

# 高速自润滑含油轴承的研究

孙永安\* 张玲 李县辉 王旭红

(洛阳轴研科技股份有限公司 洛阳 471039)

摘要: 根据高速(25000r/min)自润滑含油轴承的特殊工况,进行了原材料的选择、配方设计、制造工艺及自润滑性能的研究,并进行了高速台架试验。研究结果表明:研制的高速自润滑含油轴承具有良好的抗热咬合性、优越的自润滑性能和足够的耐磨性,可应用在高速电动工具中。

关键词: 高速含油轴承;固体润滑剂;摩擦磨损

## Study about High-speed Self-lubricating Oil-containing Bearing

Sun Yongan, Zhang Ling, Li Xianhui, Wang Xuhong

(Luoyang Bearing Research Sciential Stock CO.LTD Luoyang 471039)

**Abstract:** The selection of raw materials, formulation design, production process and self-lubrication properties of bearings were investigated with regard to the special operating mode of the oilless bearing at high speed (25000rpm). A high-speed rig-test was carried out. The results show that the developed bearings have good anti-thermal-welding, excellent self-lubricity and enough wear resistance. The developed bearings have application in high-speed electric tools and go into batch production.

**Key words:** high-speed oilless bearing; solid lubricants; friction and wear

### 1 前言

随着科学技术的发展,现代化的电动工具在品种与产量上与日俱增,发达国家高速电动工具多是采用高速含油轴承,如日本日立公司的FDIOSA型手电钻,美国SKI公司的JIG·SAW4235型电动曲线锯等。在电动工具中采用高速(25000r/min以上)自润滑含油轴承替代高速精密级滚动轴承,能够简化电动工具结构、缩小体积、减少装配工序。轴承是保证电动工具正常运转和工作寿命的关键部件,在25000r/min的高转速下,含油轴承必须具有良好的抗热咬合性、优良的自润滑性和足够的耐磨性,常用的含油轴承材料无法满足这种要求。本研究采用粉末冶金工艺,通过选取合适的固体润滑材料、合理的配方及工艺设计,研制出一种新型的高速自润滑含油轴承。

### 2 试验研究

#### 2.1 配方设计

材料配方由三部分组成,即基体元素、强化元素和固体润滑剂。本研究使用的基体材料是用雾化法生产的锡青铜粉,合金牌号为FQSn6-6-3。填加一定量的合金元素,通过固溶强化或弥散硬质相来强化基体。加入某些硫化物和石墨作固体润滑剂,以起到良好的复合润滑效果,使材料具有优异的综合力学性能和良好的自润滑性能。其主要成分配比见表1。

表1 高速自润滑含油轴承的主要成分

材料组成	基体元素	合金元素	固体润滑剂	
	6-6-3 青铜粉	P	MoS <sub>2</sub>	石墨
质量分数 / %	80~90	0.5~0.7	2~3	0.5~1

\* 孙永安 39岁,工程师,从事粉末冶金高温固体自润滑轴承材料及陶瓷材料的研究工作

## 2.2 原材料的选择

### 2.2.1 基体元素的选择

基体元素是保证材料具有良好的化学稳定性和较好的物理机械性能的主要因素。选取青铜粉作为基体材料,具有摩擦系数低、耐磨性好、导热性高等特点,并具有较高的机械强度。

### 2.2.2 合金元素的选择

由于在基体材料中添加了少量的固体润滑剂,一定程度上使其物理力学性能受到了影响,为此需添加少量的固溶强化或弥散强化元素来提高基体材料的性能。该类元素应符合三个基本原则:一是与铜形成固溶体或是均匀弥散于铜合金基体之中形成硬质相;二是在反应过程中生成的化合物对材料的自润滑性无副作用;三是加入的元素粉末粒度应远小于基体材料的粉末粒度,以利于均匀弥散分布<sup>[1]</sup>。所以选择磷作为合金元素来增加基体金属的硬度和强度。

### 2.2.3 固体润滑剂的选择

二硫化钼( $\text{MoS}_2$ )具有良好的减摩特性,密排晶面间剪切强度低,易于滑移,且能粘附在对偶材料的表面上,动摩擦系数较低(为 0.05)。

石墨具有独特的减摩特性,它能降低青铜合金的摩擦系数,提高抗咬合性,增加耐磨性特别是能和润滑油形成石墨-油胶体,具有优越的润滑性能。

## 2.3 制造工艺

采用常规粉末冶金工艺。该工艺应保证产品具有良好的物理力学性能,同时保证固体润滑剂固有的特性。工艺流程见图 1:

