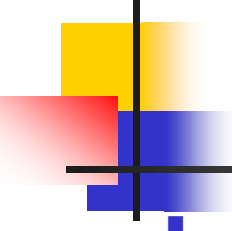


润滑梯度材料LGM 在压铸行业中的初步应用

张昕辉，刘 华，张弋飞

上海领异金属表面材料有限公司



■ **摘要：**本文从易脱模、耐磨损、抗龟裂的角度，介绍了润滑梯度材料（以下简称LGM）技术应用在压铸行业的热作模具/配件上；

LGM的平均摩擦因数降低33%，磨损降低65.2%

LGM不与金属熔液反应，防止粘模和疲劳裂纹产生，脱模顺畅；

LGM压铸件合格率提高20%，模具、压射冲头（锤头）、压室（料筒）、镶针等，使用寿命提高2-5倍；

LGM提高生产效率，减少停机和模具维修。

拥有自主知识产权LGM专利，在多个领域已经有广泛应用

■ **关键词：**压铸；模具；润滑梯度材料；LGM；熔液腐蚀；磨损；热疲劳

1 润滑梯度材料LGM层介绍

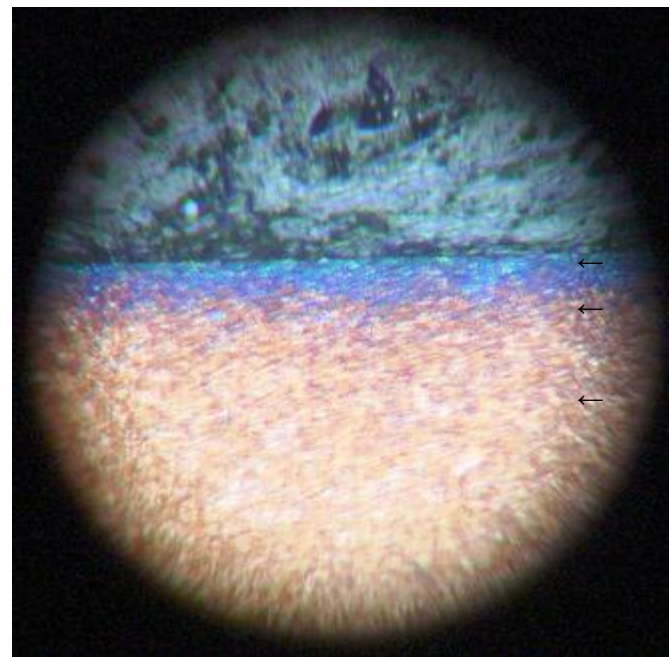
1.1 LGM定义 [1]

- 金属、金属化合物组成的复合材料
- 纳米/微米级活性原子渗入金属表面

微晶化合物浓度从表面到内部逐步降低，呈梯度分布，称为金属基润滑梯度材料

简称润滑梯度材料或LGM

- 图1是LGM-GCr15剖面金相组织，金属表面形成的LGM层致密，元素含量高；



1准化合物层深度high content compounds depth 12 μ m
2总深度total depth 120 μ m

图1 梯度材料滑履显微组织 $\times 120$

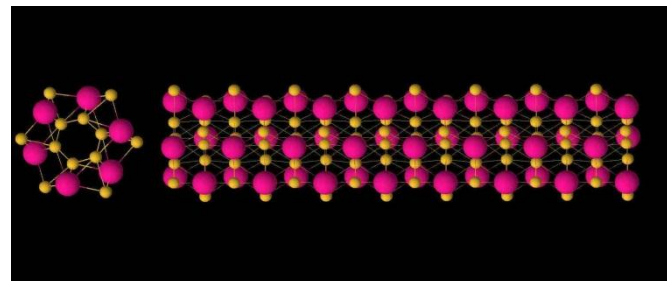
- 准化合物层深度 $\geq 12\text{ }\mu\text{m}$ ，总LGM深度 $120\text{ }\mu\text{m}$ 。

纳米 / 微米晶体化合物

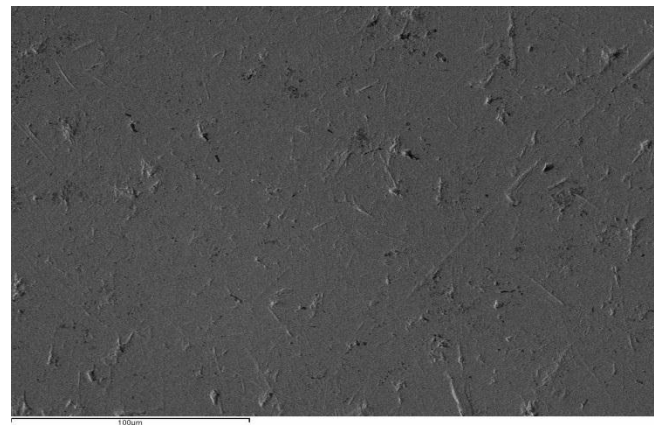
- 属六方点阵P63 / mmc空间群，具有低摩擦因数和优良的固体润滑性能以及抗咬合性能
- 具有高的耐磨性和承载能力

