

国外某些金属基自润滑复合材料的开发与进展*

王庆年 隋忠祥 张明喆 刘勇兵 安 健

(吉林工业大学 长春 130025)

摘要 金属基自润滑复合材料是材料科学研究领域的一个重要发展方向, 其以在特殊使用条件下具有优良的摩擦学特性而受到人们的广泛关注. 为了促进这类复合材料的研究与应用的发展, 对国外某些金属基自润滑复合材料的开发与进展作了综合介绍与评述, 重点阐述了其中部分材料的摩擦学特性, 讨论了环境因素对材料摩擦学性能的影响, 并且通过对目前某些金属基自润滑复合材料应用实例的论述, 提出了在今后研究与开发工作中应当重视的几个努力方向.

关键词 复合材料 自润滑 摩擦磨损

分类号 TQ 135.6

金属基自润滑复合材料具有优良的摩擦学特性, 是固体润滑剂作为组元被加入到金属基体中形成的复合材料. 这类材料的摩擦学特性取决于摩擦过程中其所含固体润滑剂的析出和弥散分布. 固体润滑剂可以在对摩表面间发生转移形成润滑薄膜, 这能使材料的摩擦学性能得到明显改善^[1~8].

金属基自润滑复合材料兼有基体金属固有的特性和固体润滑剂优良的摩擦学特性, 适于在不同的大气环境、化学环境、电气环境和温度环境等特殊环境条件下使用.

作者通过对国外某些金属基自润滑复合材料开发与进展情况的综合介绍与论述, 以求推动我国在这一领域基础理论研究和应用研究的发展.

1 金属基自润滑复合材料的摩擦学特性

按照所用金属的相态不同可以将金属基自润滑复合材料的制造方法分为液相制造、固相制造和液固相混合制造 3 种. 典型的固相制造是粉末冶金法, 而铸造则是最常采用的液相

* 国家自然科学基金资助项目

1995-09-24 收到初稿, 1996-09-18 收到修改稿, 本文通讯联系人张明喆

王庆年 男, 1952 年 12 月生, 黑龙江省庆安人, 1987 年获吉林工业大学博士学位, 目前主要从事汽车材料、结构设计和动态仿真研究, 现为吉林工业大学教授

隋忠祥 男, 1947 年 2 月生, 山东省海阳县人, 1982 年 4 月在吉林工业大学硕士研究生毕业, 目前主要从事材料热处理及涂装设备研究, 发表论文 18 篇, 现为吉林工业大学副教授

张明喆 男, 1964 年 11 月生, 吉林省大安市人, 1994 年获吉林工业大学硕士学位, 目前主要从事复合材料摩擦磨损研究, 发表论文 16 篇, 现为吉林工业大学讲师

刘勇兵 男, 1953 年 8 月生, 吉林省大安市人, 曾留学美国, 1989 年在美国威斯康星大学材料系获博士学位, 1994 年回国, 目前主要从事汽车材料及工业摩擦学研究, 发表论文 43 篇, 现为吉林工业大学教授、博士生导师

安 健 男, 1965 年 1 月生, 吉林省长春市人, 1991 年在西安交通大学金属材料系获硕士学位, 目前主要从事复合材料磨损的研究, 发表论文 6 篇, 现为吉林工业大学讲师

制造过程, 介于二者之间的有真空喷涂法等^[9, 10]. 表 1 列出的是国外已经投入实际应用的部分金属基自润滑复合材料, 其中已有一些实现了商品化. 某些常用于制造金属基自润滑复合

