

烧结钢金属塑料摩擦磨损性能的研究

金卓仁

(合肥工业大学)

【摘要】本文介绍了一种新型自润滑材料——烧结钢金属塑料。它是用粉末冶金工艺将铁粉和石墨粉压制得多孔性基体,然后用真空—加压法向孔中渗透PTFE乳液而制成,是一种较为理想的减摩材料。文中评定了该材料的摩擦磨损特性,并与DU材料的性能作了比较,同时还介绍了它在汽车零件上的应用情况。

A Study on Friction and Wear Behavior of Sintering Steel Plastics

Jin Zhuoren

(Hefei University of Technology)

【Abstract】A new type of self-lubricating material, sintering steel plastic, has been developed. It is manufactured by pressing ferro-powder and graphite to a porous metallic matrix with a powder metallurgy process, and then permeating the PTFE emulsion into the porous by means of vacuum-pressure method. This is an ideal reducing friction material. The friction and wear behavior of this material has been evaluated and compared with DU material. Using this material as an element of automobile is also introduced.

一、前言

随着工业技术与科学发展的需要,人们希望得到一种像金属那样好的强度和耐磨性,象塑料那样低的摩擦系数,并且又能自润滑的新材料,于是进行了金属材料与塑料

复合的尝试。尝试中遇到许多困难,尤其是将钢材与摩擦系数很低的PTFE进行复合时。这有二个方面的原因,一是钢材与PTFE之间结合强度较低;二是钢材与PTFE的线膨胀系数相差很大。

随机械零件间相对运动而产生的大量摩

擦热引起的内应力可由下式^[1]求得:

$$\Delta\sigma = (\alpha_1 - \alpha_2) \Delta T \cdot E_1 / (1 - \nu_1) \dots \quad (1)$$

式中: $\Delta\sigma$ —因温度变化而引起的应力变化值;

α —线膨胀系数;

ΔT —温度变化;

E —弹性模量;

ν —泊桑比;

下标: 1—PTFE; 2—钢材

一般在摩擦过程中引起的温度变化约有两个数量级, 而钢材与PTFE之间的线膨胀系数差只有一个数量级。因此由温度而产生的内应力将是很大的, 它足以破坏钢材与PTFE之间已经相当脆弱的结合, 从而导致复合失败。为了解决这一难题, 英国Glacier金属公司早在本世纪50年代就开展了这项研究, 并取得了成功。成功的关键是他们采用了烧结青铜层作为过渡层。这样, 一方面由于烧结青铜层的粗糙表面给氟塑料与金属之间提供了良好的机械勾联条件, 提高了两者之间的结合力; 另一方面由于烧结青铜层的多孔性, 当氟塑料热膨胀时起到了缓冲形变的作用, 从而可削弱温度内应力对结合层的破坏作用。这种由镀铜钢板、烧结青铜层和氟塑料三者有机结合而成的金属材料被称为DU材料。由于它兼有金属和塑料两者的长处, 性能十分优良, 因此是一种较为理想的减摩材料, 被广泛应用于机械、汽车、农机、纺织、食品、船舶、航空及宇航等工业中, 并取得了明显的经济效益^[2~4]。但由于DU材料的结构比较复杂, 价格也比较高, 因而在我国推广使用时受到了一定的限制。为此, 我们研制了烧结钢金属塑料这种新材料, 它是在吸收DU材料的某些长处的基础上, 加以适当的改进而成的。

二、材 料

烧结钢金属塑料的生产工艺由基体制备

和渗透PTFE两大步骤组成。其工艺流程如图1所示。

混料→压制→烧结→烘干→真空加压渗透→固化→整形

图1 工艺流程

1. 基体制备

烧结钢金属塑料的基体制备, 采用传统的粉末冶金法生产, 把铁粉、石墨粉和少量合金粉压制烧结而成。为了使基体既有足够的强度, 又有足够多的孔隙来贮存高分子聚合物, 有必要控制适当的孔隙率。另外, 为了增强基体的强度, 也有必要添加一些合金元素进行固溶强化。制备时按选定的配比配好料, 在V型混料器中混合均匀, 然后在压机上压制成型。压坯在还原性气氛中进行烧结, 烧结温度的选择原则大致为 $T_{\text{烧结}} = 0.75 T_{\text{熔点}}$ 。

