

银及其合金基自润滑电接触材料的研究

朱家佩 欧阳锦林 张荣环 魏少森 方嘉宝

(中国科学院兰州化学物理研究所)

摘 要

本文介绍了用热挤压法制备的银及其合金基自润滑电接触材料的摩擦、磨损与物理-机械性能。考察了固体润滑剂(MoS_2 、 NbSe_2 、石墨)及 CdO 的加入量对其摩擦、磨损与物理-机械性能的影响。对比了热挤压法与模压法制备的自润滑电接触材料的性能,并举例说明热挤压法制备的银及其合金基自润滑电接触材料在条形电位计和圆形电位计上的使用结果。

一、前 言

电接触材料是电器、电子机械不可缺少的材料之一,该材料的使用方式大致可分为开闭式与非开关式两种^[1],滑动电触点、滑环与电刷等属于后者。对电接触材料不仅有电性能方面的要求,还有摩擦、磨损性能的要求。对其基本要求是:精确、可靠、寿命长。自润滑电接触材料的应用有可能满足这些要求^[2、8]。

我们采用模压法制备的含二硒化铌金属基自润滑电触点材料曾完成了135厂与242厂的有关任务。但模压法生产效率低,难以推广应用。热挤压法与模压法相比,除生产效率高外,还可以获得密度高、晶粒细和定向排列好的结构材料,从而提高了材料的机械强度,扩大了自润滑电接触材料的应用范围。因此,开展热挤压自润滑电接触材料的研究是很有实际意义的。

二、热挤压工艺与实验条件

热挤压有正、反两种挤压方法,我们采用的是反挤压方法,如图1所示。众所周知,银具有优异的导电和导热性,在贵金属中它最便宜,因此,银及其合金基电接触材料的使用面较广。我们沿用粉末冶金工艺制备出待挤压的毛坯,在不同的挤压咀引角、挤压温度与压力下挤压了银及其合金基自润滑电接触材料。并且对这种材料的摩擦、磨损性能进行了初步考察。

摩擦系数是在高温三号试验机上测定的〔4〕, 摩擦偶件试头是直径为5毫米, 长15毫米的待测材料, 试片为不锈钢, 速度为25厘米/秒, 负荷为50公斤/厘米², 时间30分钟。磨损率是在Skoda试验机上测定的〔4〕, 摩擦偶件的试块为待测材料, 磨轮为钨钢, 总负荷为10公斤, 速度32厘米/秒, 时间5分钟。

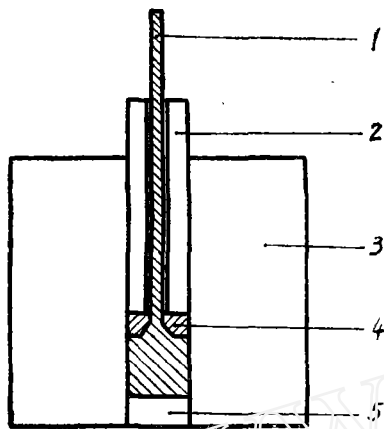


图1 反挤压示意图

1. 被挤压材料, 2. 挤压杆, 3. 挤压筒,
4. 挤压咀, 5. 底垫

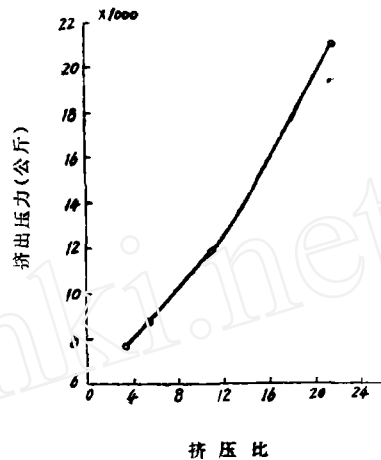


图2 挤压比与挤出压力的关系

(Ag合金: MoS₂: 石墨 = 90: 8: 2)

三、实验结果与讨论

我们考察了银及其合金基自润滑电触接材料的挤压比与挤出压力的关系以及它们的摩擦、磨损、物理-机械与电性能等。

1. 挤压比与挤出压力的关系

所谓挤压比是指材料挤压前后的直径之比。表1列出了不同材料的挤压比与挤出压力的关系。由表1与图2看出, 材料被挤出的压力与挤压比成正比, 而且不同材料在同一挤压比下挤出压力是不同的。