表 1 某些金属基自润滑复合材料

Table 1 A selected list of metal-matrix self-lubricating composites

M a t r i x m a t e r i a l	S e l f - l u b r i c a n t		T e c h n i q u e o f s y n t h e s i s	D e n s i t y $\rho / \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	A p p l i c a t i o n
	T y p e	/ %			
A g	G r a p h i t e	5.00~10.00	P/M	7.23~8.50	Electrical contacts
		25.00	P/M	5.00	
	M o S e ₂	20.00	P/M	9.51	Electrical contacts
	N b S e ₂	10.00	P/M	8.82~9.31	
		15.00~30.00	P/M	7.85~9.04	
	M o S ₂	10.00~20.00	P/M	7.63~8.92	
	W S e ₂	15.00~25.00	P/M	9.07~9.73	
A g 10 N i	G r a p h i t e	3.00	P/M	9.04~9.33	
A g	P T F E / M o S e ₂	20.00/10.00	P/M	5.40~5.60	
C u	G r a p h i t e	5.00	P/M	7.35~7.57	Electrical contacts
C u (G R A D I A)	G r a p h i t e	20.00	S C A S T	7.50	
C u	M o S ₂	5.00~50.00	P/M		Bearing
C u	P T F E / M o S e ₂	22.00/8.00	P/M	5.16	materials
	M o S ₂ / W S ₂	10.00/10.00	P/M	7.98	
C u 5 P b	W S ₂	12.00	P/M	8.79	High speed
C u 4 S n	C u ₂ S / F e S	3.00/5.00	P/M		bearing
C u 60 T a	M o S ₂ / W S ₂	10.00/10.00	P/M	8.66	materials
C u 45 S n 2 P b	G r a p h i t e	11.00	P/M	5.50	with improved
C u 4 Z n 8 S n	G r a p h i t e	10.00	V C A S T		machinability
A l - S i	G r a p h i t e	1.00~10.00	V C A S T		Bearings
A l 4 5 C u	G r a p h i t e	50.00	P N F L	2.30~2.38	liners
		5.00~30.00	S C A S T		pistons dry
			M A L L O Y	2.62~2.64	friction
A l 9 S i 3 C u	M o S ₂	1.00~4.00	S C A S T		bearing
A l 13 S i C u	T a l c	2.00~2.80	V C A S T		materials
A l 4 5 C u 1.5 M g	M i c a	1.38~2.00	V C A S T		
304 S t a i n l e s s s t e e l 30 A g	M o S e ₂	10.00	P/M		Bearings
N i	W S ₂	10.00~35.00	P/M	7.52~8.31	High
	C a F ₂	5.00~15.00	P/M	6.31~7.04	temperature
	W S e ₂	15.00~25.00	P/M	8.04~8.46	bearings
	M o S ₂	10.00~15.00	P/M	7.10~7.64	

Note: P/M means power metallurgy; VCA ST means vortex casting; SCA ST means special casting; PNF L means pressure infiltration; MALLOY means mechanical alloying.

注: P/M 表示粉末冶金, VCA ST 表示涡流铸造, SCA ST 表示特殊铸造, PNF L 表示压力渗入, MALLOY 指机械合金化.

材料的固体润滑剂见表 2 所列. 这类润滑剂的摩擦因数大都处在 0.10~0.25 的范围. 在高温下使用的固体润滑剂的摩擦因数都比较高, 而且就一般情况而言, 固体润滑剂的硬度越高, 其摩擦因数越高.



金属基自润滑复合材料的摩擦磨损性能取决于这样 4 个方面: ① 基体合金的组织 and 成分; ② 固体润滑剂的性质、颗粒尺寸、形状及其在复合材料中所占的体积分数; ③ 固体润滑剂在复合材料中的分布状态和界面的性质与特征; ④ 合成方式在一定程度上也影响金

表 2 部分用于制备金属基自润滑复合材料的固体润滑剂

Table 2 A selected list of solid lubricating particles used in the fabrication of metal-matrix self-lubricating composites

