面扩展,见图 5。其扩展方向不定,这取决于齿面磨痕和产生的擦 痕。齿面疲劳裂纹向轮齿深部扩展,见图 6。当霜状微点蚀产生二次微裂纹,随着接触应力不 断地作用,开始沿齿面呈 45°方向向深处扩展,微裂纹尖端呈树叉状。当微裂纹扩展到一定深 度,变成宏观裂纹,沿着平行于齿面方向扩展。最后,垂直于齿面断裂,产生了大点蚀坑。

可见,疲劳裂纹的产生和发展,这与接触应力大小和作用次数、材料特性、齿面润滑状

态、渗碳层深度、轮齿磨削工艺等有关。

(3)大点蚀坑。图7是电镜下拍摄的大点蚀坑形貌。坑底下部可明显看到沿齿高方向呈 波浪状的前沿线,具有疲劳特征。坑底上部,表面较光滑,隐约有纵向条纹,到坑的边缘,坑 最深,是疲劳裂纹垂直断裂的结果。

2. 2. 2 轮齿端部掉块

从电镜下拍摄的图 8 可见,轮齿端部掉块的坑内, 也有明显的前沿线,具有疲劳特征。不过,坑内有一块 斜面,前沿线较大地向节线方向扭曲。

轮齿端部掉块,在其它材料硬齿面也有类似现象, 多产生在从动件上,这与轮齿搭接处产生边界效应有 关,从动件更为敏感。

实践证明,若在轮齿端部沿齿廓进行足够地倒缘, 可有效地避免出现端部掉块,这对硬齿面设计具有实际 意义。



图 8 端部掉块 Fig. 8 Case cruching on the tooth end

2. 2. 3 破坏性胶合

采用 GB6413-86 的齿轮胶合承载能力计算方法。计算结果表明:由于硬齿面抗点蚀能力 大大提高,工作接触应力和齿面积分温度同时增大,若采用普通的机械润滑油,不可避免地 出现破坏性胶合;若改用极压工业齿轮油,就可避免破坏性胶合。本试验和理论计算一致。

3 结 论

(1) 材料为 20CrMnMo 渗碳淬火,表面硬度 HRC 62,材料冶炼、热处理、制造等反映我 国实际水平的齿轮,其齿面接触疲劳极限应力值为,

 $\sigma_{\rm Hlim} = 1$ 571.6 N/mm² ($R = 0.99, N_0 = 5 \times 10^7$).

查得 GB3480-83, 对合金钢渗碳淬火, HRC62, σ_{Hlim}=1 300~1 650 N/mm², 本试验值在 上述范围稍偏上位置,可作为我国今后这种材料齿轮设计的可靠数据。

(2)本试验的各应力水平下的寿命分布为三参数威布尔分布; № 下极限应力分布为对数 正态分布。

(3)本试验表明,硬齿面齿轮可能出现的齿面损伤有:霜状微点蚀、大点蚀坑、破坏性胶合、轮齿端面掉块、严重磨损等。

(4) 霜状微点蚀,是渗碳淬火齿轮常见的一种齿面损伤,它将产生大点蚀坑,这取决于接触应力大小和作用次数、润滑状态和表面粗糙度。

(5)大点蚀坑是渗碳淬火齿轮的主要失效形式。它是齿面霜状微点蚀坑产生的二次微裂 纹逐渐发展而成的。微裂纹尖端呈树叉状。微裂纹和宏观裂纹的发展具有一定的规律,这取 决于材料特性、接触应力、齿面润滑状态、齿面粗糙度和渗碳层深度等。 (6) 轮齿端面掉块,对硬齿面齿轮寿命影响很大,在轮齿端部沿齿廓倒缘避免掉块是十 分有效的。

(7)设计硬齿面齿轮时,应慎重地选择润滑油,必要时要进行胶合承载能力计算,避免 过早出现破坏性胶合,严重影响齿轮寿命。

本研究的具体工作是在北京科技大学进行的。参加本研究的还有朱孝录、崔兴山、郭刚智、史铁军、孙业胜和李和。

参考文献

- 1 朱孝录,易秉钺等.齿轮的试验技术与设备.北京.机械工业出版社,1988,12
- 2¹ EVA N. o/5 Recommendation on an Unification of Surface Load Capacity Tests for Through Handened and Hardened Cylinderical Gears
- 3 高镇同.疲劳应力统计学.北京:国防工业出版社,1986
- 4 Winter H, Weiss T. 影响硬齿面点蚀、微观点蚀(霜状区)和低速磨损的一些因素, 译自 ASME80-C/DET-89
- 5 崔希烈等. 齿轮, 1987, 11 (4): 26
- 6 金子,神代,林子光译,国际齿轮装置与传动会议论文选,北京,机械工业出版社, 1977,150