

# 国外粉末冶金减摩材料的现状

周贤武

(北京市粉末冶金研究所, 北京 100075)

**摘要** 概述了国外烧结减摩材料的研究现状, 介绍了铜、铁和铝、轻金属钛以及易熔、高温、难熔金属基烧结减摩材料的性能与应用, 简述了烧结减摩材料的新动向。

**主题词** 粉末冶金材料 自润滑材料

## 1 前言

粉末冶金减摩材料制造的轴承、轴瓦、活塞环、滑块、滑板及精密机床导轨等广泛应用于各行各业, 其中以滑动轴承用量最多<sup>[1]</sup>。本文介绍了各种减摩材料的性能及在改善性能方面的研究成果。

## 2 烧结铜基减摩材料

铜的高减摩性、耐蚀性及导热导电性较早引起人们的兴趣。国际上广泛用铜基减摩材料制造轴承、轴瓦。多年来, 人们一方面为

取代铜进行了种种努力, 另一方面仍在发展和改进铜材料。

### 2.1 烧结青铜

由于烧结青铜具有良好的物理—力学性能(见表1), 发达国家在包括尖端技术在内的诸多领域, 应用该材料制造各类减摩构件。

### 2.2 烧结黄铜

烧结黄铜具有与烧结青铜相近的物理—力学性能(表2)用途亦与烧结青铜近似。

表1 烧结青铜的物理与力学性能

Table 1 Properties of Sintered bronze antifriction materials

| 材 料 |                 |                    | 化学成份(余铜), wt%                           | 密度<br>g/cm <sup>3</sup> | 硬度<br>HB | 抗拉强度<br>MPa | 延伸率<br>% |
|-----|-----------------|--------------------|---|-------------------------|----------|-------------|----------|
| 名称  | 牌号              |                    |   |                         |          |             |          |
| 前苏联 | 锡青铜             | CT 100             | 9.5~10.5Sn                              | 6.4~7.2                 | 65~82    | 9.5~14.0    | 1.0~3.0  |
| 前苏联 | 铝青铜             | —                  | 13.3Al+3.5Mn                            | 6.88                    | —        | —           | —        |
| 日 本 | 铝青铜<br>(二次压制烧结) | —                  | 8.5Al+4Ni                               | 7.71                    | 96.5     | 30.5        | 13.0     |
| 德 国 | 铅青铜             | Sint-H53           | (11~13)Sn+(4~6)Pb<br>+(5~6.5)C+(≤0.5)其他 | 7.3                     | 53       | >13.0       | 2.0      |
| 美 国 | 磷青铜             | —                  | (7.5~16)Sn+<br>(0.03~1.0)P+(1~8)C       | —                       | —        | —           | —        |
| 瑞 典 | 青铜石墨            | Essemol<br>jebrons | 9.3Sn+1.2C                              | 6.0~6.5                 | 20~30    | 9.0~10.0    | 1.0      |
| 前苏联 | 复杂合金化青铜         | —                  | 2.5Ni+0.5P+0.5Be+0.5Si                  | —                       | —        | 43          | 2.5      |

表 2 烧结黄铜的性能  
Table 2 Properties of sintered brass

| 材 料 |             |       | 化学成分(余 Zn),wt%                    | 密度<br>g/cm <sup>3</sup> | 硬度<br>HB | 抗拉强度<br>MPa | 伸长率<br>% |
|-----|-------------|-------|-----------------------------------|-------------------------|----------|-------------|----------|
| 名 称 | 牌 号         |       |                                   |                         |          |             |          |
| 美 国 | 黄铜          | SGM 3 | (77~80)Cu+0.3Fe+<br>0.1Sn+(1~2)Pb | 7.2~7.6                 | —        | 16.9        | 13       |
| 美 国 | 镍黄铜<br>(精压) | —     | 70Cu+10Ni                         | 8.4                     | 110      | 32.5        | 2        |
| 前苏联 | 镍黄铜         | —     | 70Cu+0.3P                         | 7.8                     | —        | 24.0        | 48       |

