

炭 / 炭复合材料与轴承用铜合金摩擦磨损行为的对比研究

Comparative Study of Friction and Wear Behavior of Carbon/Carbon Composites and Copper Alloy for Bearing

海军驻北京地区航空军代表室 张爱敏

[摘要] 采用摩擦试验机(UMT-200)和表面形貌仪(Talysurf CCI 2000)表征了炭/炭复合材料,铜合金和带有 MoS_2 涂层的铜合金的摩擦磨损行为。结果表明:在相同条件下,铜合金的摩擦系数保持在0.65左右,而带有 MoS_2 涂层的铜合金的摩擦系数为0.25~0.3,线性磨损率为铜合金的1/3,但随着试验时间的增加, MoS_2 涂层被破坏,其摩擦系数会增加至0.35左右。炭/炭复合材料的摩擦系数一直保持在0.12~0.13,线性磨损率为铜合金的1/6,且表现出良好的耐磨自润滑特性。

关键词: 炭/炭复合材料 铜合金 摩擦磨损

[ABSTRACT] Friction tester(UMT-200)and surface topography (Talysurf CCI 2000) were used to characterize the friction and wear behavior of carbon/carbon composites, copper alloy and copper alloy with MoS_2 coating. In the result, under the same condition, the friction coefficient of copper alloy is approximately 0.65, the friction coefficient of copper alloy with MoS_2 coating lies between 0.25 and 0.3, moreover its liner wear rate is merely one third to that of copper alloy. However because of the destroy of MoS_2 coating during the casting experimental stage, its friction coefficient increased to around 0.35. The friction coefficient of carbon/carbon composites always kept at 0.12~0.13, and its liner wear rate is just one sixth as much as that of copper alloy. The wear-resistance and self-lubrication properties of carbon/carbon composites were performed well.

Keywords: Carbon/Carbon composites Copper alloy Friction and wear

铜合金目前被广泛地应用为航空发动机的密封衬套、轴承和轴承衬套等部件。就轴承而言,在使用过程中与其配件存在摩擦作用,从而给轴承材料提出了2个基本性能要求,包括良好的抗摩擦磨损特性和良好的导热性。良好的导热性能快速传导摩擦产生的热与从相邻部件传来的热,以免轴承温度过高,发生“抱死”现象。某型航空发动机采用的铜合金轴承,就由于摩

擦系数高、磨损量大,使得轴承更换频率高,尤其是在使用过程中,发生突发性“抱死”现象,严重影响航空发动机的正常使用,也增加了发动机的维护成本。更为重要的是,随着航空发动机推重比的提高,铜合金已不能满足轴承材料的工况要求,因此,开发一种新型航空发动机轴承材料是有必要的。

炭/炭复合材料具有低密度、高比强度、高比模量、大热容、良好的导热性能、优异的抗摩擦磨损性能以及良好的可设计性,是一种理想的航空发动机用轴承材料候选材料^[1-4]。本课题通过对比炭/炭复合材料、某航空发动机的轴承用铜合金及涂敷 MoS_2 润滑层的铜合金的抗摩擦磨损性能,初步分析了它们的摩擦磨损行为,并验证了炭/炭复合材料应用为航空发动机轴承材料的可行性。

1 实验方法

1.1 实验样品

炭/炭复合材料为PANCF炭布与PANCF网胎叠层纵向连续针刺形成的准三维预制体结构,经化学气相渗透法和液相浸渍法组合工艺实现致密化,材料最终体积密度为 $1.81\text{g}/\text{cm}^3$ 。铜合金为某航空发动机用轴承材料,为了降低它的摩擦系数和磨损率,在其表面采用涂刷法涂敷了厚度约为 $20\mu\text{m}$ 的 MoS_2 润滑减磨层。上述3种样品分别标记为 S_1 、 S_2 、 S_3 。

1.2 实验条件

长方体样品($10\text{mm} \times 6\text{mm} \times 3\text{mm}$)在UMT-200型摩擦试验机上进行干态滑动摩擦试验,对偶件为半径 2mm 的GCr15钢球,滑动频率为 4Hz ,载荷为 3N ,实验时间为 1h ,样品的线性磨损率和摩擦面形貌由三维白光干涉表面形貌仪(Talysurf CCI 2000)测量。