Element	Weight%	Atomic%
O	4.53	9.61
S	6.9	7.3

表1 LGM梯度层表层的活性元素元素含量



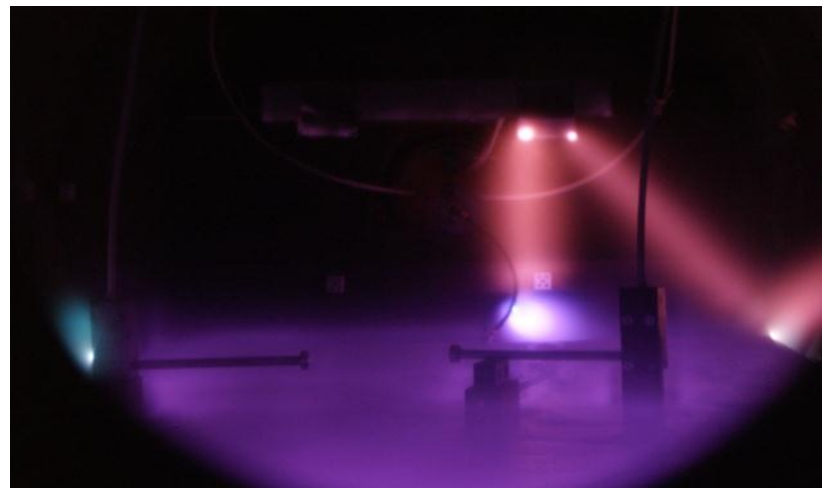
典型六方层状结构



LGM表面形貌

1.2 LGM生产^[2]

- 清洁后，模具放入生产线真空设备
- 真空室中充入工作气体，在阴阳极之间产生辉光放电，在一定气压和温度下保温，生产周期16~22 h。
- 高能粒子轰击加热零件，每个件自加热，LGM层均匀性好
- “零变形”——尺寸稳定性好，无需预留尺寸
- 是零件制造的最后一道工序；
- 适合所有钢（热作/冷作模具钢、高速钢、轴承钢—）、铸铁、铜等及合金，渗碳、渗氮、镀Ni共渗等



辉光放电+弧光放电

2 LGM压铸模具/配件的主要特点

通过LGM处理的热压铸模具、铸铁\H13钢压射冲头（锤头）、压缸（司料筒）、浇口套、镶针等，具有以下特点：

2.1 耐金属腐蚀性能

- 在压铸生产中，高速的金属熔液（以Al为例）冲击模具表面，将模具表面的氧化膜、润滑剂等冲刷掉，使Al熔液与模具基体直接接触
- 模具表面Fe元素与Al容易产生化学反应，形成Fe-Al金属间化合物；
$$\text{Fe} + \text{Al} \rightarrow \text{Fe-Al}$$



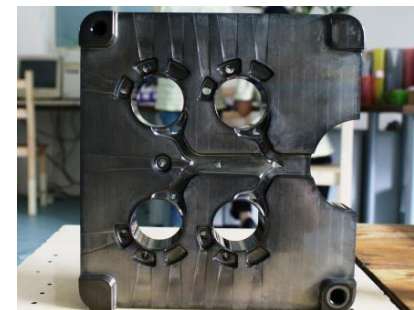
LGM 镶针



LGM 压室（司桶）



LGM 模芯



LGM 模具

- Fe-Al金属间化合物与模具有很强的粘接力，是产生粘模的主要原因（图3-1、3-2）。
- LGM在模具表面形成高浓度、连续的纳米/微米晶体化合物
- 微晶化合物性质稳定
- 与模具基体形成渗透层，结合好
不同于传统的涂料或涂层
- 在高温下具有化学惰性
- 具备上述特点，这道**LGM屏障**, 不与**Al熔液**反应，抗腐蚀、降低粘模发生，脱模更顺畅（图4-1，4-2）
- 压铸件产品合格率提高**20%**（图4-3）



