

固体润滑材料的应用研究

沙肇恒 张东安 郭淑琴 尹秀云 邢贺光

(长春光机所)

一、前言

随着我国工业和科学技术的发展,对润滑的要求也愈来愈高。一般用的润滑油和脂是很好润滑剂。但在特殊使用条件下:如在高真空、高温、超低温,腐蚀介质及防止油污染等情况下,润滑油及脂有时很难满足使用要求。固体润滑材料使用温度范围广,可在 -190°C 至 250°C 以上,耐辐射性能好,蒸发减量小,并具有较好的摩擦性能等优点。故在航空,宇航及化工等方面其应用日益广泛。

我们根据工作需要,作了如下几方面的研究试验工作。

二、金属塑料材料

金属塑料是一种新型自润滑材料^{[1][2]}。它是聚四氟乙烯(F_4)和二硫化钼(MoS_2)的悬浮液,浸渍到以烧结青铜粉为骨架的材料基体内,而制得。也称做 D_1 材料。它具备了金属和塑料各自的优点:其摩擦系数低,工作温度范围广,热膨胀系数小,强度高,耐磨性能好, PV 值高,导热性能也得到了改善。基体材料青铜粉的烧结工艺对材料物理机械性能有较大的影响。现将部分试验结果简介如下。

1. 烧结温度

将青铜试样放在氢气炉内进行加热,其温度为 830°C 、 860°C 和 880°C 三种。保温时间为0.5小时。试验结果如表1所示。

表1 烧结温度对抗拉强度、冲击值的影响

编号	烧结温度 $^{\circ}\text{C}$	抗拉强度公斤/厘米 ²	伸长率%	冲击值公斤·米/厘米 ²
1	830	420	4.6	0.54
2	860	679	5.2	0.93
3	880	967	6.6	1.20

可以看出烧结温度在 830°C 时,其抗拉强度只有420公斤/厘米²,将烧结温度提高到 880°C 时,由于青铜粉表面低熔点物质熔融增多,颗粒接触面积增加,使其强度大为提高,可达967公斤/厘米²,较在低温烧结的强度提高一倍多。同时可以看出韧性也提高一倍以上。继续提高温度试样表面有熔化现象,孔隙度显著减小,影响溶液的浸渍。从试验结果看,烧结温度在 860°C 以上,至 880°C 之间为合适。

2. 烧结保温时间

烧结保温时间对材料烧结后的性能也有一定的影响。如表 2

表2 保温时间对抗拉强度、冲击值的影响

编 号	保温时间(小时)	抗拉强度(公斤/厘米 ²)	伸长率(%)	编 号	冲击值
14—1	0.5	539	5.4	4—1	0.77
9—1	1.0	679	5.2	3—1	0.93
13—1	1.5	693	5.7	1—1	1.02

从表 2 可以看出,在一定温度下(860℃)进行烧结时,其保温时间的长短能影响在该温度下的烧结过程是否充分。增加保温时间同样可增加颗粒间的接触面积,因而提高了材料的强度。在本试验的条件下,烧结保温时间在0.5小时至 1 小时之间较好。

3. 几种不同粒度青铜粉烧结的强度变化

我们测试的结果是随着粒度60~80目,80~100目,100~120目的顺序增加,其强度由464,519增加到679公斤/厘米²。从提高强度角度来看,提高粒度可以提高强度。此外我们对此种材料的热膨胀系数,也作了测定,其 μ 值在 $16\sim 17 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。

4. 材料摩擦性能试验

为了使研制的材料在运转试验时,加载和转速能有较大的变化范围,我们分别设计制造了简易摩擦性能运转试验装置^[3]。用直流电机作动力,用热偶测滑动轴承的温度,用应力梁测摩擦力矩。