Material	Structure	$\rho / \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	H_M	μ	$T / ^\circ\text{C}$
Graphite	Layer lattice	2.09~2.23	0.5~1.0	0.14~0.19	500~600
MoS ₂	Layer lattice	4.62~4.80	1.0~1.5	0.16~0.20	250~350
Talc	Layer lattice	2.58~2.83	1.0~2.0	~0.25	~200
Mica	Layer lattice	2.70~2.80	2.8	~0.25	
WS ₂	Layer lattice	7.40~7.50	1.0~1.5	0.14~0.18	~430
MoTe ₂	Layer lattice	~7.70	1.0~2.0	~0.19	~400
WSe ₂	Layer lattice	~8.00	1.0~2.0	0.10~0.17	~540
NbSe ₂	Layer lattice	~6.25	1.0~2.0	0.11~0.17	~350
MoSe ₂	Layer lattice	~6.90	1.0~2.0	0.16~0.20	~540
BN	Layer lattice	2.30~3.30	2.0	~0.25	~700
CaF ₂	Cubic lattice	~3.18	4.0	0.20~0.25	~650
PTFE	Chain structure	~2.13	175.0~195.0	0.04~0.20	130~275
TaS ₂	Layer lattice	~7.05	1.0~2.0	~0.05	~600

属基自润滑复合材料的摩擦磨损性能

图 1 给出的是几种金属基自润滑复合材料的摩擦因数随其所含固体润滑剂体积分数变化的关系曲线。可以看出,在复合材料中所含有的石墨体积分数(下同)低于 25% 的情况下,几种材料的摩擦因数都是随着石墨含量的增加而明显降低;当石墨含量高于 25% 以后,几种金属基自润滑复合材料的摩擦因数都基本不再随石墨添加量的变化而改变,而是呈现出相当稳定的低值(接近于石墨材料本身的摩擦因数)^[6, 10~17]。这说明在相对滑动的摩擦表面上形成了较为稳定的润滑薄膜之后,基体金属的硬度等对金属基自润滑复合材料摩擦磨损性能的影响甚微。在这种情况下,金属基自润滑复合材料的摩擦与磨损主要受固体润滑剂的影响。90 年代以来,这层润滑薄膜的形成和性质引起了材料学界和摩擦学界的广泛关注,并且对其进行了许多研究^[1, 4~8]。但到目前为止,人们对这种润滑薄膜的形成机制及其破坏

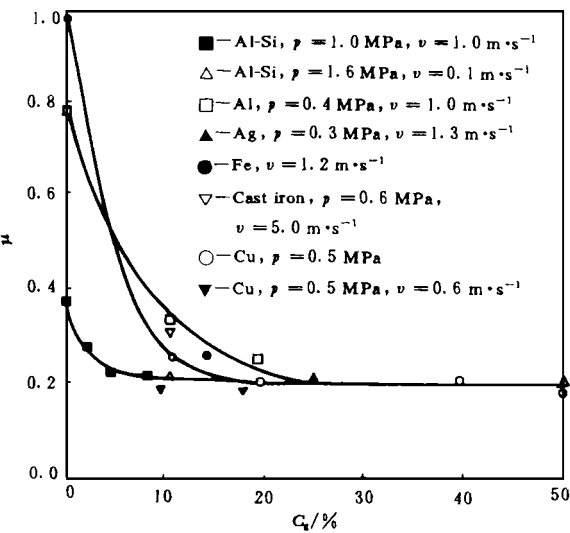


Fig 1 Friction factor as function of graphite content in the metal-matrix self-lubricating composites^[5, 11, 12, 14~17, 32]

图 1 部分金属基自润滑复合材料的摩擦因数随石墨含量(C_g)变化的关系曲线^[5, 11, 12, 14~17, 32]