图3-1 未处理模具钢表面化学腐蚀严重



图4-1 LGM模具表面承受熔液腐蚀，保持高光洁度

图3-2 普通模具使用1天表面状况



图4-2 LGM模具使用5天表面状况

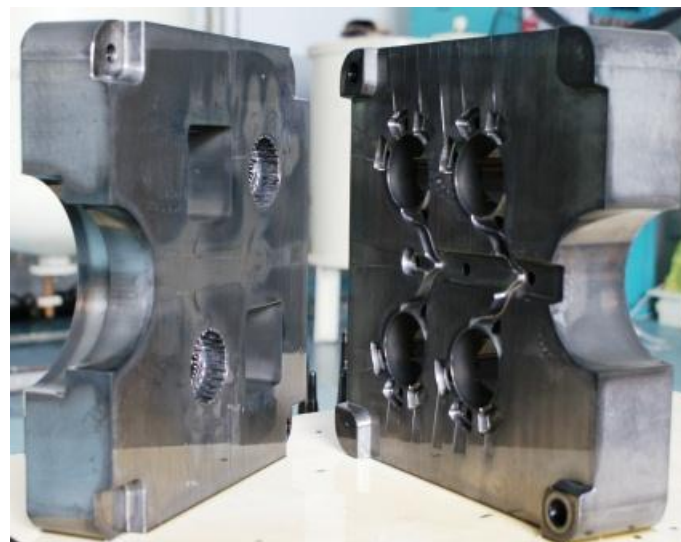
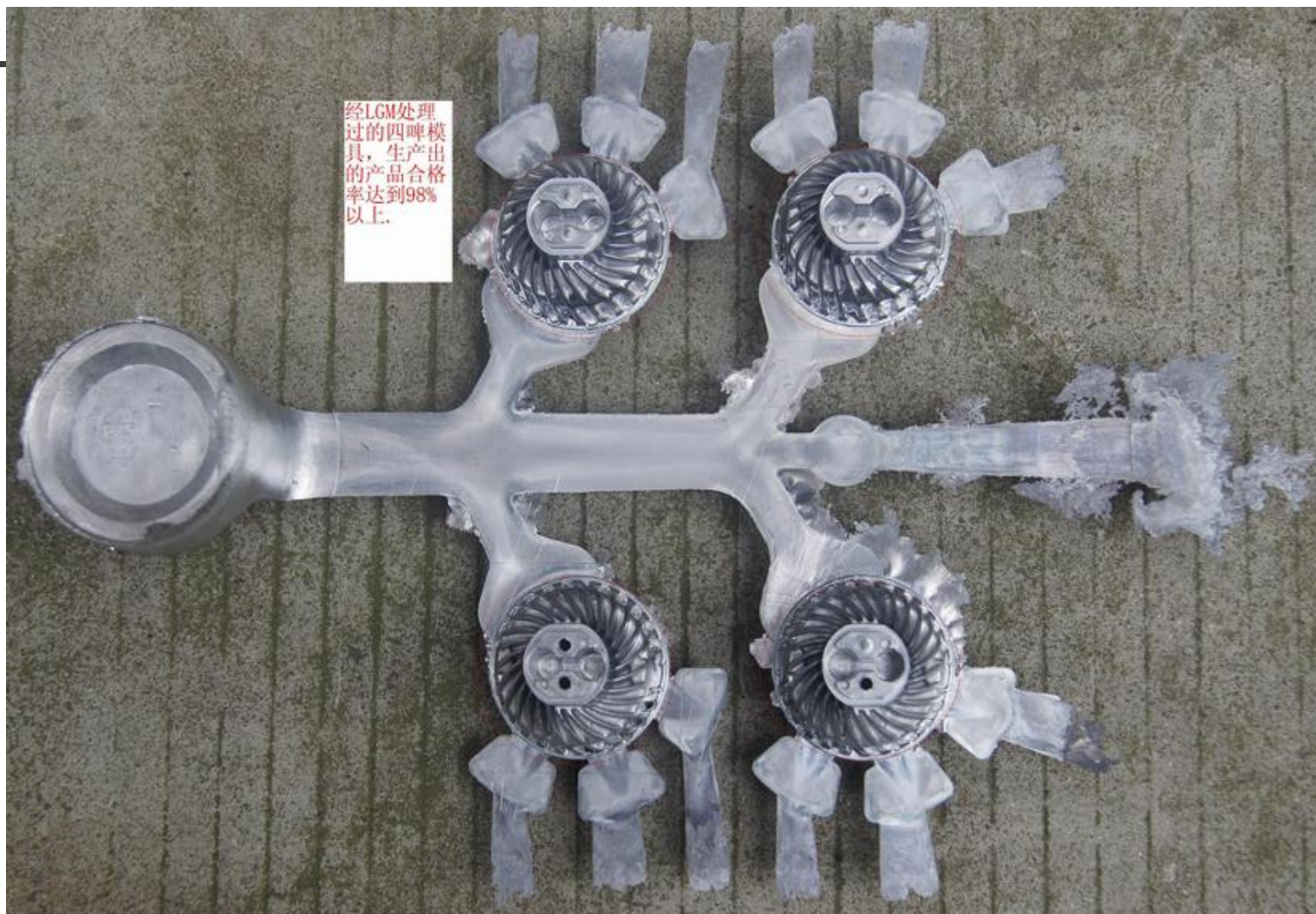
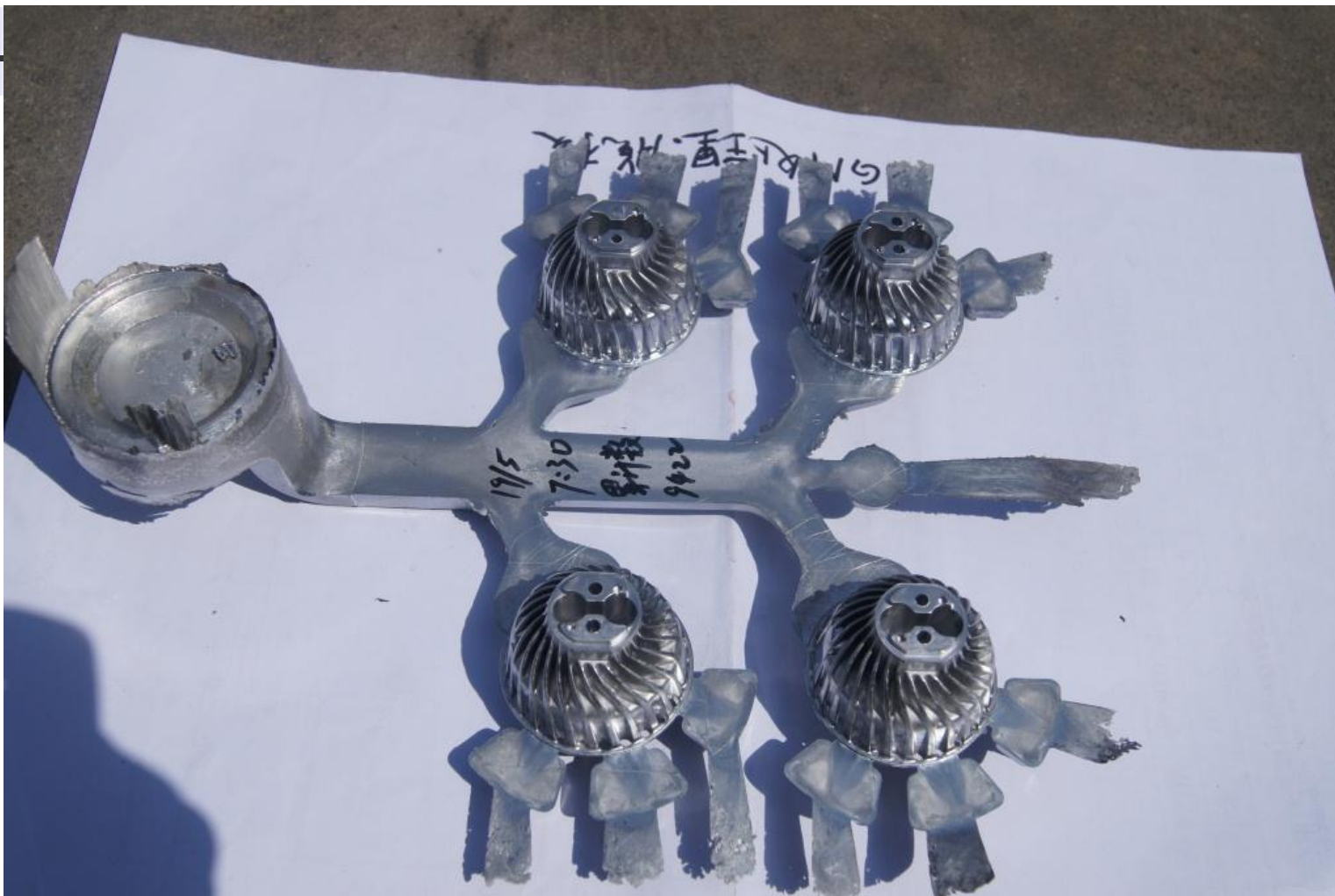