2 实验结果与讨论

图1所示为样品 S_1 、 S_2 、 S_3 在上述实验条件下进行实验得到的摩擦系数随试验时间变化的曲线。由图1可知,炭/炭复合材料 S_1 样品的摩擦系数在初始阶段约为0.13,随着试验时间的延长, S_1 的摩擦系数呈下

降趋势,当它下降至 0.12 时,摩擦系数曲线达到稳定。炭 / 炭复合材料的摩擦系数曲线呈现这样的特征主要是因为它含有一定的孔隙,在摩擦初期,摩擦面的孔隙会阻碍对偶件的滑动,从而具有更大的摩擦系数,随着摩擦的进行,产生的磨屑填充至孔隙中,增大了接触面积,磨屑在摩擦过程中容易形成磨屑膜^[5],这可以由图 2 的 S_1 表面形貌得到进一步证实,同时它也降低了材料的摩擦系数,并且使得试样的摩擦系数随试验时间的变化降幅变小。

在摩擦起始阶段, S_2 的摩擦系数随着摩擦时间的增加而增加(由 0.2 增长到 0.65),待摩擦时间超过 1000s 时, S_2 的摩擦系数在 0.65 左右呈现湍流波动,且波动幅度明显大于 S_1 。这说明炭 / 炭复合材料的摩

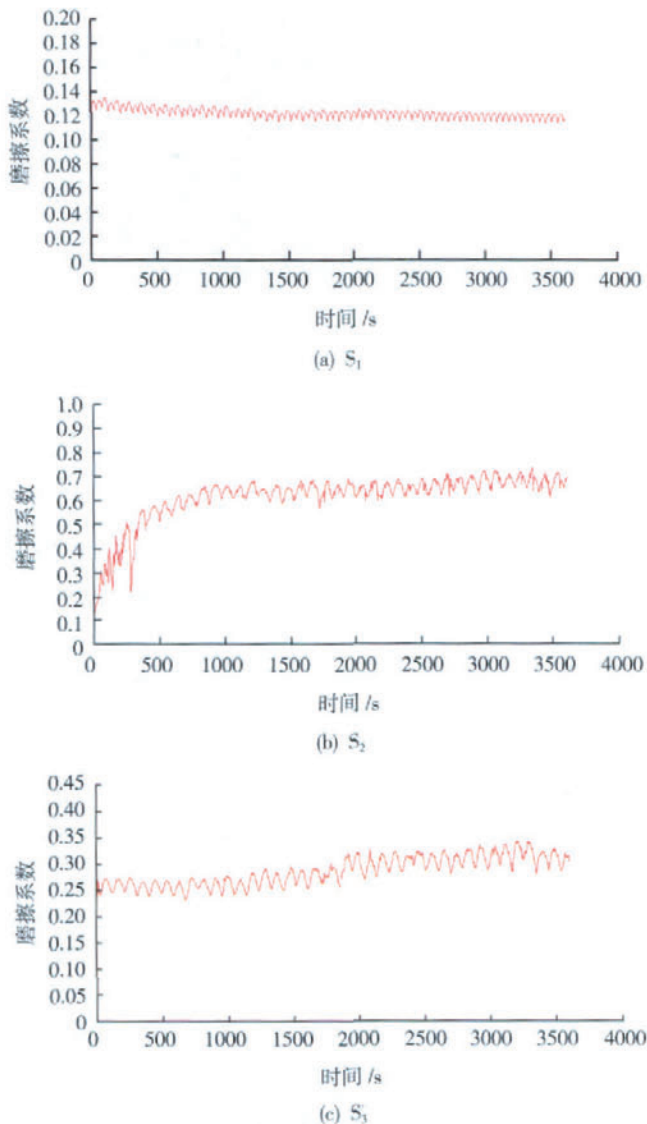


图1 试样的摩擦系数随时间变化图

Fig.1 Friction coefficient of three samples as a function of time under experimental conditions