与再生过程都还并不十分清楚

研 究 结 果 表 明 , 金 属 基 自 润 滑 复 合 材 料 的 磨 损 主 要 取 决 于 : ① 摩 擦 形 成 的 润 滑 膜 的 性

质、厚度和分布状态; ② 润滑膜与基体的结合强度; ③ 基体金属的特性 图 2 给出的是几种典型的商品金属基自润滑复合材料的磨损率测试结果^[16, 18, 19], 明显可见其磨损率大多是随固体润滑剂体积分数的增加而下降, 唯有 Cu-W S₂ 例外. 对前种带普遍性的变化情况, 认为是固体润滑剂在对磨表面形成了足够厚的保护膜而阻止或减缓了表面破坏过程的结果^[1, 4~8, 16]. 一般情况下, 固体润滑剂的颗粒越大^[18, 20, 21], 以其复合的材料磨损速率越低. 就固体润滑剂体积分数比较高的金属基复合材料而言, 其磨损速率通常比较稳定而且较低; 而当固体润滑剂的体积分数给定后, 复合材料的磨损率则是随着接触压力的增大而上升, 但随着滑动速度的增加而降低^[1, 22~26].

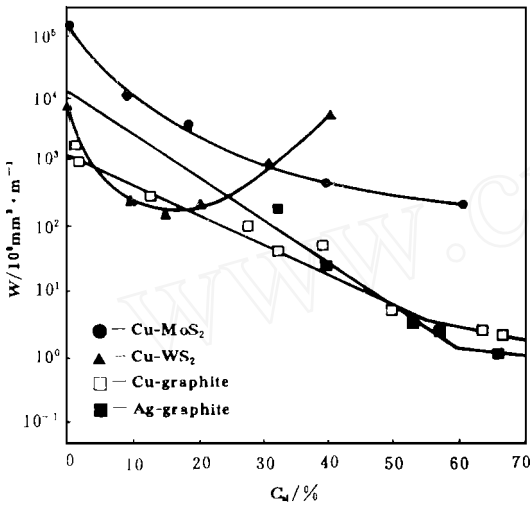


Fig 2 Wear rate (W) vs solid lubrication particle content (C_{sl}) for metal matrix composites^[16, 18, 19]

图 2 几种金属基自润滑复合材料中固体润滑剂含量 (C_{sl}) 对磨损速率 (W) 的影响^[16, 18, 19]

2 环境因素对摩擦磨损性能的影响

各种环境因素对金属基自润滑复合材料所含固体润滑剂的体积分数及其在摩擦表面的弥散分布过程都有明显的影响. 由于石墨呈层状结构, 在摩擦过程中因层间滑移而具有良好的摩擦学特性. 这种特性在有水分或其它

表 3 一些固体润滑剂在不同环境大气中的摩擦学特性^[16]

Table 3 The effect of vacuum, dry air and highly humid air on the friction and wear behaviours of various solid lubricants^[16]

Solid lubricant	In vacuum	In dry air	In high humid air
Graphite	High	High	Very low
Graphite fluoride	Fairly high	Fairly high	Low
BN	High	High	Low
PTFE	Very low	Low	Fairly low
Polymer	Low	Fairly low	Fairly high
Metal	High in friction low in wear	High	High
MoS ₂	Very low	Low	Fairly low
W S ₂	Very low	Low	Fairly high

挥发性有机物存在的情况下更加明显^[27], 而且在金属基石墨自润滑复合材料中同样也是如此^[16, 28~33]. Lee 等^[33]曾经研究过环境大气对 Ag-25% 石墨复合材料摩擦磨损性能的影响, 发现很低的水蒸汽分压就可以明显改变材料的摩擦学特性. 表 3 列出的是一些固体润滑剂在真

空、干燥和潮湿空气中摩擦学特性的定性比较^[18]。可以看出, 这些固体润滑剂在不同环境气氛中的摩擦学性能明显不同。金属基石墨自润滑复合材料在液体润滑条件下的抗擦伤性能相当好, 这应当归因于石墨的改性作用。研究表明, 在 Al-Si-Ni 合金中, 改善这一特性的最低石墨含量约为 2.0%^[34], 而在液体润滑条件下, 只须要添加约 1.2% 的石墨就可以明显地改善合金的耐磨性^[22]。