2.3 烧结铜—石墨

铜基体中添加石墨可提高材料的耐磨性(图 1),其添加量决定于使用性能要求。前苏联 И. М. Федорченко 等人指出:含有 10%石墨,且孔隙度为 6~12%的铜-石墨材料减摩性能最佳<sup>[2]</sup>。

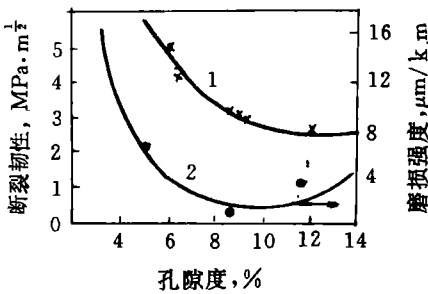


图 1 孔隙度对烧结 Cu—C 材料断裂韧性及比磨损量的影响

Fig. 1 Influences of porosity on fracture toughness and wearing strength of sintered Cu-C materials

2.4 烧结铜基复合材料

为提高材料的承载能力和经济效益,已研制出三种烧结多孔层状铜基复合减摩材料。

- (1) 在钢背上烧结铜合金多孔层,补充熔浸易熔减摩金属或合金
- (2) 补充浸渍聚合物
- (3) 浸油

本世纪 40 年代以来,美国和英国先后研制出铜基三层复合材料和金属—塑料复合带

材,随后一些发达国家相继开发出许多新品种(见表 3)。最近,美、日等国研制出黄铜-钢烧结复合材料。

表 3 烧结钢背青铜三层复合减摩材料  
Table 3 Sintered bronze three layers composite anti-friction materials

|     | 表面层合金成份<br>wt%            | 中间层成份<br>wt%          | 设计载荷<br>MPa |
|-----|---------------------------|-----------------------|-------------|
| 美 国 | 巴氏合金<br>Pb+(0.1~6.0)Cu    | 60Cu+40Ni、<br>Al 或其合金 | 140         |
| 日 本 | Cu+(14~20)Pb<br>+(4~10)Sn | 锡青铜                   | —           |
| 前苏联 | 铅-锡合金                     | 铅青铜                   | —           |

2.5 烧结铜基减摩材料技术动向

(1) 节铜型复合材料。人们通过改变添加剂制造多种复合材料,降低铜含量。如铜—铁、铜—钢、铜—铝<sup>[3]</sup>等双金属材料。也有在带钢上烧结多孔青铜或黄铜,浸渍含 CaF<sub>2</sub>、MgF<sub>2</sub> 或 SrF<sub>2</sub> 的聚四氟乙烯(PTFE)<sup>[4]</sup>

(2) 改进添加剂。如加入玻璃可以把 Sn 降至 8%;加入 TiC、TiN、NbC、Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> 等强化基体<sup>[5]</sup>;向基体中添加陶瓷材料<sup>[6]</sup>,提高其抗磨性能,降低摩擦系数。