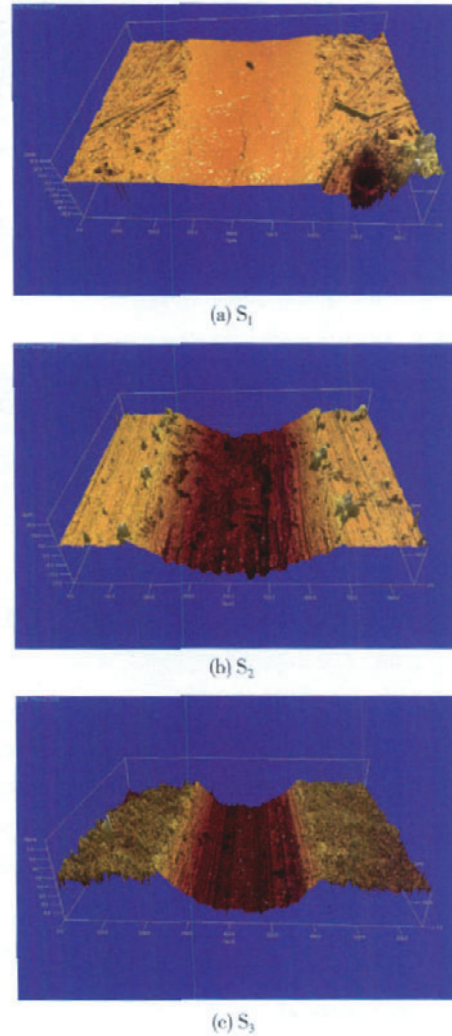


图2 1小时后试样的摩擦面表面形貌图

Fig.2 Morphology of friction surface of three samples after 1 hour friction

擦稳定性要好于现在常用的铜合金材料。

S_3 为摩擦面涂敷 MoS_2 润滑层的铜合金,与 S_2 的摩擦曲线对比,可以看出 MoS_2 润滑层具有较好的降低摩擦系数效果,可将铜合金的摩擦系数由 0.65 降至 0.25~0.3,而且摩擦曲线波动幅度小,但随着摩擦时间的延长, S_3 的摩擦系数具有上升的趋势,增至 0.3~0.35,其波动幅度也相应增大了。

图 2 所示为 3 种样品经过 1h 摩擦试验后的表面形貌图。其中, S_2 和 S_3 的摩擦面均出现了多条犁沟和一定数量的磨屑颗粒,且摩擦面的颜色与基体材料明显不同。对于 S_2 而言,随着摩擦时间的持续,接触面的温度升高,材料发生软化,塑性变形增大,抗剪强度降低,在循环应力作用下,磨损表面易产生疲劳裂纹,导致材料的剥落,脱落的磨屑颗粒可能与氧气反应生成氧化铜,它作为第三相粒子加速了磨损^[6]。

(下转第 86 页)

表1 加工所需物质消耗对比

作业消耗和副产物 / 年	化铣加工	MMS 加工
耗水 H ₂ O/m ³	225 000	0
产生二氧化碳 CO ₂ /t	6 200	0
消耗溶剂 Solvent /t	6 200	0
产生普通工业废料 /t	300	0
产生特殊工业废料 /t	9 000	0
产生挥发性有机混合物 /t	850	0
耗电 / (MW·h)	7	3
铝屑回收 /t	0	700

表2 加工时间对比

零件	化铣加工作业时间 /h	MMS 加工作业时间 /h
A320 下机壳中央蒙皮	26	10.75
A320 横向中左蒙皮	36.75	8

统采用立式铣削,蒙皮夹持和加工支撑合一,离散、间隔支承。需精心设计夹持点以避免加工干涉;加工薄蒙皮有震颤,影响加工精度和零件质量;立铣不利排屑和散热,对工件有热变形影响;其工艺只能取代蒙皮拉形后的手工修整作业,不能替代化铣。

2.3 从经济性上考虑

国内钣金生产技术正处于从第一代向第二代的转变过程中,国内各大主机厂均已建成了化铣生产线,龙门铣配柔性夹持系统也处于招标状态中。从生产线所配备的设备投资分析,以典型的化铣加修边为例,一条线投资额大约在 1000 万美元以上(龙门铣配柔性夹持系统 500 万美元,激光刻型机 500 万美元),与目前 MMS 蒙皮镜像铣切系统 1000 万美元的报价相比,在投资上相当。