Cu 或 Ag 基自润滑复合材料通常在使用中有电流通过, 由于在滑动过程中电流的作用, 致使磨损变得更加复杂。在这种情况下, 复合材料的磨损量取决于这样 3 种磨损: ① 纯机械磨损; ② 电弧冲蚀; ③ 由于电弧的局部加热而使材料软化所导致的磨损增量。一般地说, 当摩擦条件发生变化时, 这 3 种磨损的大小也随之发生改变^[1, 35, 36], 就 Ag-石墨复合材料而言, 磨损是随着通过电流密度的增加而增大, 如图 3 所示^[28]。可以看出, 由于试验温度的范围不同, 这种复合材料呈现出两种明显的磨损方式。其中, 方式 I 是在温度低于 100 °C 时有吸附水存在下的磨损状态, 而方式 II 则是在温度高于 100 °C 条件下的磨损状态。

研究结果表明, 在金属基复合材料中添加适量的固体润滑剂, 在一般情况下非但不会损害原基体材料的承载能力, 相反还会导致材料的承载能力有一定程度的提高。例如, 在 Al-17Si-4Cu 复合材料中添加体积分数为 3% 的石墨, 可以使这种复合材料的 $p-v$ 曲线得到较大程度的提高[见图 4(a) 所示]; 当在这种复合材料中加入 50% 的石墨后, 其 $p-v$ 曲线与原基体材料的基本相当, 而在较高速度下的 $p-v$ 曲线还明显升高[见图 4(b) 所示]。

3 工业应用与展望

由于金属基自润滑复合材料不仅具有基体金属良好的机械强度, 而且具有固体润滑剂优良的摩擦学特性, 已经在工程领域获得较为成功的应用。目前, 商品化的金属基自润滑复合材料比较典型的应用包括干摩擦轴承、轴瓦、滑块、电接触器、衬套、活塞、齿轮、轴、垫圈和密封圈, 以及阀门座和轴承保持架等。

Ag 基自润滑复合材料具有摩擦噪声低、摩擦因数低、接触电阻小而稳定和电导率高等主要优点, 已经广泛用于制造电刷、轴瓦、滑块和触点等^[57]。Ag-二硫化物复合材料也已成功地应用在外层空间用微型轴承上。

Cu 基自润滑复合材料在氧化性气氛下的使用温度约为 300 °C, 在非氧化性气氛下的最高使用温度可达 927 °C。这类复合材料可以用于高负荷和低滑动速度的工作条件, Cu-石墨自润滑复合材料已用于制造卡车和起重机等行走机械的平面轴承、驱动轴轴承、加煤机链条、细粒输送带和电刷等。

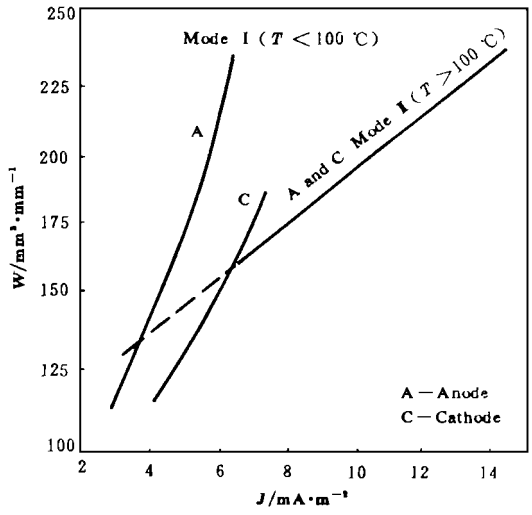


Fig 3 Wear rate (W) as a function of current density (J) for Ag-graphite composites^[28]

图 3 Al-石墨复合材料磨损速率(W)随电流密度(J)的变化规律^[28]