图4-3 LGM四啤模具生产产品合格率提高20%

(A、合模存在间隙，产生飞边)

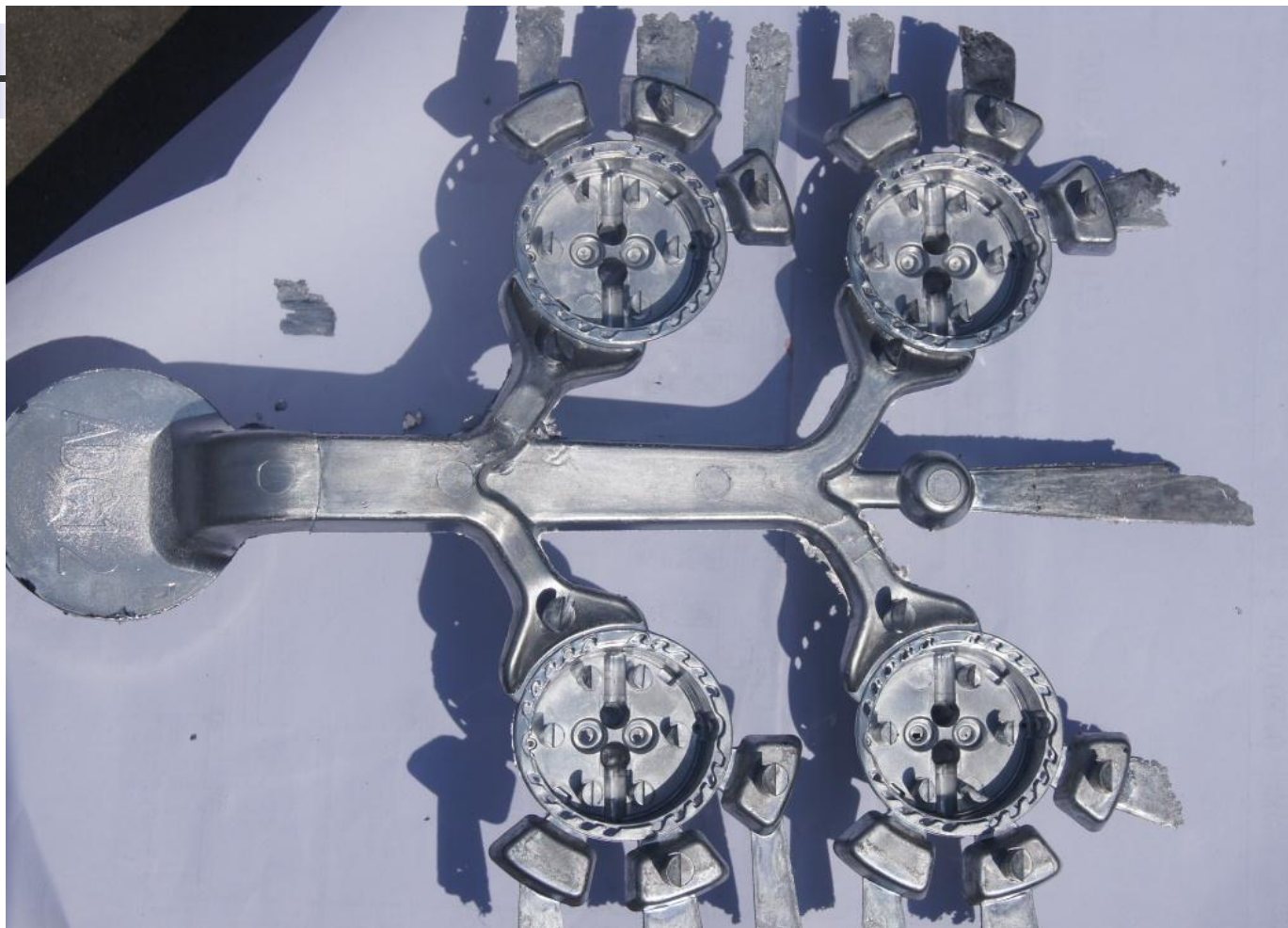


B、随合模次数增加，LGM模具合模紧密，产品几乎不产生飞边



C、LGM模具压铸产品反面，光洁度更高

普通模具飞边不断积累，合模间隙增大，产生飞料，更严重者模芯粘铝（图3-2）



2.2 耐磨损性能

- 采用MMW-1A万能摩擦磨损试验机，固定载荷50 N，转速800 r/min($V=1.927\text{m/s}$)，运转时间1200s；
- 图5和图6是未处理试样和LGM试样摩擦因数对比；