2. 渗透工艺

为了保证基体中的毛细孔完全被高分子聚合物所填充, 根据界面化学中的Laplace公式^[5], 增加压力将是有益的。为此我们将传统的高真空渗透法改为“真空—加压法”, 取得了较为满意的结果。其过程为先将烧结制品进行表面清洁处理, 然后置于真空容器中抽真空, 将毛细孔中的空气抽走, 抽到规定真空度后加入PTFE乳液, 放空, 然后再进行加压, 并在一定压力下保持一段时间, 最后经烘干、固化、整形即成。

三、摩擦磨损性能

摩擦磨损性能的测试主要是在MM-200型磨损试验机上进行。测试原理见图2。上试样为欲测试样, 其规格为 $25 \times 7 \times 7 \text{ mm}$; 下试样为对偶件, 其材质为硬质合金, 硬度为HRC64~66, 表面光洁度为 $\nabla 7$, 工况条件为无油润滑。试验时上试样固定不动, 下试样以一定速度旋转, 两者发

生相对运动形成滑动摩擦。载荷加在摩擦面的法线方向上。从试验机上可直接读出摩擦力矩的大小, 摩擦系数则可通过下式由摩擦力矩求出:

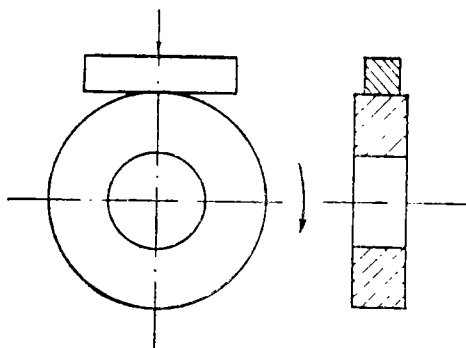


图2 摩擦磨损测试原理图

$$\mu = \frac{M}{PR} \quad (2)$$

式中: μ —摩擦系数;

M —摩擦力矩, $N \cdot cm$;

P —载荷, N ;

R —下试样半径, mm

材料的耐磨性能可直接用磨痕宽度来表示, 也可用磨损体积来表示。磨损体积可由下式求出:

$$V = \left[R^2 \arcsin \frac{b}{2R} - \frac{b}{2} \sqrt{R^2 - \left(\frac{b}{2} \right)^2} \right] L \quad (3)$$

式中: V —磨损体积, mm^3 ;

R —下试样半径, mm ;

b —磨痕宽, mm ;

L —上试样宽, mm 。

1. 摩擦特性

试样的摩擦特性试验是采用固定滑动速度、逐级加载的方法进行的。每级载荷增量为 $49N$, 每级加载的时间为一小时, 滑动速度为 $0.42m/s$, 载荷一直加到摩擦力急剧上升时为止。其摩擦系数随载荷的变化情况如图3所示。

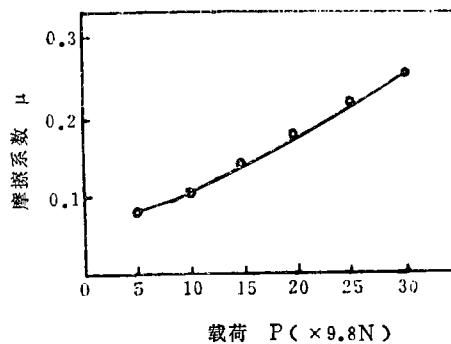


图3 摩擦系数的载荷特性曲线

在摩擦过程中, 由于摩擦热使得贮存于基体孔洞中的PTFE被挤出, 并沿着滑动方向逐渐转移到对摩件的金属表面上, 形成边界转移膜。但形成稳定的边界转移膜所需的时间与载荷有关; 载荷低时, 形成的时就短, 摩擦也就很快进入稳定状态, 载荷越高, 所需的时间也就越长, 其关系如图4所示。