Cu 基或 Ag 基自润滑复合材料电刷已经成功地应用于现代惯性能量贮存装置(如单极电动机或发电机)中。

Ag, Cu, Ni 加二硫化物自润滑复合材料已在球轴承与滚针轴承、外层空间微型轴承、密封垫、阀门座、齿轮、电动机电刷、滑动圈和电接触器等方面得到了应用。Mo-MoS₂, Ta-MoS₂ 自润滑复合材料在高温轴承和滚动轴承支架等方面也得到了应用。

铝硅合金-石墨自润滑复合材料主要用于制造汽缸体和一些轴承、活塞与活塞环。在使用铝硅-石墨活塞和活塞环时,摩擦功耗可以减少 9%。Al-石墨复合材料具有良好的摩擦与磨损特性,其减震性能与灰铸铁的不相上下,已在汽缸体、滚动轴承、连接轴和风扇套管等方面得到很好的应用。镁合金-石墨复合材料已用于制造活塞与空间结构件,而巴比特-石墨复合材料则主要是用于制造中载和中速轴瓦套管、垫圈和转动密封圈等。

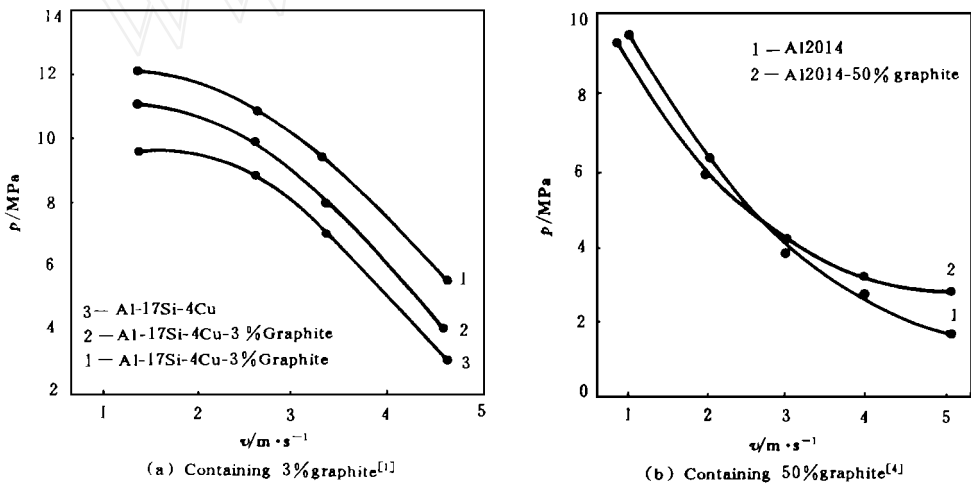


Fig 4 Influence of graphite content on pressure (p) variation corresponding to seizure at different sliding speed in several metal-matrix composites

图4 几种金属基复合材料中的石墨含量对压力(p)-滑动速度(v)关系曲线的影响

铸造金属基自润滑复合材料是 60 年代发展起来的用于降低摩擦阻力的新材料^[11]。铸造法是目前最经济的复合材料制备技术。这类复合材料的摩擦学性能良好,只需加入 2% 的石墨就可以使铝合金获得良好的自润滑性能。

4 结束语

由以上所述国外一些金属基自润滑复合材料的工业应用情况可以看出,这类复合材料的应用范围几乎覆盖了全部金属轴承零部件,而其在特殊条件下的使用性能则是一般金属零部件所无法比拟的。

已经开发出来的在高速、高温下使用的轴承,例如以粉末冶金法制取的 Ni 基自润滑复合材料, Ni-W-S₂, Ni-CaF₂ 和 Ni-MoS₂, 以及 Mo-MoS₂, Ta-MoS₂ 和部分 Cu 基自润滑复合材料等,都已得到一定程度的应用。但是,目前对这类复合材料在高温下的摩擦学特性及氧化层的影响之研究都还不够深入。作者认为,系统地研制、开发高性能的高温自润滑复合材料是应当

