

润滑梯度材料 LGM 在车用空调压缩机滑履中的应用

张昕辉¹, 张弋飞^{1,2}, 刘 华¹, 周继峥³

(1. 上海领异金属表面材料有限公司, 上海 200431; 2. 北京坚润表面材料研究所, 北京 100034;

3. 上海三电贝洱汽车空调有限公司, 上海 200431)

摘要: 润滑梯度材料(以下简称 LGM) 技术应用在乘用车空调压缩机滑履(又称滑靴)上, LGM 滑履平均摩擦因数降低 39.5%, 平均摩擦功降低 51.3%, 使用寿命提高 1.5~3.4 倍, 制订了验收标准和技术条件; 装备 LGM 滑履的空调压缩机先后配套上海大众、通用及上海汽车。投产 35 个月, 累计装车 104.4 万台, 实现了我国热处理领域自主创新产业化。

关键词: 润滑梯度材料; 渗硫; 空调压缩机; 滑履

中图分类号: TG156.8

文献标志码: B

文章编号: 0254-6051 (2011) 02

Application of lubrication gradient material (LGM) in sliding shoe of automotive air conditioning compressor

ZHANG Xin-hui¹, ZHANG Yi-fei², LIU Hua¹, ZHOU Ji-zheng³

(1. Shanghai Innovation Surface Material Co., Ltd., Shanghai 200431, China; 2. Beijing Tough& Lubricating Inst. Beijing 100034, China;

3. Shanghai Sanden Behr Automotive Air Conditioning Co., Ltd., Shanghai 200431, China)

Abstract: The lubrication gradient material (LGM) technology was introduced to sliding shoes in automotive air-conditioning compressor. Average friction coefficient of the sliding shoes treated with LGM decreases 39.5%, the average friction power is lower 51.3% than before, its service life increase 1.5-3.4 times. Original LGM acceptance criteria and technique standard in quality system were formulated. 1.044 million vehicles were accumulatively assembled with LGM compressor from the year of 2007, including the brands of Shanghai Volkswagen, General Motor and SAIC motor. A successful pioneer of industrialization of intellectual property was created in China heat treatment industry.

Key words: lubrication gradient material; sulfurizing; air conditioning compressor; sliding shoe

由低温离子渗硫技术^[1]发展的润滑梯度材料 LGM 技术^[2-3] (以下简称 LGM) 已在多种零部件上实现工业化生产, 并获得专利^[4-5]; 包括一汽集团重型卡车变速箱、广州柴油机厂股份公司的大功率船舶发动机零件、上汽集团乘用车空调压缩机部件等。

本文介绍 LGM 技术应用到车用空调压缩机滑履(又名滑靴)零件, 提高了零部件摩擦磨损性能和整机耐久性能。先后配套上海大众、上海通用、上海汽车多个平台的车系, 实现了自主知识产权的产业化。

斜盘式变排量压缩机具有高转速、轻量化、无级变排量控制等优点, 逐渐已经成为国内汽车用空调的主流^[6-7]。工作时, 压缩机缸体内驱动轴使斜盘旋转, 斜盘通过滑履带动活塞做往复运动, 以压缩制冷气体。

滑履-斜盘、滑履-活塞这两对关键摩擦副的表面滑动性能, 决定压缩机的耐久性。

在以下 3 种状态下, 滑履、斜盘、活塞之间容易出现咬合卡死: ①由于摩擦副承受高滑动速度与大载荷的周期性作用, 使得各个接触表面上的润滑油(含

制冷剂)容易变干; ②压缩机启动时, 制冷剂先于润滑油到达并冲洗接触表面, 摩擦副处于一种不充分润滑甚至干摩擦的状态; ③斜盘与活塞采用轻质铝合金, 与钢制滑履接触滑动时产生粘着。

国内外大量的专利及文献报道了在斜盘和活塞表面采用石墨/MoS₂等固体润滑剂、PEEK/PAI 等高分子涂层、Sn/Pb/Cu 软金属层等方法^[8-9], 来改善耐磨性。

