

研究论文 (45~51)

铸造铝硅合金及其含石墨的 复合材料与GCr15钢干滑动摩擦时 金属转移特性之研究

佟 金 陈永潭 陆 有 张明喆

(吉林工业大学, 长春)

摘 要: 作者研究了铸造铝硅合金及其含石墨颗粒的复合材料与GCr15钢干滑动摩擦时的金属转移特性。结果表明,在给定的相同条件下,复合材料对钢摩擦副的金属相互转移量比基体合金对钢摩擦副的少;两种摩擦副的金属相互转移量均随法向载荷的增加而增大。此外,作者还就金属转移对配副双方摩擦磨损的影响进行了初步的分析和讨论。

关键词: 铸造铝硅合金, 石墨复合材料, GCr15钢, 干滑动摩擦, 金属转移, 转移机理

Metallic Transfer Behaviour of Cast Al-Si Alloy and its Composite Containing Graphite Particles in Dry Sliding against Hardened Steel

Tong Jin Chen Yongtan Lu You Zhang Mingzhe

(Jilin University of Technology, Changchun)

Abstract: The investigation on the characteristics of mutually metallic transfers between cast Al-11Si-2.4Cu-1.5Mg alloy and its composite containing 4%(wt) graphite particles(100—200mesh) and hardened GCr15 steel in sliding friction was carried out using a block-on-ring configuration. The GCr15 steel ring slid against the Al-Si alloy or its graphi-

1988-11-28收到初稿, 1990-03-24收到修改稿。

tic composite block at a rubbing velocity of 0.83m/s and normal loads from 40N to 120N. Morphology and constitution of worn surfaces of Al-Si alloy block and GCr15 steel ring and of the upsides and undersides of debris produced in the wear process were examined with a scanning electron microanalyzer.

Silicon needles of the Al-Si alloy scrape the surface of the GCr15 steel ring during rubbing process. Some of the wear particles produced from the ring are stuck on the worn surface of the Al-Si alloy or its graphitic composite under the normal stress, and then they are embedded in the surface layer to form a transferred layer containing steel material. Analyses of the debris undersides of the Al-Si alloy showed that, because wear cracks are initiated between the transferred layer and the parent material in the subsurface and then delamination wear easily happens, the transfer of steel material to the wear surface layer of the Al-Si alloy will increase its wear rate. But effect of the transfer has a little effect upon its friction coefficient. The amount of the transferred steel ring material increases as the normal load is applied and, under identical conditions, the amount of the steel in the wear surface layer of graphitic composite is less than that of the layer of the base Al-Si alloy.

The transfer of the Al-Si alloy material to the steel ring countersurface results from the material adhesion. The amount of the transferred Al-Si alloy material increases and its distribution uniformity goes from bad to worse with the normal load. Because graphite film on the composite can decrease the transfer of the Al-Si alloy, friction coefficient of the composite is lower than that of basic Al-Si alloy under the same conditions.

Key words: cast aluminium-silicon alloy, graphitic composite, GCr15 steel, dry sliding friction, metallic transfer, mechanism of transfer

1. 前言

铝合金、铜合金及半金属摩擦材料等与钢或灰铸铁滑动摩擦过程中的金属转移对材料的摩擦学特性有较大的影响。含铜粉的半金属摩擦材料与灰铸铁摩擦时将在铸铁面上形成光滑连续的铜转移膜,提高滑动摩擦系数、降低磨损^[1,2],铜镍合金与钢干滑动形成的磨屑和铜镍合金磨损表面层都有分层

结构和胞状结构,这与钢材料向铜镍合金磨损表面的转移有关^[8]。铝合金在钢上滑动时主要是铝向钢的磨损表面转移^[4,5],钢在铝上滑动时发生了明显的相互转移;铝硅合金的转移机制主要取决于粘着磨损^[6],铝和钢的相互转移是其各自微小的磨损粒子被混压成较大薄片并在某一磨损表面上粘附的结果^[7],转移到钢磨损表面的铝合金材料发生返回转移,由此可以解释铝合金磨损表面形貌发生一系列变化的原因^[6,8]。

关于铸造铝硅合金及其含石墨颗粒的复合材料的摩擦磨损特性已有较多研究^[9,10],而铝硅合金所含石墨颗粒对其干滑动摩擦时金属转移特性的影响,以及载荷对铝硅合金摩擦转移特性的影响均未见报道。本文通过环-块磨损试验,研究了铸造铝硅合金及其含石墨颗粒之复合材料与GCr15钢干滑动摩擦时金属材料的转移特性,以及法向载荷对材料转移的影响。

