

汽车发动机链条的多次冲击磨损特性研究

孟繁忠¹, 张进平¹, 黄 梅¹, 张海强²

(1 吉林大学 链传动研究所, 吉林 长春 130025;

2 浙江湖州求精汽车链传动有限公司, 浙江 湖州 313012)

摘要: 通过发动机总成和汽车道路行驶试验,研究了汽车发动机机油泵链的磨损机制,绘出了汽车链在不同试验工况下的磨损伸长曲线,阐述了汽车链主要零件的循环软化与循环硬化特性,通过微观分析研究了汽车链主要零件的磨损表面形貌和多次冲击疲劳裂纹,通过联结牢固度的压出力试验,分析了汽车链过盈配合零件间的微动磨损现象及其产生的原因.结果表明:销轴和套筒零件表层的裂纹生成、扩展与剥落是汽车链的主要磨损机制;在高载、高速及变速工况下滚子零件产生循环硬化现象,在正常载荷和速度下滚子零件产生循环软化现象;随着载荷和速度的提高,汽车链过盈配合表面的微动磨损加剧.

关键词: 汽车链; 循环特性; 疲劳裂纹; 微动磨损

中图分类号: TH132 45; TH117. 3

文献标识码: A

文章编号: 1004-0595(2007)06-0573-05

近年来,通用、福特、奔驰和现代等汽车公司生产的汽车装配发动机广泛采用链传动系统作为其正时传动、机油泵传动、平衡轴传动和共轨泵传动等.而国内生产的汽车发动机也逐渐采用链传动系统,但目前还是主要依赖国外进口汽车链产品.

汽车链的服役条件不同于普通工业链条,其高转速的工作点已远超出额定功率曲线所限定的普通工业链条的工作区域^[1].同时,汽车链还承受着怠速、加速及减速等交变速度的冲击,可见汽车链服役条件的严酷.

目前,国内外学者已开始关注这一新的研究领域,并取得了相关研究成果^[2~4],但通过系统的发动

机总成试验、长距离道路可靠性行驶试验以及微观分析法研究汽车链的磨损机制和失效机理还不多见,特别是对不同工况下微动磨损与压出力的谐应关系研究尚没有文献论及.研究表明,汽车链的失效机理及其设计方法已发生了根本性变化^[2].因而,本文的研究具有重要的理论意义和实用价值.

1 实验部分

1.1 试样

试验采用的汽车发动机的机油泵链 06B-1,节距 $p = 9.525$ mm,链条和链条中各零件的初始表面硬度见表 1.

表 1 06B-1汽车链零件的初始表面硬度

Table 1 Initial surface hardness of the parts of automotive engine chain 06B-1

Sample	Inner plate HRC	Outer plate HRC	Roller HV _{0.2}	Bush HV _{0.2}	Pin HV _{0.2}
Sample	48.6	47.9	560	767	1609
Sample	50.3	49.4	528	740	798

1.2 试验方法

试验: 链条和链条在同一试验装置和相同试验条件下进行.试验装置为 TU5JP4 发动机总成,机油泵传动主动链轮齿数 $Z_1 = 18$,从动链轮齿数 $Z_2 = 29$,链条长度 L_p 为 42 节.试验条件:全负荷,

在转速 5 000 ~ 6 400 r/min 范围内,每隔 100 r/min,稳定运转 10 h(包括 5 000 r/min 和 6 400 r/min),共运转 150 h,压力喷油润滑.

试验: 链条在富康 988 轿车 JU3A 型发动机上装机使用,行驶 3.0×10^8 m.机油泵传动主动链

基金项目:国家科技型中小企业技术创新基金资助项目(01C26213300872).

收稿日期:2007-04-16;修回日期:2007-06-19;联系人孟繁忠, e-mail: fzm75@tom.com

作者简介:孟繁忠,男,1945年生,教授,博士生导师,目前主要从事汽车发动机正时链系统设计方法的研究.