(1)在上述试验装置上,在大气下,作了200小时运转试验。其载荷0.8公斤,转速2100转/分。结果如表 3。

表3 运转时间与磨损量的关系

磨损量 μm 编号	时间小时	0	17	50	100	200
1	0	0	—	10.8	10.9	12.1
2	0	0	2.9	10.3	10.7	13.9

在运转开始阶段磨损较快,随着运转时间增加,磨损量逐渐减少,以后达到平稳阶段,此期间为磨合阶段。

表4 载荷,速度与温度变化关系

温度 $^{\circ}\text{C}$ 转速米/秒	1.65	2.5	3.3	4.2	5.0
载荷公斤/厘米 ²					
0.8	41	44	46	48	63
2.0	62.5	73.0	82.5	89	98

表4所示的试验结果为不同载荷, 转速与温度变化关系。在低载荷0.8公斤时, 随着转速的增加, 轴承温度稍有增加, 只是在5米/秒的转速时, 其温度增加大些, 为63℃。载荷增大, 则随着转数增加, 温度升高的幅度, 明显地较前者大, 最高可达98℃。由此可见增加载荷对温升的影响较大些。

(2) 作了不同转速在大气和真空条件下运转时温度变化的对比试验。此项试验是在自制的真空摩擦装置上进行的。如表5。

表5 不同试验条件对温度的影响

温度℃ 转速 转/分	试验条件	在大气下	在真空下 1.5×10^{-2} (托)
2000		36.5	81
4000		43.0	93
6000		66.0	102

在大气下2000转/分的运转试验, 运转两小时后, 使温度达到稳定时, 观测其温度为36.5℃, 而在 1.5×10^{-2} (托)时作试验, 其真空度虽然不高, 但其温度则升高到81℃。转速增加, 温度也随着增高, 在6000转/分时, 其温度就达到102℃。这主要由于摩擦产生的热量, 在真空条件下不易散掉所致, 使温度成倍增高。测温的部位距离轴承内表面0.5毫米。

还作了轴承与轴的配合间隙对温度的影响试验。如表6

表6 轴与轴承配合间隙对温度的影响

温度(℃) 配合间隙(毫米)	试验条件	在大气下	在真空下 2×10^{-2} (托)
0.033		64	120
0.048		66	102

从上表可以看出, 在本试验的配合间隙范围内, 在大气下进行试验时, 两种不同配合间隙的轴承温度几乎未变, 而在真空下进行试验时, 配合间隙小的比大的温度高20℃左右。要注意由上面两个不同试验条件所引起的温度变化。

三、塑料基固体润滑材料

作润滑材料用的工程塑料很多, 我们选择聚四氟乙烯和聚酰亚胺(PI)为基础, 加入适量的填充剂的填充材料作为润滑材料。聚四氟乙烯是一种新型结晶聚合物^{(4), (5)}。其摩擦系数较低, 在0.13~0.16左右。使用温度范围广, 在-190~250℃。但缺点为冷流性大, 耐磨性差。为了改善这些性能, 填加其他塑料或 WS_2 , 石墨, MoS_2 及玻璃纤维等作为改善性能的填加剂。我们作了如下的试验。

1. 填加剂对摩擦性能的影响

在聚四氟乙烯中加入不同含量的聚苯, 聚酰亚胺及 WS_2 等材料, 测试了它们的摩擦性

能的变化，如表7所示。

表7 增加剂对摩擦性能的影响

编号	聚苯含量 (%)	PI含量 (%)	WS ₂ 含量 (%)	摩擦系数 (μ)	磨痕 (毫米)
1	/	/	/	0.136	14.2
2	3	/	/	0.139	5.8
3	5	/	/	0.133	4.7
4	10	/	/	0.130	4.5
5	20	/	/	0.142	4.0
6	30	/	/	0.160	4.0
7	/	3	/	/	6.1
8	/	5	/	/	5.1
9	/	10	/	/	4.0
10	/	20	/	/	3.9
11	/	30	/	/	4.2
12	/	/	3	0.142	13.3
13	/	/	5	0.145	12.2
14	/	/	10	0.151	11.1
15	/	/	20	0.158	9.4
16	/	/	30	0.17	9.2