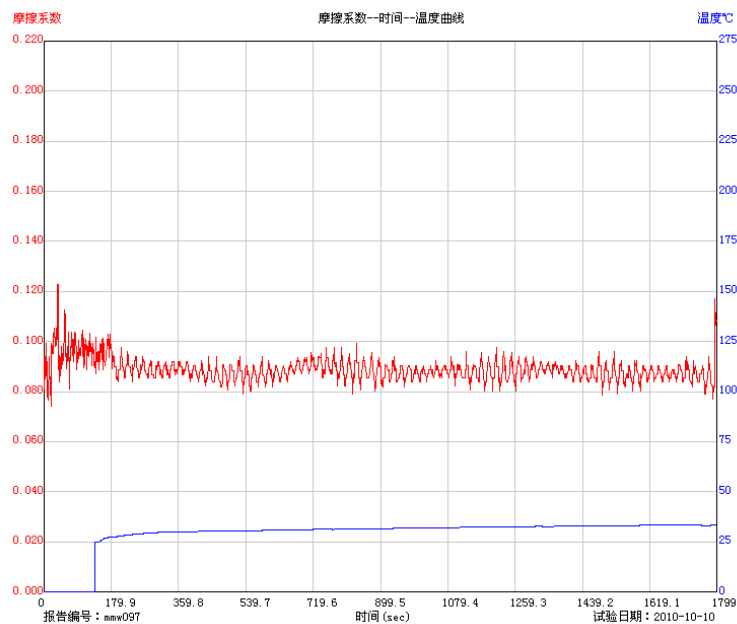


图5 空白轴承钢球 Vs 空白钢环
平均摩擦因数0.09

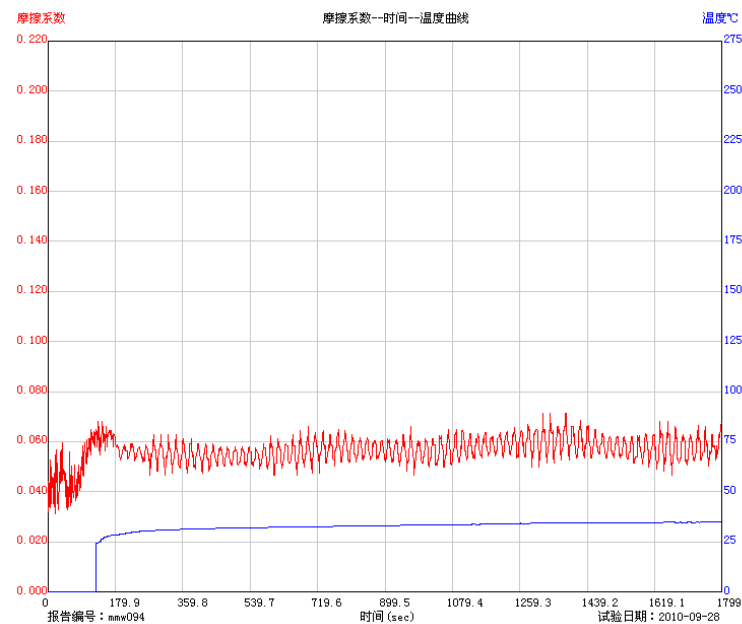


图6 空白轴承钢球 Vs LGM钢环
平均摩擦因数0.06

- 图7-1和图7-2是未处理下试样和LGM下试样磨痕宽度对比
- 平均摩擦因数降低33%;
- 磨损降低65.2%
- 使用寿命增加 2-5倍
- 一方面，低摩擦的LGM 提高了模具的耐磨性
- 重要的是，不同Al/Mg材，有针对性选择oliver不同模具钢
- 多种硬度+LGM匹配，使模具发挥到最佳状态。（见表2）

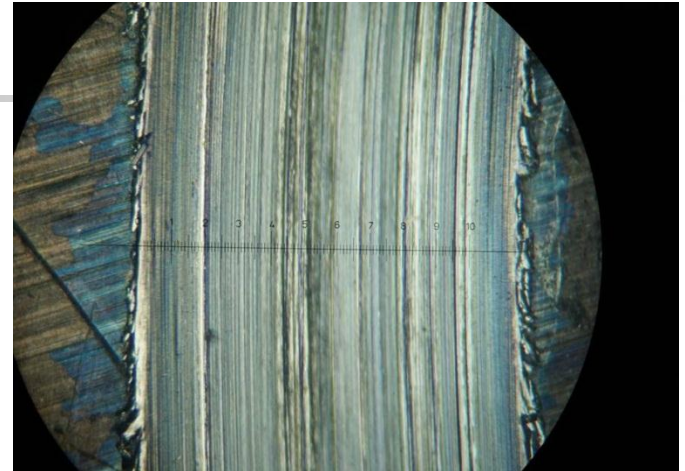


图7-1 空白环磨痕，宽度1.15mm



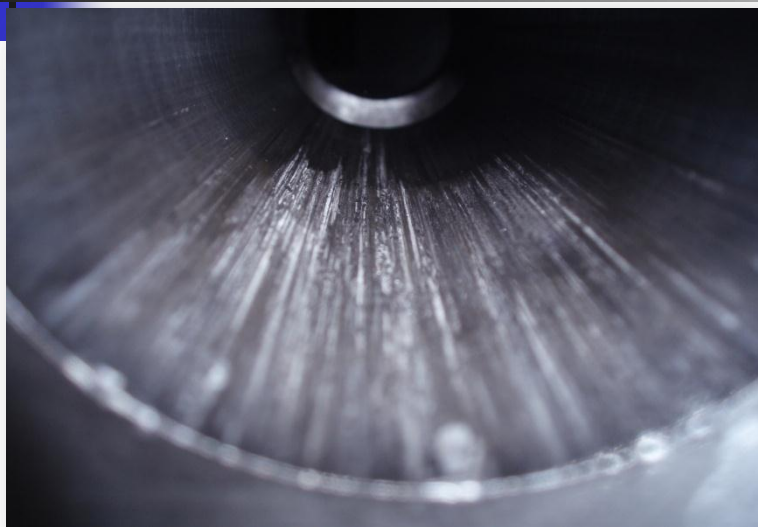
图7-2 LGM钢环磨痕，宽度0.35mm

表2是多种模具/配件的使用周期初步对比

零件	材料	状态	寿命（万次）	压铸机型	提高倍数
压射冲头（锤头）	铸铁	普通	1天	宇部350T	5
	CrMoCu合金铸铁	LGM	5天		
	4Cr5MoCrV1(H13) 氮化（图8-3）	LGM （图8-2）	4.1	宇部350T	4
		普通 （图8-1）	0.96		
压室（司桶）	521ESR(H13) 氮化	LGM	30	宇部350T	3.5
		普通	8-10		
压铸模具	A328-VMR A348-VMR(改良H13)	LGM	25	力劲280T	3
		普通	7		
		LGM	30	力劲280T	3
		普通	10		

LGM在AL壓鑄易損件的應用（每家狀況不同）

压缸
(料筒)