轮齿数 $Z_1 = 18$, 从动链轮齿数 $Z_2 = 29$, 链条长度 L_p 为 46 节。

采用 Lcc-1 500 型链长测量仪测定链条的初始长度和磨损后长度, 取 3 次测定结果的平均值; 采用 HR-150A 型洛氏硬度计测定内链板和外链板的硬度 (HRC); 采用 HXD-1000 型显微硬度计测定滚子、套筒和销轴表面的显微硬度 ($HV_{0.2}$); 采用 LY-01 型压出力试验机测定过盈配合联结的销轴与外链板以及套筒与内链板之间的压出力 (kN); 采用 JSM-5310 型扫描电子显微镜 (SEM) 观察与分析销轴和套筒的磨损表面形貌和多次冲击疲劳裂纹。

采用对链传动工作可靠性具有直接影响的磨损伸长率 ε 作为评价链条磨损性能的参数, 其表达式为:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \times 100\% \quad (1)$$

式中: $\Delta L = L_1 - L$, L_1 为磨损伸长后的链条长度, L 为初始链条长度。

2 结果与分析

2.1 磨损曲线

链条 和链条 的 150 h 发动机总成全负荷超速试验的磨损曲线如图 1 所示 (试验)。

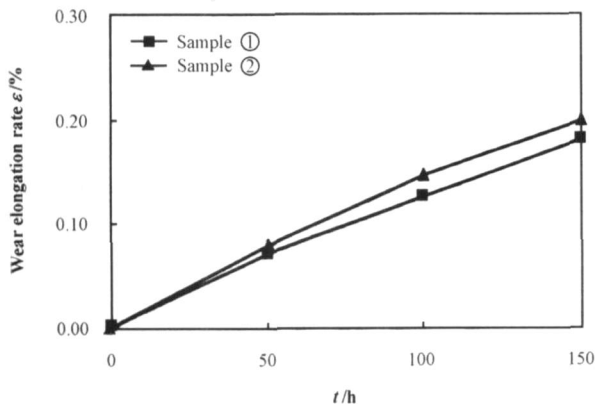


Fig 1 Wear elongation ratio of engine chain vs test time

图 1 06B-1 汽车链发动机总成试验磨损曲线

链条 的 3.0×10^8 m 轿车道路行驶试验的磨损曲线如图 2 所示 (试验)。由图 1 可以看出, 链条 和链条 在 150 h 全负荷超速试验后, 其磨损伸长率均达到 $\varepsilon \leq 0.2\%$ 的标准要求。由图 2 可见, 链条 在 3.0×10^8 m 轿车道路行驶试验后, 其磨损伸长率仅为 0.31%, 远小于 1% 的标准要求, 表明链条 的优异耐磨性能。同时应该指出, 在高速传动下汽车链的销轴 套筒 较链副间易于形成动压承载油膜, 有

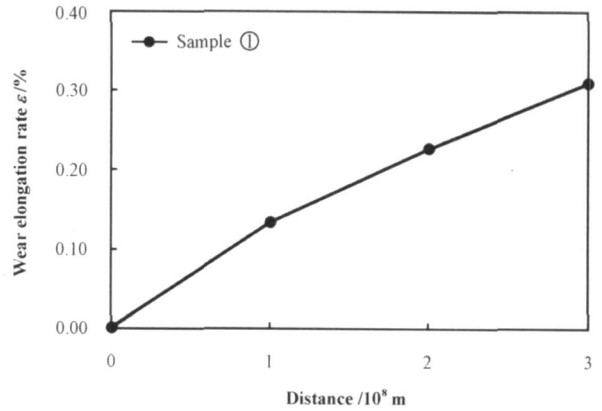


Fig 2 Wear of engine chain as a function of distance

图 2 06B-1 汽车链道路行驶试验磨损曲线

利于减轻汽车链的磨损, 而这一特征不同于中、低速传动的其它滚子链。

2.2 循环软化与硬化特性

由表 2 可以看出, 链条 和链条 的内链板、外链板和套筒零件的磨损表面在 150 h 试验中发生了循环软化现象。这是由于汽车链的速度和载荷特性, 汽车链的各零件积累了较多的摩擦热, 上述高硬度零件的表面结构在摩擦热影响下发生了显著变化, 从而导致其位错密度降低, 表面硬度下降^[5]。