2. 试验材料与方法

试验材料为Al-11Si-2.4Cu-1.5Mg及其含4%(wt)石墨颗粒(100~200目)的复合材料(液体旋涡法制备),对磨材料为GCr15钢,热处理后的硬度为HRC62。干滑动摩擦试验在MM-200型磨损试验机上进行,环-块为滑动接触,固定不动的长方体试块(14mm×10mm×10mm)为基体合金或其复合材料,对磨钢环(φ40mm)的转速为400r/min。

3. 试验结果与分析

铸造铝硅合金及其含石墨颗粒的复合材料的减摩性能已有报道^[10],图1是本试验的研究结果,可见复合材料的减摩作用良

好,而其摩擦系数与基体铝硅合金的一样是随法向载荷的增加而增大。

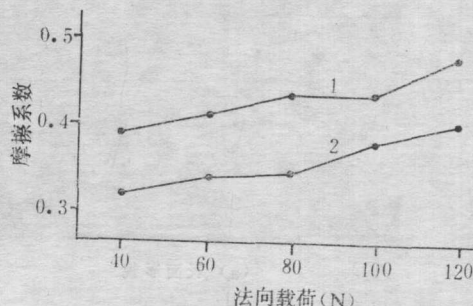


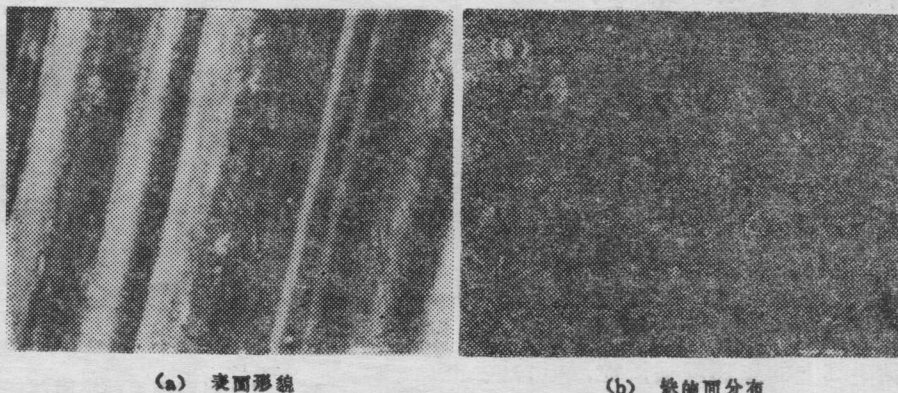
图1 摩擦系数与法向载荷的关系曲线

滑动速度: 0.84m/s

1—基体合金; 2—复合材料

3.1 钢环材料的转移

能谱分析发现,铝硅合金和复合材料磨损表面都有GCr15钢环的转移材料,而且主要是铁,铬的转移量极少。多部位的分析证明,虽然复合材料表面的石墨润滑膜不能完全阻止钢环材料的转移,但在相同的摩擦试验条件下,复合材料磨损表面非剥落区域的铁含量却比基体合金的少。复合材料磨损表面转移材料的分布状态与载荷大小有关,法向载荷为39.2N时,铁分布基本均匀,其密集映像区很少(图2);当载荷增加到117.6N时,铁分布均匀性明显变差,其密集映像区增多,转移量增大(图3)。



(a) 表面形貌

(b) 铁分布面分布

图2 复合材料的磨损表面像(×600)

法向载荷: 39.2N; 滑动速度: 0.84m/s



(a) 表面形貌

(b) 铁的面分布

图3 复合材料的磨损表面像 (×600)

法向载荷: 117.6N; 滑动速度: 0.84m/s

在本试验条件下, 钢环表面受交变载荷的作用及铝硅合金基体中硬质硅相的擦伤, 因而形成了两种形态的磨屑。第一种为片状粒子, 图4是其背面形貌像, 能谱分析证明它的成分与GCr15钢的完全相同。由图4可

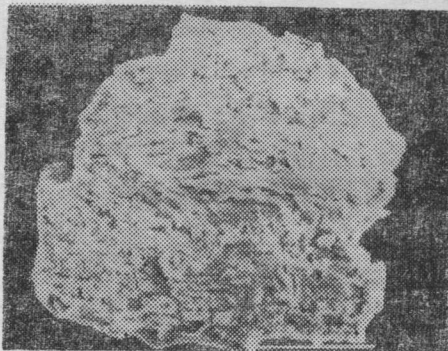


图4 GCr15钢环磨屑的背面形貌 (×200)