进一步重视的课题

随着现代航天和航空工业的发展, 宇宙空间机械摩擦学也得到了发展, 具有低摩擦和低滑动噪声的 Ag 基-二硫化物自润滑复合材料, 已经成功地在外层空间用微型轴承上得到了应用; 可以在中等程度真空条件下使用的 Cu-石墨-W S₂ 复合材料也已经研制出来。但是, 从总的情况来看, 国外在金属基自润滑复合材料方面, 还有很多实际应用上的问题尚未得到满意的解决, 基础理论方面也还有待进行深入而系统的研究与探讨。

参 考 文 献

- 1 Rohatgi P K, Ray S, Liu Y B. Tribological characteristics of metal-matrix graphite composite. *Int Met Rev*, 1992, 37: 129~134
- 2 Badia F A, Rohatgi P K. Dispersion of graphite particle in aluminum casting through injection in the model AES Trans, Reprint, No 690 275, 1969, 1 280~1 291
- 3 Rohatgi P K, Bai B C. Scizure resistance of cast Al alloys containing dispersed graphite particles of different sizes. *Wear*, 1980, 59: 323~332
- 4 Liu Y B, Rohatgi P K, Ray S. Tribological characteristics of aluminum-50% graphite composite. *Metall Trans*, 1993, 24A: 151~155
- 5 Rohatgi P K, Liu Y B. A surface analytical study of tribodeformed aluminum alloy 319-10% graphite particle composite. *Metall Sci Eng*, 1990, A 123: 213~218
- 6 Liu Y B. Friction and wear of aluminum-graphite composites: the smearing process of graphite during sliding. *Wear*, 1992, 159: 201~205
- 7 Rohatgi P K, Liu Y B, Barr T L. Tribological behavior and surface analysis of tribodeformed Al alloy-50% graphite particle composites. *Metall Trans*, 1991, 22A: 1 435~1 441
- 8 Liu Y B, Lin S C. Wear maps: useful databases for wear applications. *J Inst Eng*, 1991, 31: 51~55
- 9 Ibrahim A. Particulate reinforced metal matrix composites- a review. *J Mater Sci*, 1991, 26: 1 137~1 151
- 10 Liu Y B, Lin S C, Lu L. Recent development in the fabrication of metal matrix-particulate composites using powder metallurgy techniques. *J Mater Sci*, 1994, 29: 1 999~2 007
- 11 Gibson P R, Clegg A J, Das A A. Wear of cast Al-Si alloy containing graphite. *Wear*, 1984, 95: 193~198
- 12 Yuasa E, Morooka T, Hayama F. Wear characteristics of power extruded Al-Si alloys containing dispersed graphite particles. *J Jap Inst Met*, 1986, 50: 1 032~1 040
- 13 Ruff A W, Peterson M B. Tribology of composite materials. ASM Int, Oak Ridge, TN, USA, 1990. 43~53
- 14 Bowen P H. Self-lubricating composite materials. *Machine Design*, 1963, 7: 139~143
- 15 Kawamoto M, Okabayashi K. Study of dry sliding wear of cast iron as function of surface temperature. *Wear*, 1980, 58: 59~95
- 16 Tsuya Y. Tribology of composite materials. *J Jap Inst Composites*, 1985, 11: 127~132
- 17 Owen K C, Wang M J, Persad C *et al.* Preparation and tribological evaluation of copper-graphite composites by high rate powder consolidation. *Wear*, 1987, 120: 117~121
- 18 Tsuya Y, Shimura H, Umeda K. A study of the properties of copper and copper-tin base self-lubricating composites. *Wear*, 1972, 22: 143~162
- 19 Johnson J L, Morberly L E. High-current brushes. I Effect of brush and ring materials. *IEEE Trans*, 1978, CHMT-1: 36~39
- 20 Altman V A, Malakov G V, Menlov V L. Study of mechanism of surface film formation in the friction of copper-graphite materials. *Soviet J Friction and Wear*, 1989, 10: 873~881
- 21 Suwa M, Komuro K, Soeno K. Effect of graphite particle size on the wear of graphite-dispersed bronze casting alloys. *J Jap Inst Met*, 1978, 42: 1 034~1 038
- 22 Suwa M, Komuro K, Soeno K. Mechanical properties and wear resistance of graphite dispersed Al-Si casting alloys. *J*