锤头



图8-1 未經過LGM處理，9599模次時磨損狀況，已開始卡沖頭

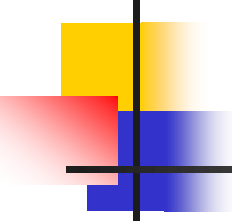


图8-2 LGM處理，40832模次時磨損狀況，未卡沖頭，仍在使用中

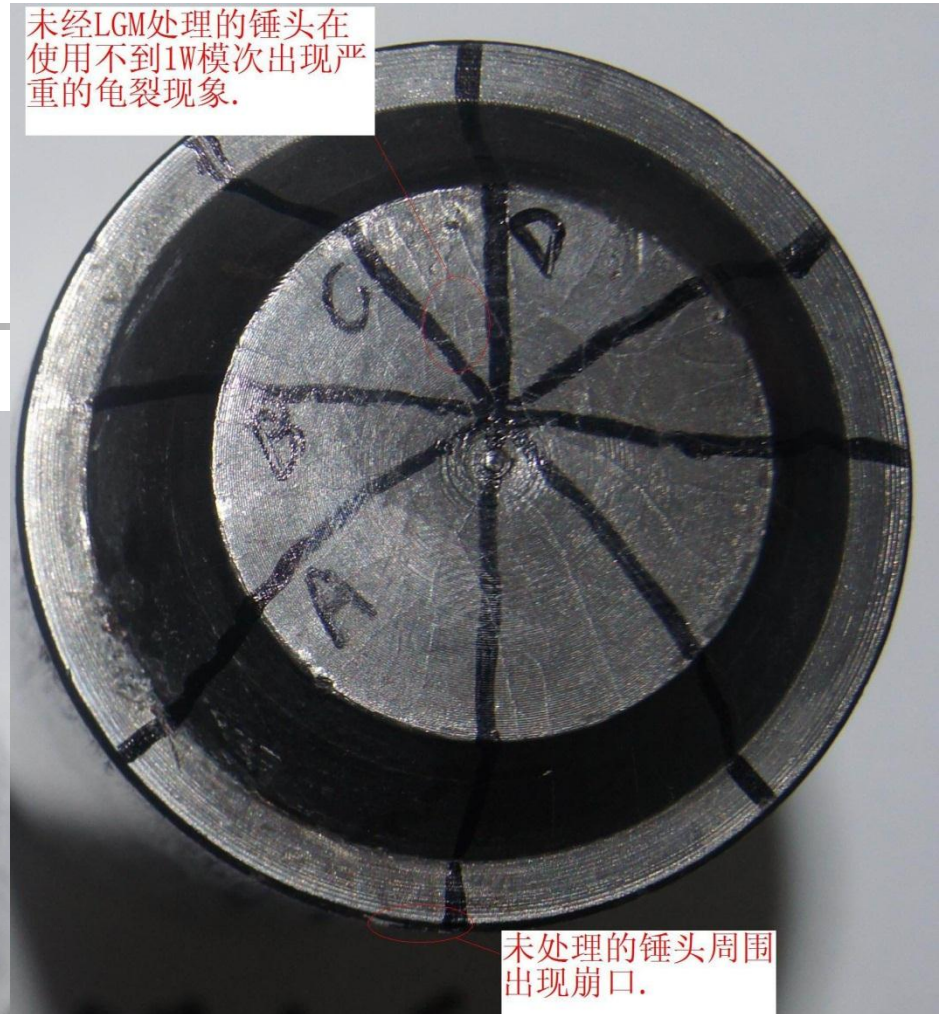
2.3 抗热疲劳性能 [3] [4]



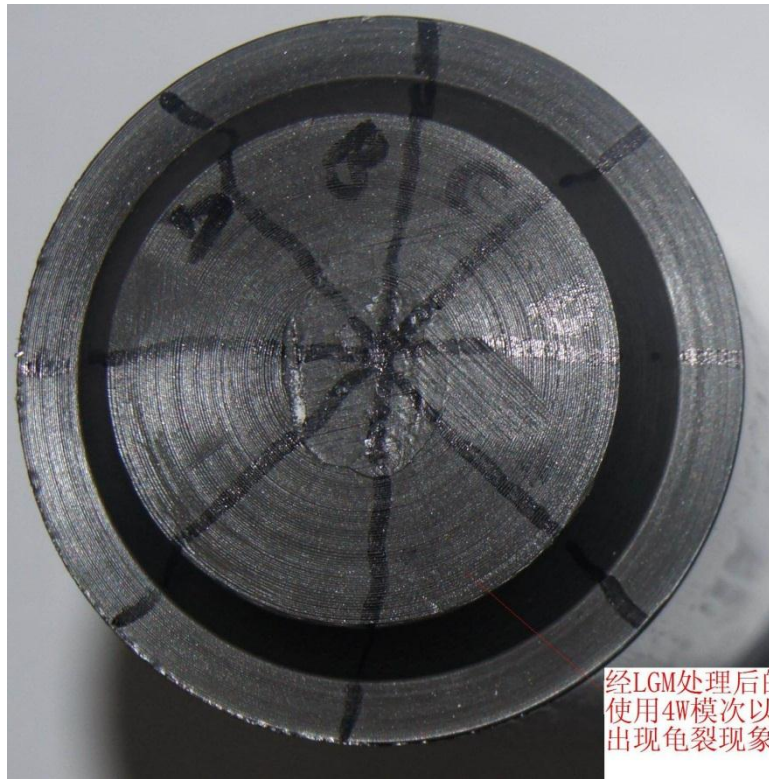
图8-3 使用LGM锤头（41000次）/ 普通锤头（9159次）热疲劳状况对比



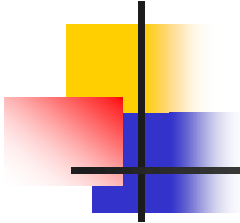
未经LGM处理的锤头在
使用不到1W模次出现严
重的龟裂现象.



未处理的锤头周围
出现崩口.