(3) 改变传统工艺。如用 30%铜浸渍多孔微晶玻璃;用复合镀层或直接把铜及其合金粉末沉积或粘附于陶瓷体表面;用碳纤维(CF)或碳化硅纤维(SF)等增强铜基体。

3 烧结铁基减摩材料

通过合金化及添加剂改善铁基体的减摩性能,可比铜基材料有更高的减摩性能和承

载能力。

或易熔金属后,可获得良好的物理—力学性能(见表 4),已广泛用于制造各类减摩构件。

3.1 烧结铁虽是减摩材料,但添加石墨,铜

表 4 部分铁基烧结减摩材料及其性能

Table 4 Sintered Partial iron base antifriction materials and their properties

| 名称             | 材 料<br>化学成分(余铁),wt%     | 孔隙度<br>% | 密度<br>g/cm <sup>3</sup> | 硬度<br>HB | 拉伸强度<br>MPa      | 伸长率<br>% |
|----------------|-------------------------|----------|-------------------------|----------|------------------|----------|
| 前苏联 Fe         | —                       | —        | 5.1~6.6                 | 35~80    | 10~22            | 5~13     |
| 前苏联 Fe—C       | 1.5~3.0C                | 15~35    | 4.5~6.7                 | 30~145   | 7~35.5           | —        |
| 前苏联 Fe—Cu      | 7~10Cu                  | 16~25    | 5.9~7.1                 | 59~130   | 12.8~45          | 0.45~2.6 |
| 美 国 Fe—Cu—C    | (18~22)Cu+(0.6~1)C      | ≥15      | —                       | —        | 28               | 0.5      |
| 日 本 Fe—Cu—Pb   | (1~3)Cu+(<2)Pb+(<1)其它   | —        | 5.9(含油)                 | —        | $\sigma_{bc}>20$ | —        |
| 瑞 典 Fe—Cu—C—Sn | 44.5Cu+4.5Sn+1C         | 23       | —                       | 60~105   | 22~37            | 1        |
| 德 国 Fe—Cu—C—Pb | (1~5)Cu+(2~7)Pb+(<0.3)C | >15      | 5.8~6.3                 | 30       | >12              | >2       |

试验证实,当 C>1.5%时,材料组织中出现游离碳,可提高耐磨及减摩性;Fe-25Cu 材料具有良好的综合性能(见图 2),该材料在美国应用较广。含 40~70%Cu 的材料,具有良好的耐蚀性,可成功地取代青铜材料<sup>[1]</sup>。

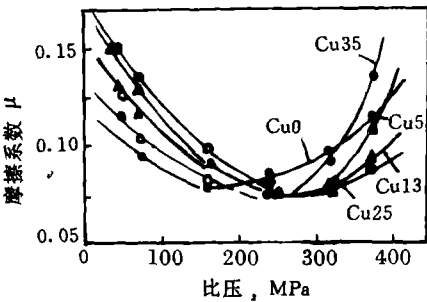


图 2 不同铜含量的 Fe—Cu 材料的减摩性能  
(润滑剂:机油 SAE30 自润滑)

Fig. 2 Antifriction properties of Fe—Cu materials with different additions of copper

3.2 添加难熔金属或其化合物

近年来,国外研制开发出许多复杂合金化铁基减摩材料。如添加铬、镍、钴、钨、钼、钽、铌等难熔金属,在烧结过程中可形成具有

优异性能的金属间化合物,Fe—C—Mo 材料中  $\alpha$  固溶体显微硬度可达 HV180~240,Fe—Mo 金属间化合物显微硬度达 HV750~800。铁基材料中加入铬可提高材料的强度、耐磨、耐蚀及热稳定性。德国的 Fe—1C—(16~20)Cr—(1~2)BN 材料具有高的耐蚀性,HB>100, $\sigma_b=24\text{MPa}$ , $\delta=6\%$ ,可用于制造在较高温度下工作的减摩零件。

3.3 添加其他非金属元素或其化合物

在铁基体中添加硫、磷或硫、硒、碲、氟、氯等元素的金属或非金属化合物,可大大改善材料的性能。磷可提高抗塑性变形和耐磨性,硫和硫化物可提高承载能力及耐磨、磨合性,硒和碲的化合物具有良好的减摩性,且 MoSe<sub>2</sub> 被视为“万能的”固体润滑剂,在水、空气、真空中或高温下减摩性能稳定<sup>[7]</sup>。氟、氯的金属或非金属化合物使材料具有高的热稳定性。