而对于在摩擦副中起到关键作用的滑履, 由于尺寸精度高、上下表面均为工作面, 运转条件苛刻等因素制约, 一直没有适用的表面材料; LGM 的应用解决这一难题。

1 润滑耐磨梯度材料 LGM 简介

金属 M、金属硫化物 M[S]、金属氧化物 M[O]组成的复合材料; 其中 M[S]和 M[O]浓度从表面到内部逐步降低, 而金属 M 的浓度从内部到表面逐步降低; 上述的金属 M 与金属硫化物 M[S]或金属 M 与金属氧化物 M[O]、冶金接合呈梯度分布的金属材料因具有润滑性能, 称为金属基润滑梯度材料(简称润滑梯度材料或 LGM)。

LGM 的润滑耐磨作用由金属硫化物、金属氧化物产生, 它们的熔点、强度都低于金属, 在摩擦时的

收稿日期: 2010-

作者简介: 张昕辉(1973—), 男, 湖北广济人, 主要从事材料表面改性、表面处理的研究与开发, 已发表论文 5 篇, 申请及获得专利 2 项。联系电话: 13917759234,

E-mail: lgmtech@vip.sina.com

温度、压力下某些部份结构变化或破碎呈粉状或半熔状提高了润滑性能及抗咬合性能。特别是 FeS、CuS、MoS₂、CrS、NiS、CoS.....同属六方点阵 P63 / mmc 空间群，具有良好的润滑性能。

2 LGM 汽车空调部件—滑履

基体材料为 GCr15 轴承钢，硬度≥700 HV0.3，表面镜面抛光。底平面直径φ10~20 mm 按高度分为 10 档从 B—K 档，每档高度 h 值公差 3 μm。LGM 处理过的滑履形貌见图 1。



图 1 LGM 处理过的滑履

Fig.1 LGM treated sliding shoes

2.1 LGM 滑履生产设备与工艺

滑履生产是在具有专利权的真空生产线进行，中等型号真空室有效容积为φ1500 mm×2500 mm，见图 1。清洁后，滑履放入生产线的真空设备的阴极；真空室中有硫和氧气氛，在阴阳极之间产生辉光放电，气压 50~200 Pa，130~150 °C 保温，生产周期 8~10 h。^[2]

2.2 取样与分析

从生产线上随机抽取 LGM 滑履样品；抽样、送检、分析按照《压缩机滑履、挡圈表面梯度材料技术条件 D260089-2006》规程。采用 FEI SIRION200 扫描电子显微镜观察 LGM 表面形貌，INCA OXFORD 能谱分析表面硫与氧含量；用金相显微镜观察 LGM 剖面梯度层及组织，拍摄金相照片。

2.3 摩擦磨损试验

采用 MMW-1A 万能摩擦磨损试验机，上试样为单件滑履，下试样为 45 钢调质标准圆环(硬度 22 HRC， R_a 为 0.4 μm，内径φ38 mm，外径φ54 mm，高度 10 mm)，距摩擦表面 2.5 mm 打一盲孔，热电偶测温试验条件：1 atm，环境温度 25.9 °C，相对湿度 52%，加注 1 mL 32 号机械油润滑，固定载荷 50 N(±1%)，转速 800 r/min($V=1.927$ m/s)，运转时间 1200 s；由试

验力传感器、摩擦力矩传感器、温控器将测数据送入工控机，在摩擦过程中实时显示试验力、摩擦因数、摩擦力矩、摩擦功和温度。

分为两组：A 组—摩擦副均空白（没经 LGM 处理）；B 组—摩擦副均 LGM 处理；每组试验次数不少于 5 次得到平均值。

3 试验结果与分析

3.1 滑履 LGM 微观形貌和梯度层分析

图 2 是 LGM 表面微观形貌，表 1 是 LGM 表层硫和氧含量；图 3 是 LGM 剖面金相照片。可以看出，滑履表面形成的 LGM 层致密，硫氧元素含量高；准化合物层深度≥12 μm，总 LGM 深度 120 μm。