3 结束语

通过上述分析可以看出,MMS 蒙皮镜像铣切系统与化铣系统相比在加工时间上可减少 50%,作业周期成本可减少 50%,总收益(以年产 7000 张蒙皮计算)节约资金 500 万欧元,而在环境保护上 MMS 蒙皮镜像铣切系统几乎没有任何污染物。因此从长远发展来看,该系统是钣金制造的一个很好的发展方向,但考虑到国内各主机厂的实际情况,在短期内引进该设备意义不是很大,所以可以作为长远发展方向,但对于大客公司来说,引进该技术可以协助大客公司在钣金制造领域上站在更高的起点,意义重大。(责编 泰山)

(上接第 83 页)

S₃ 和 S₂ 的磨损行为具有很多共同点,但 S₃ 的磨损行为相对复杂。在摩擦起始阶段,磨屑颗粒应是剥落的 MoS₂,随着试验时间的增加,MoS₂ 减磨层可能被破坏,导致对偶件与铜合金基体有直接接触,使得磨屑颗粒会包括剥落的铜合金颗粒及氧化铜颗粒,这个过程在 S₃ 的摩擦系数曲线中得到了反映。

比较 S₂ 和 S₃ 的摩擦系数曲线和线性磨损率(图 1,表 1),可以看出 MoS₂ 涂层能有效降低铜合金的摩擦系数和磨损率,并提高铜合金摩擦的稳定性。但采用涂刷法涂敷的 MoS₂ 涂层在加载的条件下容易被破坏,又限制了 MoS₂ 涂层的降摩减磨作用。S₁ 的磨损表面形貌与 S₂、S₃ 完全不同,在摩擦面没有发现犁沟和磨屑颗粒,反映了炭/炭复合材料具有自润滑特性。由测得的线性磨损率(表 1)可知,S₁ 比 S₂、S₃ 的耐磨性好得多。

表1 三种样品的线性磨损率

试样编号	载荷 /N	滑动频率 /Hz	试验时间 /h	平均磨损深度 /μm	线性磨损率 / (μm·次 ⁻¹)
S ₁	3	4	1	7.2	0.0005
S ₂	3	4	1	43.2	0.003
S ₃	3	4	1	14.4	0.001

3 结论

(1) 该轴承用铜合金的摩擦系数达到 0.65 左右,线性磨损率约为 0.003μm/次,存在加速磨损现象。在其表面涂敷 MoS₂ 涂层,可以将其摩擦系数降低至 0.25~0.3,线性磨损率减少 2/3,但该涂层容易被破坏,不能满足铜合金轴承长期使用的工况要求。

(2) 炭/炭复合材料的摩擦系数在 0.11~0.13 之间,且摩擦稳定性好,线性磨损率为 0.0005μm/次,仅为铜合金线性磨损率的 1/6,并表现了良好的自润滑耐磨特性。

参考文献

[1] 吴良奎,焦明华,俞建卫,等. 基体材料对铜合金镶嵌轴承摩擦磨损性能的影响. 润滑与密封,2005,(3):92-94.
 [2] 陈青华,邓红兵,肖志超,等. 影响炭/炭复合材料摩擦性能的因素分析:材料的性质. 材料导报,2007,21(专辑):413-416.
 [3] 葛毅成,易茂中. 基体碳结构对轴间密封环用 C/C 复合材料摩擦磨损特性的影响. 航空学报,2004,25(6):619-624.
 [4] 于澍,黄伯云,熊翔,等. 不同刹车压力下炭/炭复合材料的摩擦磨损性能. 新型炭材料,2008,23(2):127-132.
 [5] 徐慧娟,熊翔,黄伯云,等. 不同热解炭结构的炭/炭复合材料的摩擦特性. 摩擦学学报,2003,23(4):344-349.
 [6] 刘玉文,刘建华. 载荷和摩擦速度对多元铜合金摩擦磨损性能的影响. 材料热处理技术,2008,37(16):41-43.

(责编 泰山)