3.4 烧结铁基复合材料

烧结铁基层状复合减摩材料的制造工艺和结构与铜基相同,但性能优于铜基(见表 5),因此,使用范围也比铜基材料广。

表 5 铁基和铜基金属-塑料材料性能比较

Table 5 Comparison of properties between iron base-plastic and copper base-plastic materials

| 材料成份,wt%  |                      | 密度<br>g/cm <sup>3</sup> | 硬度<br>HB | 摩擦系数 | 冲击韧性<br>J/cm <sup>2</sup> | 拉伸强度<br>MPa | 弯曲强度<br>MPa |
|---|----------------------|-------------------------|----------|------|---------------------------|-------------|-------------|
| 材料配方  | 浸渍物                  |                         |          |      |                           |             |             |
| 80 6-6-3 青铜+20PbCO <sub>3</sub> +<br>3NH <sub>4</sub> HCO <sub>3</sub> (另加) | PTFE+WS <sub>2</sub> | 5.3~5.7                 | 11~14    | 0.21 | 2.5~3.0                   | 2.8~3.4     | 5.7~6.6     |
| 98Fe+2C   | PTFE                 | 6.0                     | 79.5     | 0.17 | 3                         | 19.15       | 40.1        |

3.5 烧结铁基减摩材料的技术动向

(1) 添加硬质颗粒,提高材料抗磨性能。前苏联开发出含 15~21%玻璃的铁基材料<sup>[8]</sup>,日本研制出含 5~20%Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>、Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>、Mo<sub>2</sub>C 等硬质颗粒的铁基材料<sup>[9]</sup>。

(2) 添加增强纤维。添加 3~30 Vol% CF、SF、或 5~40%的金属纤维,可使基体的维氏硬度达 HV600~1800,比磨损量下降<sup>[10]</sup>。

(3) 表面改性处理。如对烧结不锈钢减摩材料进行硫化、硼化或硫、碳共渗处理等。

(4) 将含高温难熔金属粉末进行机械合金化(MA)处理,或将它们的熔体进行速冷(RS),制得具有优异性能的粉末再制成高性能减摩零件<sup>[11]</sup>。

4 其他金属基烧结减摩材料

4.1 铝基和钛基减摩材料

铝和钛资源丰富,它们的合金具有高强度、高弹性模量、耐高温、耐腐蚀,而且重量轻。

铝基轴承于 1966 年在美国开始应用,之后前苏联、日、德、奥地利等国相继研制出 Al-Fe-C, Al-Cu-C、Al-Si-C、Al-Zn-Mg、Al-Li、铝双金属等材料。

钛基减摩材料也获得长足的进展,前苏联、美国、印度等国近年来开发出 Ti-(Bi、Pb、Sn、Cd)、Ti-Al-IMB-3、Ti-聚合物,及 Ti-Al-V、Ti-Al-Nb、Ti-Al-B 系等材料,这些材料已用来制造各类飞行器的轴承、密封件等<sup>[12,13]</sup>。

4.2 其他金属基减摩材料

随着科学技术的不断发展,需要多种类型的减摩材料。前苏联 И. М. Федорченко 和 А. И. пуина 等系统地研究了以易熔、高温、

表 6 部分金属或化合物基烧结减摩材料与应用

Table 6 Partial metal base or compound base sintered antifriction materials and their properties

| 基体    | 添加元素,wt% |      |      |      |           |   | 应用范围            |
|-------|----------|------|------|------|-----------|---|-----------------|
|       | Cr       | Mo   | W    | Ni   | Fe        | 其 它                                     |                 |
| Ag    | —        | —    | —    | 2~13 | —         | (1.5~7.0)Sn                             | 无润滑部件           |
| Ni    | 25~27    | 9~11 | 9~11 | —    | 11.5~13.5 | (0.05~1)B+1Mn                           | 500~1000℃下使用的轴承 |
| Co    | 0.8      | 2.8  | —    | —    | —         | 2.5Si                                   | 500~1000℃腐蚀介质中  |
| Nb、Ta | —        | —    | —    | —    | —         | ~20(MoS <sub>2</sub> 、WS <sub>2</sub> ) | 20~1300℃下使用     |
| WB    | —        | —    | —    | 10.0 | —         | 熔浸 Ag                                   | 与工具钢对偶,450℃     |