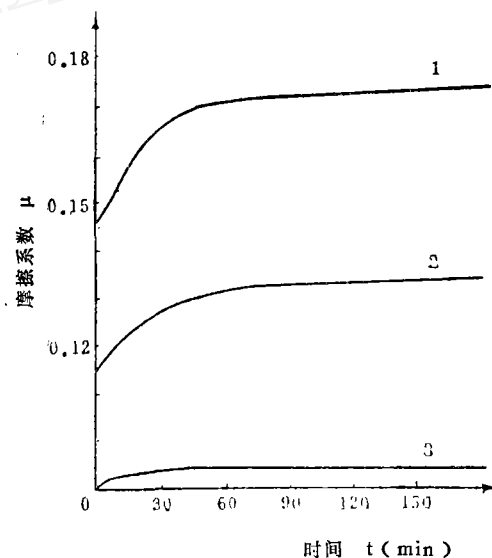


图4 摩擦系数与时间的关系

- 1— $P = 20 \times 9.8N$;
- 2— $P = 15 \times 9.8N$;
- 3— $P = 10 \times 9.8N$

2. 磨损特性

试样的磨损特性如图5、6所示。图5表明磨损量随载荷增加而增大。这种趋势在

低载时还不明显,如载荷从49N增大到98N时,磨损量(磨痕宽)仅增大23%;而当载荷从196N增大到245N时,磨损量就增大了43%。图6表示试样的磨损率随时间增加而下降,并逐渐趋于平稳。这是由于形成稳定的边界转移膜需要一定的时间。在膜尚未形成之前,两摩擦表面上的硬质点在各自的摩擦路线上使对方材料发生变形、犁切而逐渐磨离表面,造成较大的磨损率。一旦边界转移膜形成,这种趋势就大大下降,磨损率也就趋向稳定。稳定阶段的磨损率约为 $4 \sim 5 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{m}$ 。

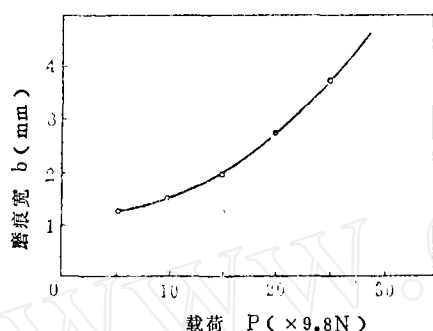


图5 磨损量与载荷的关系

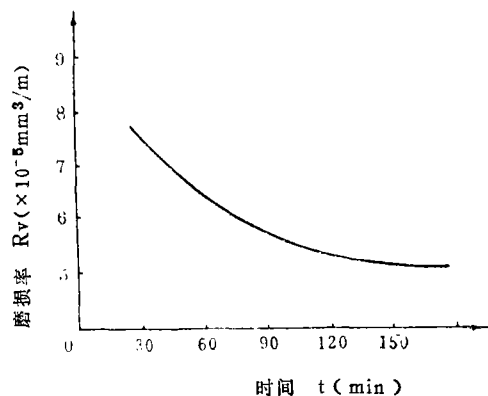


图6 磨损率与时间的关系
试验条件为: 负荷98N, 滑动速度0.42m/s

3. 添加剂的作用

为了进一步提高烧结钢金属塑料的摩擦磨损性能,我们做了如下的试验,以求对聚四氟乙烯边界转移膜进行改性。其方法是:

(1) 往基体中分别添二硫化钼、氟化

钙、石墨等固体润滑剂,与基体一起烧结,然后再渗透PTFE乳液。由于固体润滑剂遇到高温会分解或氧化,所以效果不理想。

(2) 在PTFE乳液中分别添加二硫化钼、氟化钙等固体润滑剂,然后一起渗透。其结果如图7、8所示。

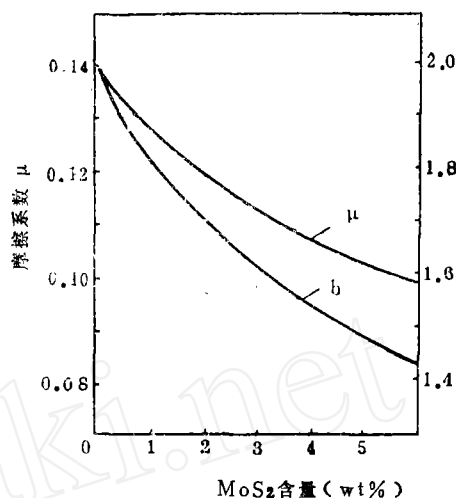


图7 添加剂的量对摩擦磨损性能的影响
试验条件为: $P = 9.8 \text{ N}$

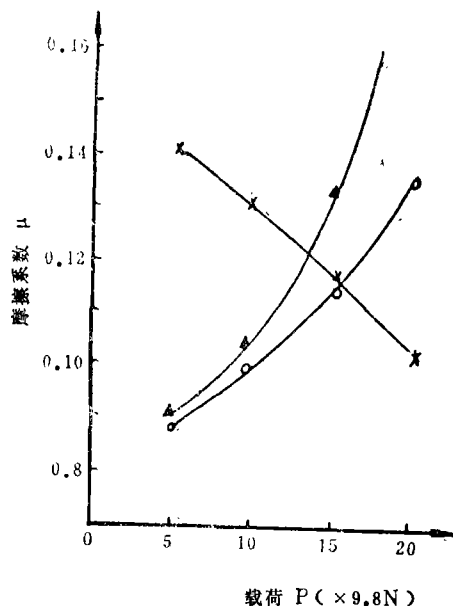


图8 添加剂对摩擦系数的影响
 Δ —PTFE; $\circ$ —PTFE+MoS₂;
 $\times$ —PTFE+CaF₂

上述添加剂都能不同程度地改善烧结钢金属塑料的摩擦磨损性能,其中以二硫化钼效果最明显。图7表明,当二硫化钼的含量在重量百分比为6%的范围内,摩擦系数与磨痕宽都随 MoS_2 含量的增加而下降。图8表明,在高载时氟化钙的减摩作用越来越明显,当载荷为196N时,其作用已超过二硫化钼。这是由于随着载荷的增加,摩擦热效应也随着增大,氟化钙的高温减摩作用也就发挥的越充分;而二硫化钼由于高温氧化等因素,在高温下便逐渐丧失其减摩作用。

4. 与DU材料相比较

烧结钢金属塑料兼备金属与塑料的特点,与DU材料类似,为此就摩擦磨损特性方面,与DU材料作一比较。

(1) 摩擦特性

从试验结果中可以看出,该材料在试验的载荷范围内都能给出比较低并且相当平稳的摩擦系数,尤其在低载情况下,摩擦系数仅为0.1左右。以后随着载荷的增加,摩擦系数逐渐增大,这一点恰恰与DU材料^[6]相反,其数据见表。

表 烧结钢金属塑料与DU材料摩擦磨损性能的比较

材 料 性 能	载荷 (9.8N)		5		10		15		20		25		30	
	μ	b (mm)	μ	b (mm)	μ	b (mm)	μ	b (mm)	μ	b (mm)	μ	b (mm)	μ	b (mm)
* DU材料	0.23	4.0	0.22	4.3	0.21	4.7	0.20	5.0	0.19	5.4	0.18	5.8		
** 烧结钢金属塑料	0.09	1.3	0.1	1.6	0.14	2.0	0.18	2.8	0.22	4.0	0.26	6.5		

* 试验条件为: $\phi 40$ 的45号钢转轮, (硬度为HRC45, 表面光洁度为 $\nabla 7$), 与平面的DU材料对摩。相对滑动速度 $V = 0.42\text{m/s}$, 实用逐级加载, 第一次49N第二次98N, 以后每次增加98N, 每级载荷下经历30分钟。

** 不含添加剂。

这说明烧结钢金属塑料与DU材料的减摩机理虽然相同,但两者的摩擦行为却不尽相同,这是由于两者结构上的差异使得在摩擦过程中生成PTFE转移膜的机理不同而造成的。DU材料的摩擦面是由填充Pb的PTFE所组成。当它与钢对偶件发生摩擦时,在摩擦面上生成PTFE转移膜的动力主要来源于外加载荷。在一定载荷范围内,载荷越大PTFE表层发生的塑性变形也越大;这种变形越大则越有利于PTFE转移膜的形成,即外加载荷起到了把PTFE表层展开的作用。载荷越大PTFE转移的量也越多,所生成的转移膜也越完整。因此,DU材料的摩擦系数随着载荷的增加而逐渐减小。对于烧结钢金属塑料,其边界转移膜的形成,主要依靠摩擦过程中所产生的摩擦热和热膨胀作用。在这种作用下,PTFE从基体孔隙中逐渐转移到摩擦面上形成转移膜,而这个过

程是需要一定时间的。另外,转移膜在摩擦过程中受摩擦和机械等综合作用会逐渐破损,且破损速率随着载荷的增大而逐渐增大。因此,烧结钢金属塑料的边界转移膜的完整性、复盖程度和厚度随着载荷的增加而逐渐削弱,使得金属之间直接接触的比例增大,所以烧结钢金属塑料的摩擦系数会随着载荷的增大而逐渐增大。