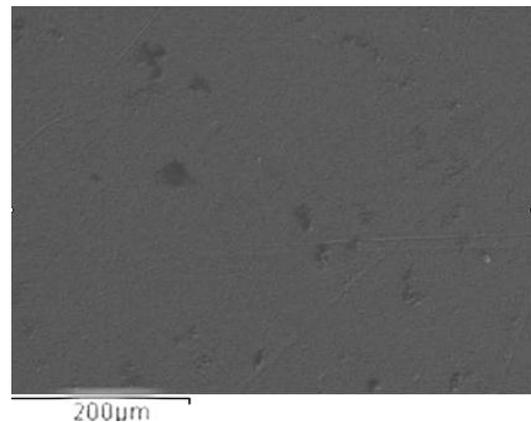


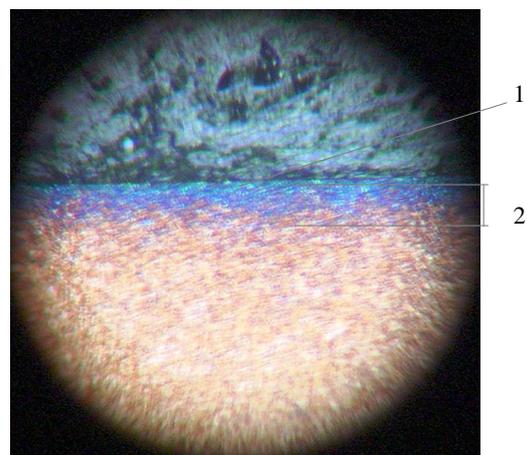
图 2 LGM 滑履表面形貌

Fig.2 Surface morphology of LGM sliding shoes

表 1 LGM 梯度层表层的硫氧含量

Table 1 Content of sulfur and oxide elements in LGM layer

| Element | Weight% | Atomic% |
|---------|---------|---------|
| O K | 4.53 | 9.61 |
| S K | 6.90 | 7.30 |



1 准化合物层深度 high content compounds depth 12μm

2 总深度 total depth 120μm

图 3 梯度材料滑履显微组织 ×120

Fig.3 Microstructure LGM sliding shoes in cross section

3.2 LGM 摩擦因数

图 4 是 A 组中抽取的摩擦因数和摩擦温升随时间变化的实时曲线；图 5 是 B 组中抽取的摩擦因数和摩擦温升随时间变化的实施曲线；表 2 是摩擦因数、摩擦温升和摩擦功的平均值对比。