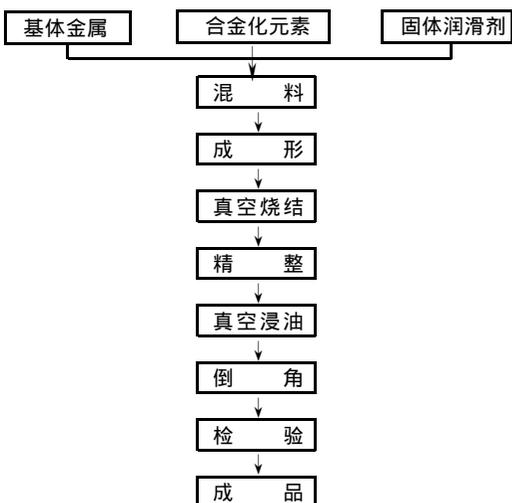


图 1 高速自润滑含油轴承制造工艺

## 3 性能检测

### 3.1 化学成分

化学成分测试分析结果见表 2。

表 2 化学成分测试分析

成分	Cu	Sn	Mo	S	P	C	其它
质量分数 /%	81.84	5.50	1.49	1.59	0.67	0.68	余量

### 3.2 轴承材料的物理力学性能

按 GB/T 5163 - 1985 测定密度;按 GB/T 9097.1 - 1988 测定硬度;按 GB/T 6804 - 1986 测径向压溃强度,见表 3。

表 3 轴承材料的物理力学性能

密度 $\rho$ ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	含油率 /%	硬度 /HB	压溃强度 /MPa
6.7~6.9	16~19	50~54	150~160

### 3.3 摩擦磨损试验

摩擦磨损试样尺寸为  $12.3\text{mm} \times 12.3\text{mm} \times 19\text{mm}$  的长方体,对偶试样为  $\phi 49\text{mm} \times \phi 38.8\text{mm} \times 10\text{mm}$  的 GCr15 钢环(硬度 62.5HRC),试验在 TIMKEN 试验机上进行。

试验条件:

转速:1200r/min

负荷:16.6N

时间:30min

试验过程中不再另加润滑油,试验结果见表 4。

表 4 浸油试样的摩擦磨损性能

试验编号	摩擦系数	磨痕宽度/mm
1	0.034	0.5
2	0.026	0.7
3	0.034	0.8
4	0.034	0.8

试验结果表明:其摩擦磨损性能良好且稳定,摩擦系数也较低。

## 4 高速含油轴承的性能分析研究

### 4.1 同时使用两种固体润滑剂

同时使用  $\text{MoS}_2$  和石墨两种固体润滑剂,利用它们产生的协同润滑效应,使含油轴承的摩擦系数大为降低,增强润滑膜的成膜能力,更好地防止含油轴承与轴的磨损。这种方式的润滑效果比单独使用

一种润滑剂要好几倍<sup>[2,3]</sup>,它能提高含油轴承抗热咬合性、耐磨性,延长含油轴承的寿命。

#### 4.2 磷的加入

磷在基体材料中产生固溶强化能够提高材料的硬度和强度,在二硫化钼的周围形成一种特殊的粘结相<sup>[4]</sup>,它不但使基体的硬度和强度提高,并且使低强度的二硫化钼颗粒也得到了强化。它还能防止固体润滑剂在润滑油中悬浮过度,因此这种特殊组织在高速运转中,在苛刻的边界润滑状态下,能使轴承显示出优异的高速性能。

#### 4.3 孔隙度的控制

为了使轴承有良好的油润滑效果,必须控制轴承的孔隙尺寸及分布,从轴承表面到内部形成连通的孔隙,内部所含的油随着轴承的运转,从孔隙中溢出而达到润滑效果。停止运转后油又被吸到孔隙中存储起来,这样就保证了良好的油循环效果,当孔隙过大时,轴承的给油性能好,吸回和保持润滑油的能

力差。当孔隙过小时,给油性能差,供油不足,影响轴承高速运转性能。为此对粉末进行了粒度筛选。并且控制材料的压制与烧结密度,从而控制轴承材料的孔隙度。研究表明:孔隙度控制在17%~22%范围内较为合适。

#### 4.4 高速含油轴承润滑油的选择

在高速运转下的轴承处于较苛刻的边界润滑摩擦,为了使含油轴承能保持稳定而长久的高速运转性能,选择合适的高速润滑油也是保证其良好的高速性能的关键之一。高速润滑油的粘度要适中,粘度太小,油的成膜性能差,油膜不稳定,容易被破坏,并在运转中损耗较大,不利于轴承的长久稳定运转。粘度太大,在运转中会使轴承温度升高,也不利于运转。国外高速含油轴承所用润滑油为AntrolA465(其部分性能见表5)。国内目前研制生产的4303-2高速润滑油,据称可替代国外的AntrolA465润滑油,但价格较贵(其部分性能见表5)。