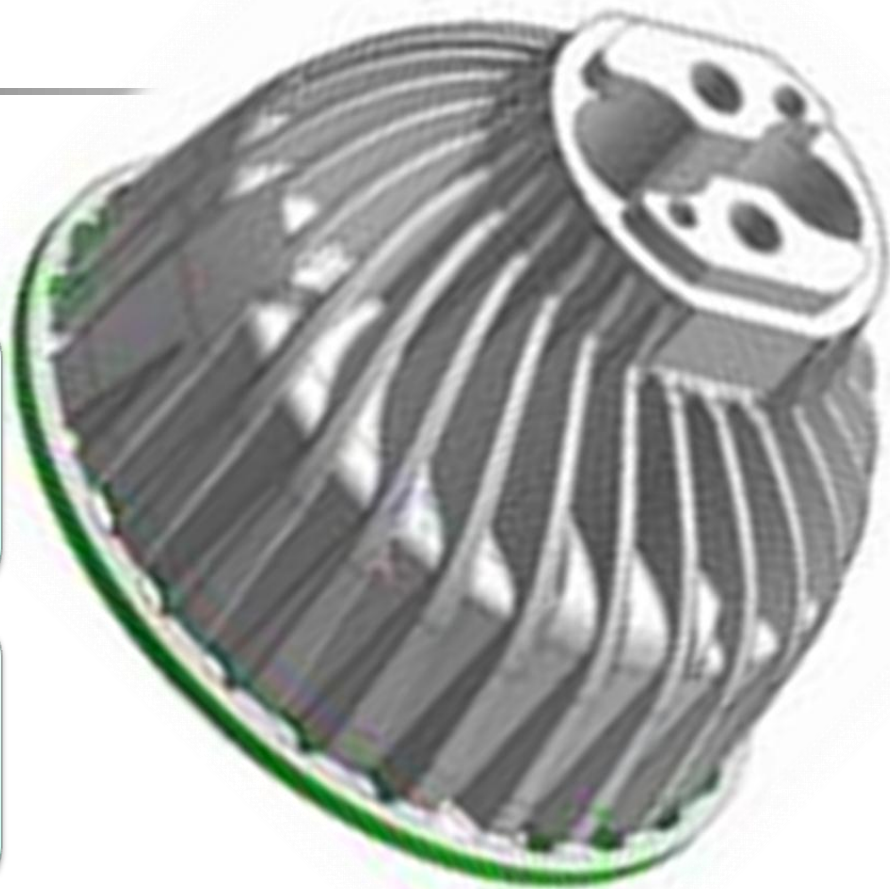
经LGM处理后的锤头, 在
使用4W模次以后, 仍未
出现龟裂现象.



未做**LGM**處理，模具生產到**7000**模次時斷針，並易粘模；

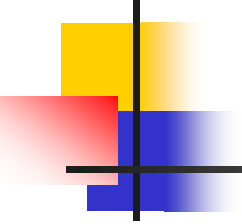
LGM處理後模具生產測試到**17599**模次時，沒有斷針，粘模次數較之前減少**50%**；

LGM模具在防龜裂時壽命已經延長**1.32**倍，目前仍在使用中；



三版模从钢材、设计、LGM表面处理，为Ford汽车压铸变速箱部件
保证10万模次寿命，气孔直径小于0.3mm



- 
-
- 压铸过程中，高温急热使模具产生压应力，压铸前在型腔喷涂润滑剂急冷产生拉应力；
 - 交变应力超过模具弹性极限时，产生龟裂

LGM减少热龟裂发生基于几个方面：

- LGM易于塑性流变，使接触面积增大，所承受的真实接触应力减小
- LGM离子轰击，对表面是一个显微抛光过程，提高模具表面光洁度，减少了产生裂纹的可能性

- LGM的微孔结构有利于存储更多的脱模剂，脱模剂完全包覆模具表面，提高模具承载能力
- LGM熔点达到1193℃，图9是LGM与润滑油脂、MoS2耐温对比
- 在1200℃高温下，LGM仍具备优良的润滑性能，用于凝固钢水的结晶器和热轧辊等高温条件；

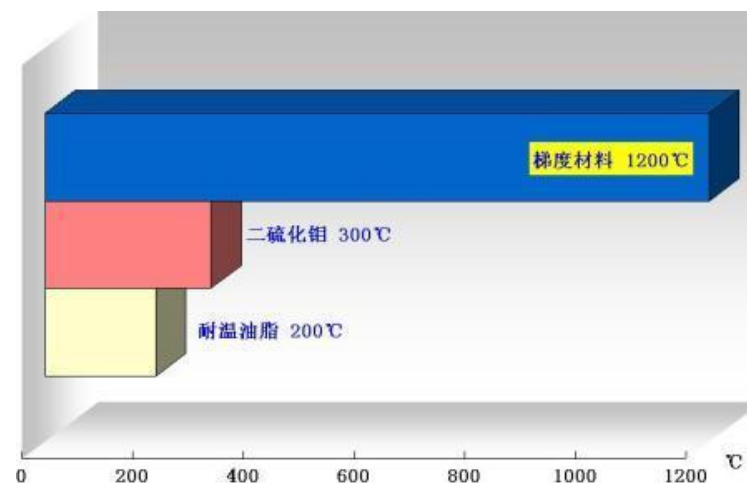


图9 LGM与润滑油脂、MoS2耐温对比

2.4 检验金属表面缺陷



图10 金属表面缺陷

- 模具精加工后，会存在表面加工磨痕或划伤，甚至表面存在夹杂、缩孔等缺陷(见图10)，仅凭眼睛很难发现
- 是导致疲劳失效的“先天性裂纹源”；
- LGM不与金属夹杂反应，这时金属夹杂与模具表面产生色差，直观检测出金属缺陷；
- 同时LGM有效消除加工磨痕和划伤
- 直接减少了热疲劳裂纹源，提高了热疲劳寿命。