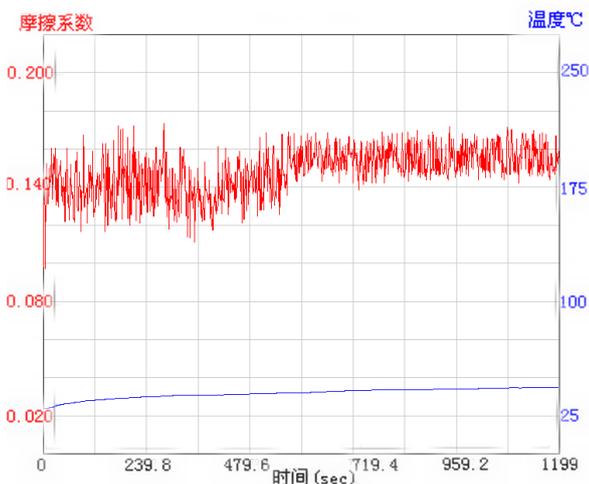


图 4 空白摩擦副的摩擦因数和摩擦温升随时间变化曲线

Fig.4 Friction coefficient and temperature rise of untreated pairs with time

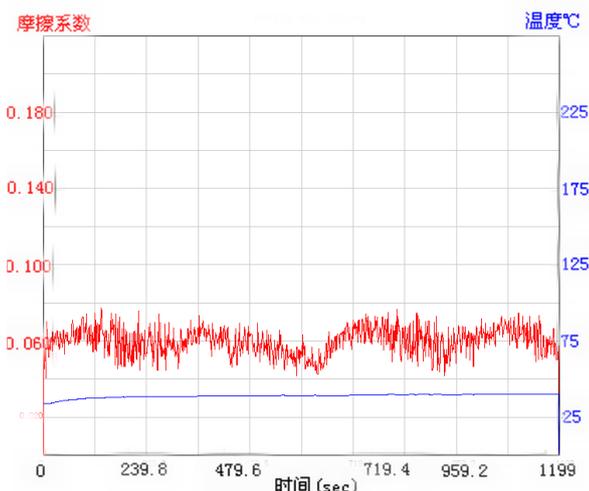


图 5 LGM 摩擦副的摩擦因数和摩擦温升随时间变化曲线

Fig.5 Friction coefficient and temperature rise of LGM pairs with time

表 2 相同条件下的摩擦因数、摩擦温升和摩擦功的平均值对比

Table 2 Comparison of the average values of LGM friction pairs and untreated pairs under the same condition

| 摩擦副对比 | 摩擦因数平均值 | 摩擦温升平均值/℃ | 摩擦功平均值 |
|-----------|---------|-----------|---------|
| untreated | 0.124 | 12.6 | 12586.1 |
| LGM | 0.075 | 9 | 6126.9 |

摩擦副都经过 LGM 处理后，平均摩擦因数降低 39.5%；同时由摩擦产生的能耗降低了，平均摩擦功降低 51.3%，

3.3 LGM 压缩机的耐磨性能

表 3 是包括滑履在内的各种汽车空调压缩机运动

部件的整机，在无油条件下对比；LGM 零件寿命提高 1.5~3.4 倍；而整机可靠性提高 1.5 倍。

表 3 汽车空调压缩机 LGM 零件运转对比

Table 3 Comparison of running time of different metal parts of LGM with untreated metal parts in automotive air-conditioning compressors under non-oil

| 零件名称 | 状态 | 负载码/kg | 转速/rpm | 干摩擦咬死时间/s | 提高倍数 |
|-----------------|-----|--------|--------|-----------|------|
| 斜盘挡圈 | LGM | 20 | 800 | 35 | 2.33 |
| | 普通 | 20 | 800 | 15 | |
| 推力片、滚针推力轴承、主轴轴承 | LGM | 20 | 800 | 1380 | 2.88 |
| | 普通 | 20 | 800 | 480 | |
| 滑履、斜盘 | LGM | 10 | 800 | 1020 | 3.4 |
| | 普通 | 10 | 800 | 300 | |
| 钢球、固定齿轮、摆动齿轮 | LGM | 20 | 800 | 150 | 1.5 |
| | 普通 | 20 | 800 | 75 | |

4 自主创新 LGM 汽车空调零部件工业化生产

LGM 滑履、挡圈、滑片先后通过汽车空调环境模拟、压缩机全性能试验、压缩机高速和超高速耐久性能、装车耐久性、量产验证累计四年考核；自 07 年 9 月开始工业化生产，截止至 10 年 7 月 31 日（见图 6），已经累计生产 LGM 滑履 1461.6 万件，装备乘用车 104.4 万台。仅 2010 年装车将达到 52 万台。已经配套上海大众 PQ24、PQ35、PQ46 平台的 PASSAT、POLO、SANTANA 桑塔纳等车型；上海通用 EPSILON II 平台的新君威、新君越、别克 GL8 等车型；上海汽车的荣威 ROEWE350、550、750 等车型；LGM 单向斜板式变排量压缩机国内市场份额超过 50%。