- Jap Inst Met, 1976, 40: 1 070~ 1 081
- 23 Choo W K, Hong C H. A study on wear characteristics of graphite dispersed Al-Si alloys J Korean Inst Met, 1979, 17: 474~ 483
 - 24 Das S, Prasad V. Microstructure and wear of cast (Al-Si alloy) graphite composites, Wear, 1989, 133: 173~ 187
 - 25 Suwa M. Hitachi Graphite-Dispersed Cast Alloy-Gratia Hitachi Report, 1986
 - 26 Liu Y B, Rohatgi P K, Ray S *et al.* Proc Conf Composite-Design, Manufacture and Applications SAMPE Vol 2 by Tsai S W, Springer G S. 1991, Hawaii, USA P20H I
 - 27 Savage R H, Schaefer D L. Vapor lubrication of graphite sliding contact J Appl Phys, 1956, 27: 136~ 138
 - 28 Kuhlman-Wilsdorf D, Mäkelä D D, Sondergaard N A *et al.* Friction wear and interfacial temperatures in metal-graphite composites In: Fishman S G, Dhingra A K eds Proc Cast Reinforced Metal Composites ASM Int, 1988 347~ 355
 - 29 Johnson J L, Schreurs J, High current brushes — effect of electrical load Wear, 1982, 78: 219~ 232
 - 30 Casstevens J M, Rylander H G, Eliezer Z. Influence of high velocities and high current densities of the friction and wear behavior of copper-graphite brushes Wear, 1978, 48: 121~ 130
 - 31 Casstevens J M, Rylander H G, Eliezer Z. Friction and wear properties of two types of copper-graphite brushes under severe sliding conditions Wear 1978, 50: 871~ 881
 - 32 Johnson L B, Kuhlman-Wilsdorf D. Performance characteristics of silver-graphite electrical brushes Mat Sci & Eng, 1983, 58: L 1~ 4
 - 33 Lee P K, Johnson J L. High current brushes II. Effects of gases and hydrocarbon vapors IEEE Trans, 1978, CHMT-1: 40~ 45
 - 34 Badia F A. Graphite aluminum: 15th Die Casting Congress & Exposition, USA, 1989, G-T89-073: 1~ 19
 - 35 Teraoka T. Wear of ARC resistant sintered copper alloy for pantograph Railway Tech Res Inst Rep, 1986, JNR, 105 ~ 110
 - 36 Jones L. The Physics of Electrical Contacts Oxford: Clarendon Press, 1957. 136~ 147
 - 37 Clauss F J. Solid Lubricants and Self-Lubricating Solids, New York: Academic Press, 1972. 65~ 72

Research and Development on the Metal Matrix Self-Lubricating Composites Overseas

Wang Qingnian Sui Zhongxiang Zhang Mingzhe Liu Yongbing An Jian
(Jilin University of Technology Changchun 130025 China)

Abstract The metal matrix self-lubricating composites (MMCS) as a group of high performance materials have caused great attention in the world due to their attractive tribological properties. Mainly reviews the current knowledge on the research and development of MMCS overseas, including the classification, fabrication methods, tribological properties, wear mechanisms and the effect of environment. The discussions on typical applications of some commercially available MMCS provide a some focal point of the work in the future research and applications.

Key words composite self-lubrication friction-wear

Classifying number TQ 135.6