填加不同含量的聚苯时，虽然摩擦系数没有改变，但对耐磨性有了明显的改善，如其含量在10%时，其磨痕由原F₄的14.2降低到4.5，提高了三倍。填加PI对改善材料耐磨性的效果与聚苯相同。两者的含量均在10~20%之间较为适宜。填加WS₂材料的耐磨性能有一定程度的改进，但没有前两种材料的作用显著。

2. 固化工艺对填充F₄的影响

表8 固化温度对各种性能的影响

编号	固化温度 (°C)	抗拉强度 (公斤/厘米 ²)	伸长率 (%)	收缩率 (%)
1	410~420	62	1.1	3.7
2	390~400	180	4.3	7.7
3	370~380	177	7.3	7.9
4	330~340	38	/	/

表8是用F₄90%，PI10%的填充材料，在不同温度下，固化后的各种性能变化。在低温固化时，其强度只有38公斤/厘米²，其断口为脆性断裂。当温度提高到370~380°C时，其强度增加到177公斤/厘米²。在410°C以上的温度固化时，其塑性显著降低，断口变成黑色，发生过烧现象。可见固化温度在370~380°C之间较为适宜。

从表9中可以看出在本试验条件下，保温时间在0.5小时，材料的各种性能较好，在1小时以上时塑性降低，所以保温时间在0.5小时以内为宜。

表9 保温时间对各种性能的影响

编号	保温时间 (小时)	抗拉强度 (公斤/厘米 ²)	伸长率 (%)	收缩率 (%)
1	0.5	166	14.3	7.4
2	1.0	163	11.0	7.7
3	3.0	172	5.5	8.5

四、不同密度保持架的研制

采用在聚酰亚胺内加聚四氟乙烯和 MoS₂ 作保持架材料。根据聚酰亚胺在烧结时，颗粒刚性增加，体积增大，使密度减小的规律，就可以用不同成型压力，或加成孔剂来制造不同密度的多孔性材料。其制造方法：一种为自由烧结法，另一种为热压成型法。下面将聚酰亚胺的某些性能介绍如下。

聚酰亚胺强度高，耐磨性也好，但其摩擦系数较大些。烧结条件对材料的强度影响较大。如图1、图2所示。

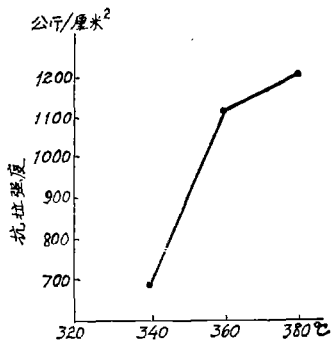


图1 加热温度对强度的影响

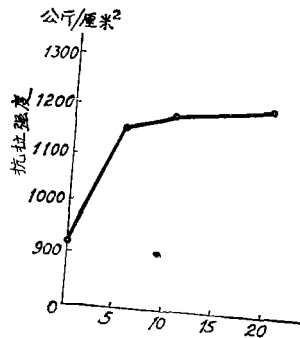


图2 保温时间对强度的影响

从两图中可以看出，烧结温度在380℃，保温时间在10~20分钟时，由于有足够的烧结温度和充分的保温时间，使材料的软化倾向增大，在一定的压力下能更好的将材料模压在一起，故其强度明显地增高，可达1200公斤/厘米²左右。故欲得到性能较好的材料，其烧结条件很重要。

为改善聚酰亚胺的摩擦性能，在其中加入不同含量的聚四氟乙烯，其性能变化如表10。

表10 F₄含量对摩擦性能的影响

材料组成 (%)	摩擦系数 (μ)	磨痕 (毫米)
PI100, F ₄ 0	0.3	3.24
PI90, F ₄ 10	0.19	2.22
PI80, F ₄ 20	0.16	1.99

从上表可以看出，填加聚四氟乙烯对耐磨性的改进不大，对摩擦系数的降低较为显著。当聚四氟乙烯含量在20%左右，其摩擦系数就降低到0.16左右。故聚四氟乙烯是改善材料摩擦性能较好的填加剂。