表1 不同材料的挤压比与挤出压力的关系

配方, 重量百分比	挤出压力 (公斤/厘米 ²)			
	3.4	5.6	11	22
Ag	110	—	150	—
Ag: MoS ₂ : 石墨 = 90: 8: 2	80	130	—	160
Ag合金	130	—	—	—
Ag合金: NbSe ₂ : 石墨 = 95: 4: 1	150	—	—	300
Ag合金: NbSe ₂ : 石墨 = 92: 6.4: 1.6	140	—	—	310
Ag合金: NbSe ₂ : 石墨 = 90: 8: 2	130	150	120	340
Ag合金: NbSe ₂ : 石墨 = 85: 12: 3	130	150	—	—
Ag合金: NbSe ₂ : MoS ₂ = 92: 4: 4	170	—	—	>340
Ag合金: NbSe ₂ : PbO基: 石墨 = 90: 5: 4: 1	130	—	—	340

2. 银基自润滑电接触材料的摩擦、磨损与物理-机械性能

我们过去的工作证明,从摩擦、磨损与机械性能综合来看,银基自润滑复合材料的固体润滑剂含量在10~15%为宜。我们沿用这一配比范围,热挤压了几种银基自润滑电接触材料,其摩擦、磨损与物理-机械性能如表2所列。由表2可以看出,固体润滑剂的加入降低了银的摩擦系数,而且 MoS_2 和 MoS_2 +石墨比 NbSe_2 有更明显的效果。不过, NbSe_2 的加入能有效地提高材料的耐磨性。我们知道,材料的电阻率在 $10^{-6} \sim 10^{-4}$ 欧姆·厘米范围内是电的良导体。表2数据表明,它们均属于电的良导体。

表2 银基自润滑电接触材料的某些性能

配 方, 重 量 百 分 比	密 度 (克/厘米 ³)	布 氏 硬 度 (公斤/毫米 ²)	冲 击 强 度 (公斤·米/厘米 ²)	抗 弯 强 度 (公斤/厘米 ²)	电 阻 率 ($\times 10^{-6}$ 欧姆·厘米)	摩 擦 系 数 (μ)	磨 损 率 ($\times 10^{-3}$ 毫米 ³ /米)
Ag	9.7	43	>4.08	>2687	1.61	0.55	1.06
Ag: MoS_2 = 95 : 5	9.6	35	1.13	—	1.86	0.16	18.88
Ag: MoS_2 = 90 : 10	8.1	27	0.13	—	2.75	0.11	16.60
Ag: MoS_2 + 石墨 = 90 : 8 : 2	8.2	30	0.15	1042	2.69	0.16	12.24
Ag: MoS_2 + 石墨 = 85 : 12 : 3	7.9	23	0.03	—	3.86	0.12	11.26
Ag: NbSe_2 = 85 : 15	8.6	38	0.26	1600	3.32	0.27	0.64

3. 银合金基自润滑电接触材料的摩擦、磨损与物理-机械性能

文献[1]中曾指出,仅仅是银的电接触材料,它在耐腐蚀与抗电弧性方面是不好的。为了克服这一缺陷,应采用银合金材料。

表3列出了几种银合金基自润滑电接触材料的摩擦、磨损与物理-机械性能。从表3可看出,固体润滑剂的加入明显地降低了银合金的摩擦系数。Ag合金- NbSe_2 -石墨体系材料的耐磨性、电性能与机械性能比相应配方的Ag合金- MoS_2 -石墨体系材料好。表3与表2数据相比可看到,Ag合金- MoS_2 -石墨体系材料的耐磨性、硬度与机械强度比相应配方的Ag- MoS_2 -石墨体系材料高,但摩擦系数与电阻率也高。

表3 银合金基自润滑电接触材料的某些性能

配 方, 重 量 百 分 比	密 度 (克/厘米 ³)	布 氏 硬 度 (公斤/毫米 ²)	冲 击 强 度 (公斤·米/厘米 ²)	抗 弯 强 度 (公斤/厘米 ²)	电 阻 率 ($\times 10^{-6}$ 欧姆·厘米)	摩 擦 系 数 (μ)	磨 损 率 ($\times 10^{-3}$ 毫米 ³ /米)
Ag合金	9.3	70	>5.95	>5500	5.30	0.45	0.96
Ag合金: MoS_2 + 石墨 = 90 : 8 : 2	7.6	53	0.13	1600	7.90	0.20	0.67
Ag合金: MoS_2 + 石墨 = 85 : 12 : 3	7.5	45	0.14	814	8.05	0.19	1.78
Ag合金: NbSe_2 + 石墨 = 95 : 4 : 1	8.7	60	1.26	2452	5.33	0.30	0.55
Ag合金: NbSe_2 + 石墨 = 92 : 6.4 : 1.6	7.9	59	0.67	2298	5.96	0.20	0.43
Ag合金: NbSe_2 + 石墨 = 90 : 8 : 2	8.0	54	0.33	1700	7.17	0.21	0.32
Ag合金: NbSe_2 + 石墨 = 85 : 12 : 3	7.7	52	0.14	897	7.22	0.16	0.23