试验 中链条 的滚子表面硬度仅提高了 $8HV_{0.2}$, 而链条 的滚子表面硬度提高了 $29HV_{0.2}$ 。分析认为, 这一方面是由于滚子作为汽车链与链轮的啮合元件, 直接承受着较大的冲击载荷, 在高速多次冲击的循环接触应力作用下, 表面发生了塑性变形和加工硬化, 导致其位错密度增加, 硬度提高; 另一方面, 滚子也承受着上述摩擦热的作用, 导致其位错密度降低, 表面硬度下降。链条 的滚子初始表面硬度较高 ($560HV_{0.2}$), 循环硬化与循环软化的双重效应使其滚子表面硬度变化不大。而链条 的滚子初始表面硬度较低 ($528HV_{0.2}$), 循环硬化作用影响较大, 因而在循环硬化与循环软化的双重效应下, 滚子表面硬度有所提高。

试验 中链条 的销轴表面硬度降低了 $48HV_{0.2}$, 由于链条 的销轴表面经渗铬处理, 初始表面硬度较高, 其循环硬化效应不大, 而在摩擦热作用下表面硬度有所下降。而链条 的销轴表面硬度提高了 $57HV_{0.2}$, 表明其循环硬化作用影响较大。

应该指出, 由于试验 进行了 3.0×10^8 m 道路行驶试验, 因而链条 的内链板、外链板、套筒和销轴零件的硬度降幅明显大于试验 中链条 相关零件的硬度, 但其循环软化特征一致, 其中试验 中链

表 2 06B-1汽车链零件试验后表面硬度的变化情况

Test/Sample	Inner plate HRC	Outer plate HRC	Roller HV _{0.2}	Bush HV _{0.2}	Pin HV _{0.2}
Test I/Sample	- 1. 1	- 1. 8	+ 8	- 40	- 48
Test I/Sample	- 0. 6	- 1. 0	+ 29	- 53	+ 57
Test II/Sample	- 2. 6	- 2. 4	- 76	- 137	- 200

条 的套筒内表面和销轴表面除了存在循环软化特性影响外,还有渗层磨损后导致硬度下降因素的影响.而试验 中链条 的滚子表面硬度不但没有像试验 中有所提高,反而大幅度下降.这是由于试验 是在全负荷超速工况下进行的,其滚子的冲击能量与速度的平方成正比^[6],故加工硬化的作用较大,而试验 是在正常道路行驶工况下进行的,其循环软化特性已超过加工硬化效应的影响.

2 3 微动磨损特性

由于汽车链的高速以及交变速度的多次冲击特性,使销轴与外链板孔、套筒与内链板孔以过盈压入方式连结的 2 个零件的配合表面产生了微动磨损^[7],其销轴磨损表面形貌如图 3 所示.可以看出,

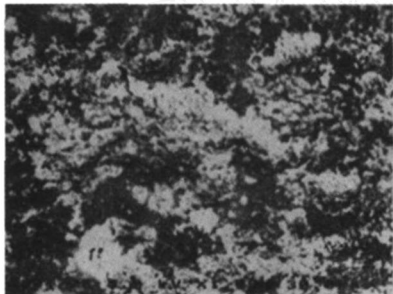


Fig 3 SEM image of pin surface after fretting wear at 150 h (1 000 ×)

图 3 150 h销轴微动磨损表面形貌的 SEM照片 (×1 000)

与外链板孔配合处的销轴表面在高速多次冲击的交变载荷作用下产生了较均匀的剥落形态,同时在与外链板孔配合表面的相对运动方向出现了清晰的冲击接触界线,而相反方向的界线较模糊,呈现出明显的微动磨损形貌特征.随着微动磨损的不断加剧,销轴与外链板孔以及套筒与内链板孔之间的压配合联结牢固度降低,当联结牢固度降低至一定程度时,2 个配合表面开始松动并最终导致汽车链“散架”失效.通常,其联结牢固度以销轴由外链板孔压出、套筒由内链板孔压出的力 (N)来表示,简称为压出力.