表5 润滑油的部分性能

牌号	密度( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) (25℃)	运动粘度 ( $\text{mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$ )	凝固点/℃	闪点/℃	机械杂质	灰分/%
A465 (国外产)	0.91	(98.8℃)12.2 (37.8℃)63.0 (-40.0℃)32500	-	-		
4303-2 (国产)	-	(100℃)11~13 (40℃)70	-55	230		
SY1201-78 (国产)	0.875	(50℃)28~32	-10	≥180	无	≤0.005

经过反复试验研究并与国内外润滑油的性能进行比较,我们选用了30#汽轮机油(即SY1201-78,其部分性能见表5)。其粘度适中,稳定性好,氧化沉淀物少,有防锈作用<sup>[5]</sup>,价格便宜,基本满足了高速含油轴承的运转要求。

## 5 高速性能试验

### 5.1 高速台架试验

#### 5.1.1 试验条件

试验机型号: S9204型微型轴承试验机

轴承尺寸:  $\phi 9\text{mm} \times \phi 17\text{mm} \times 8\text{mm}$

轴承数量: 4个

试验轴材料: GCr15 硬度: 30HRC 表面粗糙度:  $R_a 0.8\mu\text{m}$

试验负荷: 10N

试验时间: 700h

开关次数: 10000次

试验温度: 室温

#### 5.1.2 试验结果

高速自润滑含油轴承台架试验结果见表6。

寿命试验和万次开关试验结果表明:研制的高速自润滑含油轴承具有良好的高速运转性能,运转持久稳定,温升不高且稳定,在整个试验过程中不再加油。当试验转速达25000~27240r/min,持续寿命736h,开关次数达10800次后,轴承未失效。

表 6 高速自润滑含油轴承台架试验结果

试验编号	试验项目	试验转速 ( $r \cdot \min^{-1}$ )	试验时间 /h	轴承温度 /°C	开关次数	轴承磨损量 /mm	轴承耗油量 /g
1	寿命	25000~27240	736	37~28		0.005	0.032
2	寿命	25260~26800	713	35~32		0	0.032
3	寿命	25000~26400	729	36~28		0.005	0.031
4	开关次数	25000~25800	360	36~33	10800	0	0.008

## 5.2 应用试验

### 5.2.1 试验条件

采用上海日立电动工具有限公司制造的 JLZ - SD01 - 8C 型手电钻,进行空载和耐久性试验。

型号: JLZ - SD01 - 8C

功率: 100W

转速: 25000r/min

最大钻孔直径: 8mm

含油轴承尺寸:  $\phi 6\text{mm} \times \phi 10\text{mm} \times 8\text{mm}$

试验电钻台数: 4 台

### 5.2.2 试验结果

将电钻依次按水平、向上、向下的方向放置,每 8h 换一次方向,在整个试验过程中不再加油。试验显示经过 7200h 连续运转,4 台电钻的含油轴承都完好无损,可以继续运转使用,完全满足高速电动工

具的使用要求。

## 6 结论

以  $\text{MoS}_2$ 、石墨等为固体润滑剂、磷为固溶强化元素的青铜基高速自润滑含油轴承,在转速为 25000~27240r/min 范围内使用,台架试验表明,负载为 10N,持续寿命大于 736h,开关次数达 10800 次,并可应用于高速电动工具中。

### 参考文献

- 1 李溪滨,苏春明,程时和等.涡轮增压器粉末冶金自润滑自推轴承的研究.粉末冶金技术,1999(2):119
- 2 中国科学院兰州化学物理研究所.固体润滑,1983(2):127
- 3 石森森.固体润滑材料.北京:化学工业出版社,2000
- 4 粉体および粉末冶金,1983,30(3):12~17
- 5 商业部燃料局.石油商品知识手册,1980.63

## 制造金属部件的三维印刷法

“三维印刷法”是美国麻省理工学院发明的,美国宾州 Extrude Hone 公司采用这种技术,开发出印刷金属部件的设备,有几种型号已投放市场。该方法是根据印刷技术,通过计算机辅助设计,将粘结剂精确沉积到一层金属粉末上,然后这样反复逐层印刷,直至达到最终的几何形状。由此便得到一个生坯件。生坯件经烧结并在炉中熔渗,可达百分之百的密度。三维印刷法不同于原型制作的激光扫描选择烧结法,后者一次只能制作一个部件,而前者可同时生产几个形状不同的部件。三维印刷法有两个优点:第一,它能制造任何形状的部件,包括有空腔、内通道、锥度和泡沫状表面的部件。第二,生产速度快。如用耗时费钱的传统原型制作法,一个部件要数周或数月才能制成,而用三维印刷法,几天便可以制造出来。

元家钟摘译自 Metal Powder Report 2002, 57(1):22~25