4. 银-氧化镉基自润滑电接触材料的摩擦、磨损与物理-机械性能

在中、高负荷与大功率条件下使用的电接触材料中以Ag-CdO合金材料最为优异,这是因为CdO的加入不仅可以提高硬度,还可以提高抗电弧能力^[1]。据此,我们开展了Ag-CdO基电接触材料的研究。由表4可见,Ag中加入CdO后可提高材料的硬度和耐磨性,但加入量大于10%后则变化不大。电阻率随CdO加入量的增加而增大,但其值还小于 10^{-4} 欧姆-厘米,仍不失为良导体。机械强度随着CdO加入量的增加而下降。摩擦系数随CdO的加入变化不大,但其值较大。

表4 银-氧化镉基自润滑电接触材料的某些性能

配 方, 重 量 百 分 比	密 度 (克/厘米 ³)	布 氏 硬 度 (公斤/毫米 ²)	冲 击 强 度 (公斤·米/厘米 ²)	抗 弯 强 度 (公斤/厘米 ²)	电 阻 率 ($\times 10^{-5}$ 欧姆·厘米)	摩 擦 系 数 (μ)	磨 损 率 ($\times 10^{-3}$ 毫米/米)
Ag	9.7	43	>4.08	>2687	1.61	0.55	1.06
Ag : CdO = 95 : 5	10.7	56	2.88	3260	1.95	0.49	0.49
Ag : CdO = 80 : 10	9.59	62	1.56	1960	2.20	0.50	0.38
Ag : CdO = 85 : 15	9.27	64	1.00	1630	2.36	0.51	0.38
AgCdO ₈ : 石墨 = 97 : 3	8.17	47	1.49	1390	2.20	0.16~0.20	0.66
AgCdO ₁₀ : 石墨 = 97 : 3	8.48	57	0.32	1160	2.48	0.18~0.22	0.21
AgCdO ₁₅ : 石墨 = 97 : 3	8.57	54	0.16	1150	3.03	0.18~0.22	0.68
AgCdO ₁₀ : 石墨 = 99 : 1	9.16	39	0.50	1300	2.49	0.21~0.27	0.55
AgCdO ₁₀ : 石墨 = 95 : 5	8.32	53	0.38	1060	3.03	0.13~0.16	1.10

为了降低摩擦系数与进一步考察该体系材料的性能,我们又在上述配方中分别加入3%的石墨进行了试验。由表4可见,石墨的加入使摩擦系数明显降低,而耐磨性则以AgCdO₁₀ : 石墨 = 97 : 3的配方最好。石墨的加入使电阻率增大,机械强度降低。由以上两组试验结果看来,CdO的加入量以10%较为适宜。

在固定Ag比CdO为90比10的条件下,自润滑电接触材料的摩擦系数随石墨的增加而下降,耐磨性仍以3%时最好。

5. 银合金-氧化镉基自润滑电接触材料的摩擦、磨损与物理-机械性能

从表3与表2数据可以看出,银合金比纯银以及它们相应加入MoS₂和石墨的自润滑电接触材料,在耐磨性等方面前者优于后者。

由表3可见,在银合金中加入10%CdO后可提高材料的硬度与耐磨性。摩擦系数随石墨的加入量的增加而下降,而耐磨性仍以3%为好,在Ag合金-NbSe₂-石墨体系中,CdO的加入也可使硬度与耐磨性提高。