2.5 提高生产效率

由于LGM不与熔液金属产生化学反应，抗腐蚀，脱模更顺畅

- LGM提高压铸模具/ 配件的使用寿命，降低模具费用（包括开模、材料等）
- LGM模具不粘/耐磨，提高了铸件产品质量和合格品率
- 降低压铸机停机次数，提高生产效率；
- 模具维修大幅降低
- 既改善生产环境，又降低了对自然环境造成的污染



3 LGM在其它领域的应用与知识产权

3.1 知识产权 [5] [6] [7] [8-11]

从低温离子渗硫专利发展的LGM专利，（见图11）到新一代的雾态气体放电专利
领异公司在多种零部件上实现工业化生产，并获得产品专利；



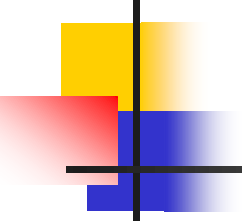
图11 欧洲专利



美国专利



中国专利

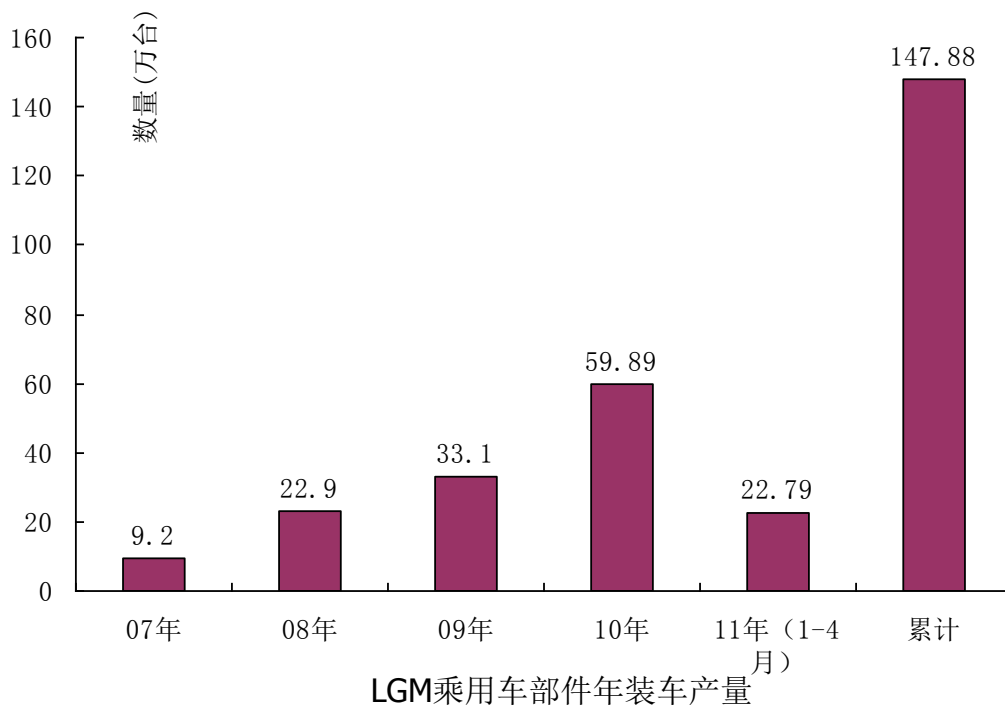


新一代雾态气体放电专利



3.2 LGM专利应用

- 每台乘用车空调压缩机有14件LGM滑履运转，装备有：
- 上海大众PQ24 、 PQ35、PQ46平台的PASSAT、POLO SANTANA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



自07年9月开始工业化生产，截止至11年04月31日，已经累计生产LGM滑履 2069.7万件，装备乘用车147.8万台

斜板式变排量压缩机国内市场份额超过50%。

表3 车用空调压缩机运转数据对比。[1]

零件	类型	负载 (kg)	工况 (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	负载干启动：不添加 207cc 润滑油		1380	2.88
	普通			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秒	

- 每台重型卡车变速箱有**10件LGM**齿圈运行，累计装备一汽集团解放卡车**11.5万台**；
- 每台大功率船舶柴油机装备**18件LGM**滑动部件，配套广州柴油机厂万吨轮；
- **LGM**在叶片泵、柱塞泵、工业缝纫机等领域均有广泛应用。

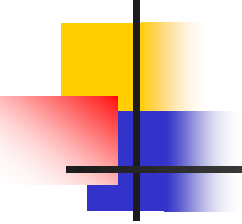


4 结语

- 1) LGM使模具不易粘铝，更易脱模、耐磨损、抗龟裂
- 2) LGM的平均摩擦因数降低33%，磨损降低65.2%

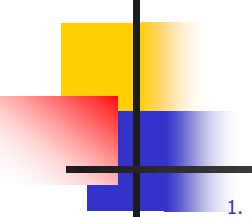


滤波器模芯/ 流道粘铝、热龟裂

- 
- 3) LGM压铸件合格率提升20%，模具、压射冲头（锤头）、压室（料筒）、镶针等，使用寿命提高2-5倍；
 - 4) LGM提高生产效率，减少停机和模具维修。
 - 5) 拥有自主知识产权LGM专利，在多个领域已经有广泛应用

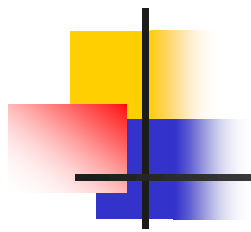


浇口套严重粘铝、拉花；顶针弯曲



参考文献

1. 张昕辉, 张弋飞, 刘华等. 润滑梯度材料LGM在车用空调压缩机滑履中的应用[J]. 金属热处理, 36(2): 59-62
2. 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
3. 王荣滨. 铝合金压铸模失效分析、选材与强化处理研究[J]. 模具制造, 2008(2)
4. 姜银方, 顾卫星. 压铸模具工程师手册
5. 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.
6. 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.
7. 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
8. 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.
9. 李春元. 自润滑硬齿面平面蜗轮副[P]. 中国专利: CN200520001534.2, 2006-05-10.
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.



全文完

谢谢