试验 中链条 的销轴与外链板孔的压出力由试验前的初始压出力 1 320 N降至 700 N,套筒与内

链板孔的压出力由试验前的初始压出力 1 510 N降至 490 N;链条 的销轴与外链板孔的压出力由试验前的初始压出力 1 190 N降至 620 N,套筒与内链板孔的压出力由试验前的初始压出力 680 N降至 270 N.

试验 中链条 的销轴与外链板孔的压出力由试验前的初始压出力 1 320 N降至 1 210 N,套筒与内链板孔的压出力由试验前的初始压出力 1 510 N降至 1 340 N.

应该指出,链条 的相关零件在试验 中的压出力降幅远大于其在试验 中的压出力降幅,这是由于 150 h全负荷超速试验的高载、高速及变速的多次冲击特性导致其过盈压配合表面间的微动磨损更严重.

2 4 磨损表面形貌

经试验 的 150 h发动机全负荷超速试验后,链条 的套筒内磨损表面呈现出大面积剥落坑 (见图 4),而销轴磨损表面出现轻微划痕,没有明显剥

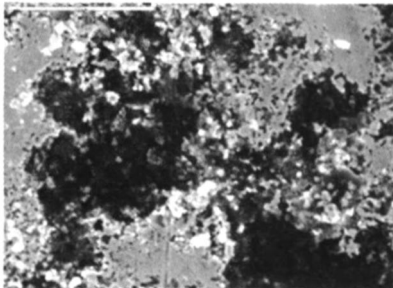


Fig 4 SEM image of wom bush's inner surface at 150 h (1 000 ×)

图 4 150 h套筒内磨损表面形貌的 SEM照片 (×1 000)

落 (见图 5),可见此时销轴与套筒以疲劳磨损为主,同时伴有磨粒磨损.

经试验 的 3.0×10^8 m轿车道路行驶试验后,链条 的套筒内磨损表面呈现出较大面积的剥落坑和表层裂纹萌生 (见图 6),而销轴磨损表面出现了大量的剥落坑和与摩擦方向一致且较深的犁沟 (见图 7),可见此时销轴与套筒在摩擦过程中产生了严重的疲劳磨损和磨粒磨损^[8].

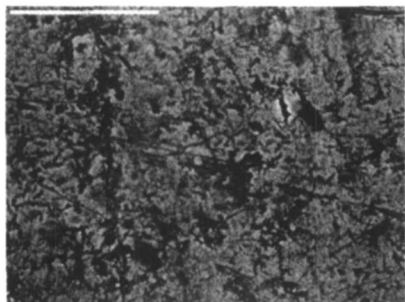


Fig 5 SEM image of worn pin surface at 150 h (1 000 ×)

图 5 150 h 销轴磨损表面形貌的 SEM 照片 (×1 000)

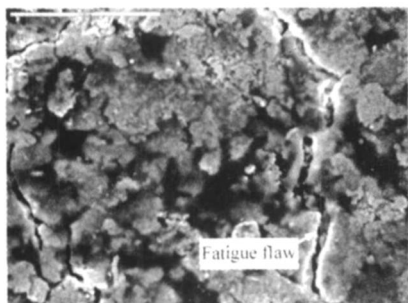


Fig 6 SEM image of worn bush's inner surface at 3.0×10^8 m (1 000 ×)

图 6 路试 3.0×10^8 m 时套筒内磨损表面形貌 SEM 照片 (×1 000)