表 5

银合金-氧化镉基自润滑电接触材料的某些性能

配 方, 重 量 百 分 比	密 度 (克/厘米 ³)	布 氏 硬 度 (公斤/毫米 ²)	冲 击 强 度 (公斤·米/厘米 ²)	抗 弯 强 度 (公斤/厘米 ²)	电 阻 率 ($\times 10^{-8}$ 欧姆·厘米)	摩 擦 系 数 (μ)	磨 损 率 ($\times 10^{-3}$ 毫米/米)
Ag合金	9.30	70	>5.95	>5500	5.35	0.45	0.96
Ag合金: CdO = 90 : 10	8.57	93	0.63	4120	—	0.35~0.55	0.77
Ag合金: CdO ₁₀ : 石墨 = 99 : 1	8.69	73	0.25	3180	—	0.31~0.40	1.99
Ag合金: CdO ₁₀ : 石墨 = 97 : 3	7.71	79	0.63	2360	5.82	0.25~0.31	0.35
Ag合金: CdO ₁₀ : 石墨 = 95 : 5	7.55	62	0.25	1590	5.84	0.14~0.18	0.38
Ag合金: NbSe ₂ : 石墨 = 95 : 4 : 1	8.70	60	1.26	2450	5.33	0.30	0.55
Ag合金CdO ₁₀ : NbSe ₂ : 石墨 = 95 : 4 : 1	8.29	61	0.31	2980	5.64	0.25~0.34	0.46

6. 制备工艺对自润滑电接触材料性能的影响

表 6 列出由热挤压工艺与模压工艺制备的三种自润滑电接触材料性能的比较。由表可知, 热挤压工艺制备的材料密度大, 硬度与冲击强度高, 磨损率与电阻率小。

表 6

制备工艺对自润滑电接触材料性能的影响

配 方, 重 量 百 分 比	密 度 (克/厘米 ³)		布 氏 硬 度 (公斤/毫米 ²)		冲 击 强 度 (公斤·米/厘米 ²)		电 阻 率 ($\times 10^{-8}$ 欧姆·厘米)		磨 损 率 ($\times 10^{-3}$ 毫米/米)	
	热挤压	模压	热挤压	模压	热挤压	模压	热挤压	模压	热挤压	模压
Ag: NbSe ₂ = 85 : 15	8.6	8.2	38	26	0.26	0.10	3.32	6.20	0.64	1.31
Ag合金: NbSe ₂ : 石墨 = 90 : 8 : 2	8.0	6.7	54	25	0.33	0.10	7.17	10.90	0.32	0.46
Ag合金: NbSe ₂ : 石墨 = 85 : 12 : 3	7.7	6.3	52	23	0.14	0.10	7.22	16.80	0.23	0.40

7. 实用举例

热挤压银合金基电触点材料在某长条形电位计上使用寿命可达500小时以上, 克服了原用金-镍。电触点对镍铬或康铜绕组磨损严重以至刮伤、致使绕组紊乱、阻值超差、产品性能不稳定等缺点, 并可延长寿命 2 倍。热挤压银基电触点材料在某圆形电位计上使用寿命可达万次以上, 克服了原用金-镍-钨等电触点对锌白铜中间接线片的严重磨损、转动扭矩与力矩差都超差的缺点, 可提高寿命30倍, 并可节约贵金属钨。热挤压银基电触点材料在触点压力为200克/厘米², 与币银间相对运动速度为20米/秒以上的条件下, 电参数稳定, 耐磨性比银-石墨触点材料高 3 至 5 倍。

四、结 论

1. 银与银合金中加入固体润滑剂后降低了它们的摩擦系数。Ag-MoS₂-石墨体系材料的摩擦系数比 Ag 合金-MoS₂-石墨体系材料的低,但耐磨性却较差。Ag 合金-NbSe₂-石墨体系材料的耐磨性、电性能与机械性能比相应配方的 Ag 合金-MoS₂-石墨体系材料的好。

2. 在银中加入氧化镉后可提高材料的硬度与耐磨性,其加入量以10%为宜。Ag CdO₁₀基加入石墨所构成的自润滑电接触材料的摩擦系数随石墨加入量的增加而下降,当其加入量为3%时具有较好的物理-机械与摩擦、磨损性能。

3. 在银合金中加入10%的氧化镉后也可以提高材料的硬度与耐磨性。加入石墨所构成的 Ag 合金 CdO₁₀基自润滑电接触材料的摩擦系数随石墨的加入量的增加而下降,而耐磨性也以3%为好。

4. 同一配方的热挤压的自润滑电接触材料比模压的密度大、硬度与冲击强度高、磨损率与电阻率小。

5. 所研制的银与银合金基自润滑电接触材料均属电的良好导体。

参 考 文 献

1. 宫川健三、山崎恒, 润滑(日), 23(1978), 6 : 399~403.
2. Magie P. M., *Lub. Eng.*, 22(1966), 262.
3. 田中章浩、木村好次, 润滑(日), 23(1978), 3 : 231~237.
4. 兰州化学物理研究所固体抗摩材料编写组, 固体抗摩材料, 科学出版社, 1973.