难熔金属或合金为基的减摩材料(见表 6)。

5 烧结减摩材料发展动向

近 40 年来,粉末冶金铜基与铁基减摩材料相比,前者发展速度较慢,目前处于停顿状

态<sup>[14]</sup>。随着铝、钛冶炼技术的发展,以其为代表的轻金属基减摩材料将成为烧结青铜基减摩材料颇具前景的代用品。同时,各种非金属基及陶瓷减摩材料也将大量涌现。

## 6 参考文献

- 1 韩凤麟. 粉末冶金机械零件. 北京: 机械工业出版社. 1987
- 2 В Н Паберно. Влияние пористости и скорости скольжения на триботехнические свойства и особенности деформации поверхностных слоев меднографитовых матер. в процессе трения без смазки порош мет, 1987, (8): 81~85
- 3 US. Pat. 4666787A. 1987. 5. 19
- 4 US. Pat. 4865922A. 1989. 9. 12
- 5 Г З Титенская. Тул политехн ин-т -тула. 1989. 12
- 6 З Т Ильина. Триботехнические свойства самосмазывающихся полимерных матер. содержащих диалькогениды молибдена порош. мет, 1987, (8): 76-81
- 7 И Д Радомысельский. Износостойкость пористых железостеклянных матер. при трении без смазки Порош мет, 1978, (11): 80-82
- 8 Japan 专利特开, 61-179856, 86. 8. 12
- 9 Japan 专利特开, 61-84355, 86. 4. 28
- 10 Japan 专利特开, 62-99441, 87. 5. 8
- 11 新产品世界, 中美合办. 1991, (12): 22
- 12 V S Moxson. Powder Metallurgy of Ti-Al. MPR, 1988, 143(2): 88~91
- 13 Gordon Dowson. Developments in the Production of Copper Powders. MPR, 1986, 41(1): 68~70

## DEVELOPING STATUS OF P/M ANTIFRICTION MATERIALS IN FOREIGN COUNTRIES

Zhou Xianwu

(Beijing Research Institute of Powder Metallurgy, Beijing 100075)

**Abstract** The present developing status of sintered antifriction materials has been described. The properties and applications of Cu, Fe and Al, Ti light metal-as well as eutectic, high temperature and refractory metal-based sintered antifriction materials have been introduced. The new trend of these materials in recent years have been also briefly described

**Key words** P/M materials self-lubricating materials

## 金属基银嵌型固体自润滑轴承和粉末热锻浮动密封环 可靠性考核审定会在武汉召开

1992年11月20日至21日, 国家粉末冶金制品质量监督检测中心, 在武汉主持了武汉粉末冶金厂金属基银嵌型固体自润滑轴承和韶关粉末冶金厂热锻浮动密封环的可靠性考核评审总结。

武汉粉末冶金厂固体自润滑轴承的可靠性考核与主机厂合作, 采用现场采集样机装机使用收集数据法, 为粉末冶金行业产品可靠性考核探索了新路。韶关粉末冶金厂采用试验台架对浮动密封环进行了可靠性考核, 在行业中起了带头作用。

固体自润滑轴承在两个单位四台设备、二十套产品现场考核中, 平均无故障工作时间 6730h~8640h, 可靠度 100% 达到考核评定规范标准。浮动密封环试验及评定法, 平均有效故障前工作时间(平均寿命) MTTF  $\geq$  4500h, 达到可靠性考核规范要求。两个粉末厂的可靠性考核被评审为可靠性考核合格。

粉末冶金产品列入限期达到可靠性指标的机电工业产品, 是对粉末冶金行业的有力鞭策。可靠性考核评审为粉末冶金产品上档次、质量上水平、开发闯新路奠定了基础。同时, 通过考核工作, 带动了企业的可靠性技术和管理水平的全面提高。

(彭友方供稿)