现将多孔性材料的制造方法分别叙述如下：

1. 自由烧结法⁽⁸⁾

把试验用的材料，称好重量，装在图3轴承保持架模具内，再将模具放在油压机上，用所要求的不同压力成型。把成型后的零件从模具内取出，放在坩埚炉内烧结，使其自由膨胀和收缩。这样烧结后就得到所要求密度的零件。

烧结后零件尺寸变化如表11。

3#试样含F₄40%，烧结后内径、外径收缩均在4%以上，而高度增大11%左右。4#试样含F₄30%，内外

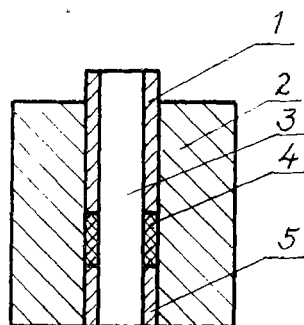


图3
1. 上冲头 2. 外套 3. 芯棒
4. 另件 5. 下冲头

表11 烧结后尺寸变化

编 号	尺寸收缩率 (%)		高度增大 (%)
	内径	外径	
3#	4.8	4.6	11
4#	4.5	4.5	14

径的收缩与3#相差不大，但高度增大稍大些，为14%左右。

烧结后的孔隙度与强度变化如表12。

表12 自由烧结后的性能变化

编 号	成型压力 (公斤)	孔隙度 (%)	抗拉强度 (公斤/厘米 ²)
1	2000	13.8	104
2	3000	11.5	105

成型压力不同烧结后孔隙度也稍有不同。在本试验条件下，成型压力高的孔隙度小些，强度变化不明显。从试验结果可以看出用上述材料，经成型烧结后可获得孔隙度在10%以上及具有一定强度的多孔性材料。

2. 热压成型法

这种方法是将混合好的材料，称好重量，放在前面图3模具内，用不同压力成型，然后放在自制的简易的电阻丝炉内加热，待温度达到所预定的380℃左右，用较低的压力成型，并冷却到200℃即可出炉，试验结果如表13。

试验材料，PI80%，F₄15%，MoS₂5%其成型压力均为5个气压。但降温时的压力不同，制得的试样孔隙度与强度也不同。热压成型压力愈小，如0.6气压，则其孔隙度愈大，可高达28%，其强度愈低，只有75公斤/厘米²。如热压成型力增高到0.75气压时，其孔隙度

表13 热压成型压力与孔隙度, 强度的关系

编 号	热压成型压力 (气压)	孔隙度 (%)	抗拉强度 (公斤/厘米 ²)
1	0.6	28	75
2	0.75	12	200
3	0.9	3	349

降到12%左右, 而强度增加到200公斤/厘米²。所以用不同的热压成型压力可制得不同孔隙度的材料。从强度角度来看, 此法是可取的, 但成型效率低。

我们研制多孔性保持架, 主要是为了在其中浸入一定量的润滑油、脂后, 在低真空下, 一方面改善轴承润滑状态, 同时能在一定的期间内起到连续润滑作用。

此外, 我们对金属基固体润滑材料, 也在进行研制, 正在试验阶段。

五、应用情况

目前我们试制的几种轴承保持架, 装在6025型和6200型的轴承上分别作预运转试验。前者在低真空条件下进行预运转试验, 后者放在飞轮样机上作试验, 一台是油润滑, 一台是固体润滑, 经过几百小时的试验, 目前仍正常运转。

我们研制工作是初步的, 有些性能和工艺还需进一步改进, 希同志们指导和提出建议。

参 考 文 献

1. 北京粉末冶金研究所;《粉末冶金》1972, 1, 1~6.
2. 松原清; 机械の研究 1962, 14 4, 600.
3. 长春光机所固体润滑小组; 几种固体润滑材料的性能试验与应用; 1978, 5, 5.
4. 兰州化物所; 固体抗摩材料 1973, 158.
5. 川崎景民; マグネ 1973, 157.
6. 青岛化工研究所; 应用通讯1972, 1 17.
7. 长春应用化学研究所; 应用通讯1971, 7, 30.
8. 一机部洛阳轴承所; 可溶性聚酰亚胺塑料在精微仪器轴承中应用, 1979, 14.