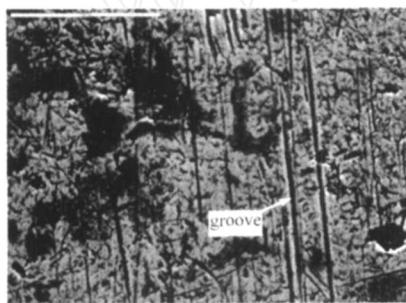


Fig 7 SEM image of worn pin surface at 3.0×10^8 m (1 000 ×)

图 7 路试 3.0×10^8 m 时销轴磨损表面形貌 SEM 照片 (×1 000)

剥落为汽车链的主要磨损机制。

b 在摩擦热等因素的影响下,汽车链的内链板、外链板及套筒零件表层均产生循环软化现象.在高载、高速及变速工况下滚子零件产生循环硬化现象,在正常载荷和速度下滚子零件产生循环软化现象。

c 汽车链相关零件过盈配合表面产生微动磨损,并随载荷和速度的提高而加剧.为了确保汽车链的工作可靠性,建议适度提高套筒与内链板孔的联结牢固度。

参考文献:

- [1] 株式会社椿本 チェーン編. チェーン[M]. 东京:工业调查会, 1995.
- [2] Meng F Z, Wang S K, Lan H, *et al* Wear failure mechanism and multi-impact property of automotive engine chain [J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2005, 18 (3): 401-404.
- [3] Cheng Yabing, Meng Fanzhong, Xu Haixue, *et al* Experimental study on high-speed characteristics of automotive engine oil-pump chain[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2007, 20 (1): 36-39.
- [4] 孟繁忠,赵富,路宝明. 摩托车正时链和传动链磨损特性研究 [J]. 摩擦学学报, 2000, 20 (2): 106-109.
Meng F Z, Zhao F, Lu B M. Study on wear characteristics of timing chain and transmission chain of motorcycle [J]. Tribology, 2000, 20 (2): 106-109.
- [5] 孟繁忠,冯增铭,李纯涛,等. 新型齿形链磨损机制及其温度和速度特性的实验研究 [J]. 摩擦学学报, 2004, 24 (6): 560-563.
Meng F Z, Feng Z M, Li C T, *et al* Experimental research on the wear mechanisms and temperature and speed characteristics of a new silent chain [J]. Tribology, 2004, 24 (6): 560-563.
- [6] Рябов Г К, Кроков А В. Об ударных нагрузках в цепных передачах [J]. Вестник Машиностроения 1997 (6): 22-24.
- [7] 周仲荣, L O V. 微动磨损 [M]. 北京:科学出版社, 2002.
- [8] 刘家浚. 材料磨损原理及其耐磨性 [M]. 北京:清华大学出版社, 1993.

3 结论

a 销轴和套筒零件表层的裂纹生成、扩展与

Research on Wear Characteristics of Automotive Engine Chains under Multi-cycle Impact

MENG Fan-zhong¹, ZHANG Jin-ping¹, HUANG Mei¹, ZHANG Hai-qiang²

(1. Chain Transmission Institute, Jilin University, Changchun 130025, China;

2. Zhejiang Huzhou Qiujiang Automotor Chain Transmission Co., Ltd, Huzhou 313012, China)

Abstract: Based on the experiments of engine assembly and automotive road running, wear mechanism of engine oil pump chain was studied, the wear curves of automotive chains in different test condition were drawn respectively, the circular hardening and circular softening characteristics of the main parts of automotive chains were expounded. Wear surface morphology and impact fatigue flaw of the main parts of automotive chains were studied at micro scale. By measuring the force to pull out a component from a firmly assembled component combination, fretting wear of matching parts were analyzed. The main wear mechanism of automotive chains was fatigue, flaking of the surface of pin and bush. The roller was hardened circularly at high load and high speed with variation. The roller was softened circularly at common load and speed. The fretting wear between matching parts became severe with increasing of load and speed.

Key words: automotive chain, circular characteristics, fatigue flaw, fretting wear

Author: MENG Fan-zhong, male, born in 1945, Professor, e-mail: fm75@tom.com