(2) 磨损特性

从表中可以看出,烧结钢金属塑料有着优良的耐磨性能。在试验的载荷范围内它的耐磨性优于DU材料。这是由于对烧结钢金属塑料的基体采用了合金强化。其微观结构是由晶粒很细小的珠光体及少量硬质相所组成,所以表观硬度较大,HB为80%左右;而DU材料的烧结青铜层的硬度还不到HB30。无论从金属间两种最常见的粘着磨损还是磨粒磨损来考虑,材料的耐磨性均与硬度

成正比。因此, 烧结钢金属塑料的耐磨性要优于DU材料。

四、试用情况

为了进一步考察烧结钢金属塑料的摩擦磨损性能, 我们与马鞍山粉末冶金厂、安徽省汽车运输公司合作, 将解放牌汽车CA—10后钢板销套, 由铁基含油轴承改为烧结钢金属塑料, 进行装车运载实地考察, 在24辆汽车上对比试验的结果如图10所示。

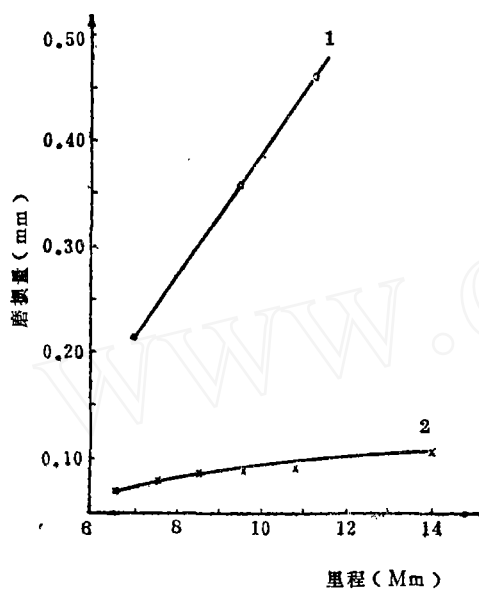


图10 磨损量与行驶里程的关系

1—粉末冶金含油轴承;
2—烧结钢金属塑料

试验结果表明, 销套内径的磨损量仅为同类粉末冶金铁基含油轴承的 $\frac{1}{4}$, 使用寿命可提高两倍多。另外, 无需对销套作注黄油保养, 可节约润滑油脂及省去铜质加油嘴

和维修工时, 具有明显的经济和社会效益[7、8]。

五、结 论

1. 烧结钢金属塑料是一种性能优良的自润滑材料, 它具有摩擦系数低、耐磨性良好、强度高和成本低的特点。在低载时摩擦磨损性能优于DU材料, 中载时两者相仿, 重载时摩擦系数比DU材料高。因而在机械、农机、汽车、仪器和仪表等部门可部份地代替价格较贵的DU材料。

2. 烧结钢金属塑料在滑动速度为0.42 m/s、载荷 ≤ 98 N时, 摩擦系数 ≤ 0.2 , 磨痕宽 ≤ 3 mm。

3. 添加固体润滑剂可提高材料的抗摩性能, 以 MoS_2 的添加效果为最佳。

4. 在汽车销套上试用效果良好, 除可实行无油润滑外, 还能延长使用寿命, 与同类铁基含油轴承相比, 磨损量少 $\frac{1}{4}$ 。

参 考 文 献

- [1] Kramer, B. M., Thin Solid Films, 108 (1983), 117.
- [2] Designers, Handbook No. 2, Dry bearings and materials, Supplied from Stock by Glacier, 1976.
- [3] 兰州化物所塑料基自润滑材料研究组, 固体润滑, 2 (1982), 1:24.
- [4] 兰州化物所塑料基自润滑材料研究组, 固体润滑, 3 (1983), 1:32.
- [5] Adamson, A. W., Physical Chemistry of Surfaces, Third Edition, John-Wiley, 1976.
- [6] 俞仲倩等, 润滑与密封, (1980), 6:13.
- [7] 金卓仁, 粉末冶金技术, 2 (1984), 8:32.
- [8] 武静宇, 粉末冶金技术, 3 (1985), 8:34.