表 4 2007 年—2010(1-7 月)年 LGM 零部件与装车数据

Tab4. Amounts of LGM parts and automotive compressors from the year of 2007 to early seven month of 2010

| | LGM 滑履(万件) | LGM 压缩机(万台) |
|-------------|------------|-------------|
| 07 年 | 128.3 | 9.2 |
| 08 年 | 320 | 22.9 |
| 09 年 | 463.9 | 33.1 |
| 10 年(1-7 月) | 549.4 | 39.2 |
| 累计 | 1461.6 | 104.4 |

LGM 整机与零件获得专利^[10-11]。制定了 LGM 零部件标准，正在通过 ISO/TS 16949 体系评审。

从 LGM 材料到设备，从制造工艺到 LGM 产品

均有自主知识产权,实现了产业化,打破了“我国高等学校和科研单位在热处理领域...的研究成果...鲜见有产业化的成功先例”^[12]。

同时,更新一代的雾态气体放电专利于2010.6.9公布^[13]。

5 结语

1) LGM 应用在乘用车空调压缩机上,零部件平均摩擦因数降低 39.5%,平均摩擦功降低 51.3%;使用周期提高 1.5~3.4 倍;整机可靠性提高 1.5 倍。

2) 制订《GCr15 钢润滑耐磨梯度材料验收企业标准》、《压缩机滑履、挡圈表面梯度材料技术条件》等质量体系文件,应用在压缩机零件标准化生产中。

3) LGM 压缩机已配套上海大众、通用及上海汽车。投产 35 个月,累计装车 104.4 万台。

4) LGM 及整机与零件专利 3 项,申请雾态专利一项,实现了我国热处理领域自主创新产业化。

参考文献:

[1] 张弋飞. 金属零件表面形成硫化物层的方法及设备[P]. 中国专利: CN85106828, 1987-12-30;日本专利: JP1508879, 平成 1 年 7 月 26 日; 欧洲专利(英国, 法国, 意大利, 德国, 瑞典): EP0218916, 1991-12-27.

[2] 张昕辉, 张弋飞. 具有良好润滑耐磨的金属基复合梯度材料, 其制备方法和用途[P]. 中国专利 ZL98809509.2; 2004-06-30; 美国专利 US6, 468,679, 2002-10-22 欧洲(英国、德国、法国、瑞典、意大利) EP1052306 B1,2006-01-18.

[3] 张弋飞, 张昕辉. 从离子渗硫到润滑耐磨梯度材料[J]. 机械工程材料, 2001, 25(10):33-35.

[4] 毛红兵. 具有固体润滑层的牙轮钻头[P]. 中国专利: CN00114553.3,2000-11-22.

[5] 李春元. 自润滑硬齿面平面蜗轮副[P]. 中国专利: CN200520001534.2,2006-05-10.

[6] 马骏, 顾文, 陶明飞等. 可变排量旋转斜盘式压缩机[P]. 中国专利:200510112016.2, 2007-07-04.

[7] 杨念萱, 周继峥, 沈兴家. 一种压缩机斜盘[P]. 中国专利: 200610027179.5,2007-12-05.

[8] 杉冈隆弘, 杉浦学, 星田隆宏, 等. 压缩机[P]. 专利申请: [200410055041.7](#) 公布日 2005-02-02.

[9] Takahiro Sugioka, Manabu Sugiura, Takahiro Hoshida etc. Compressor [P]. Patent No US : 7,156,014, 2007-01-02.

[10] 杨念萱, 周继峥, 沈兴家. 压缩机及压缩机滑履[P]. 中国专利: 200510111158.7, 2007-06-13.

[11] 周继峥, 潘嘉晔, 顾国庆等. 滑片式压缩机的滑片[P]. 中国专利: 200610148790.3, 2008-07-02.

[12] 潘键生. 以科学发展观分析我国热处理存在的问题[J]. 金属热处理, 2009, 34(6):117.

[13] 张弋飞, 张昕辉. 雾态气体的制备及通过雾态气体放电形成新材的方法和设备[P]. 专利申请号:200810172701.8, 公布日 2010-06-09.