配副材料: Al-11Si-2.4Cu-1.5Mg-4石墨
法向载荷: 117.6N; 滑动速度: 0.84m/s

见, 这种磨屑的形态呈现出裂纹萌生与扩大的疲劳磨损特征, 但其数目很少。第二种是为数较多的微小磨损粒子, 其中一部分被排除于摩擦界面之外, 另一部分则粘附在对磨面上并受载荷作用而嵌入表面层。由图2和图3均可明显见到粘附在磨损表面的钢环磨损微粒。图5所示为复合材料磨屑的正面形貌像, 虽然未见粘附其上的钢环磨损微粒, 但含铁量较高 (图6)。在复合材料磨屑的背面形貌像 (图7) 上同样可见其含有较多的铁。

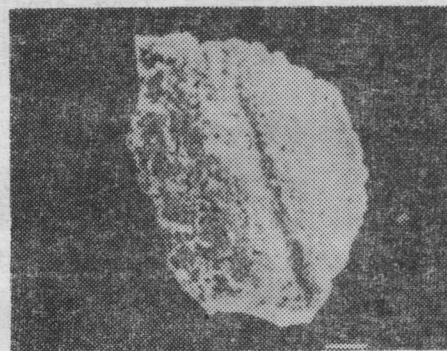


图5 复合材料磨屑的正面形貌 (×600)

法向载荷: 117.6N; 滑动速度: 0.84m/s

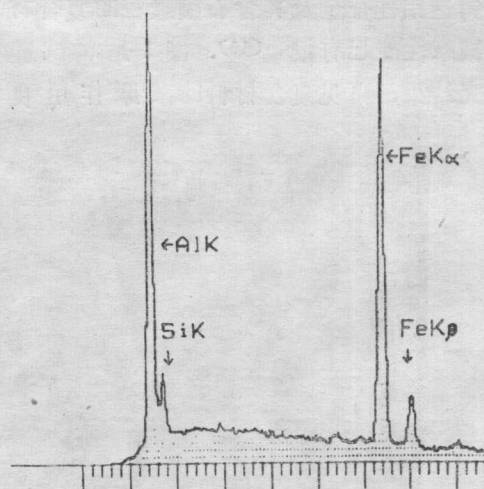
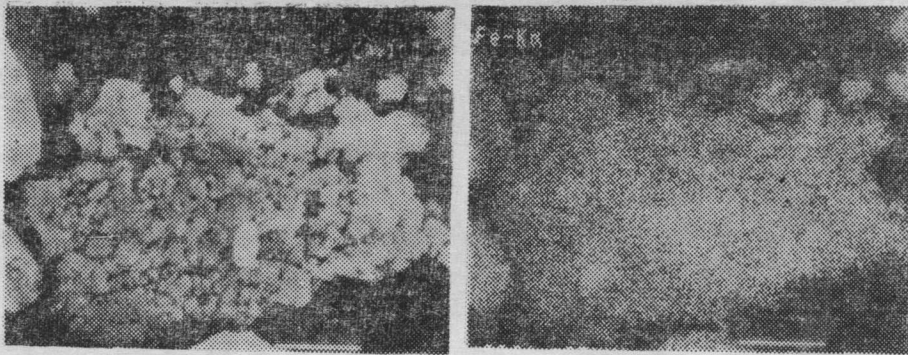


图6 复合材料磨屑的正面能谱图

法向载荷: 117.6N; 滑动速度: 0.84m/s



(a) 背面形貌

(b) 铁的面分布

图7 复合材料的磨屑背面像 (×1200)

法向载荷: 117.6N; 滑动速度: 0.84m/s

根据作者对铝硅合金所作的类似研究^[11]和上述试验结果,可以确认钢环磨损微粒的“粘附-镶嵌”式转移机理。复合材料所含石墨固然不能改变这种转移机理,但其润滑作用却可使这种转移量减小。钢环材料的磨损随法向载荷的增加而加剧,磨损微粒的尺寸亦随之增大,并且形成了更多的转移粒子,同时法向载荷的增加也使更多的粒子可被嵌入铝硅合金的磨损表面层。

剥层磨损是铸造铝硅合金及其石墨复合材料于滑动磨损的主要机制之一^[9,11,12]。根据图7可知,在磨损表面发生塑性变形和金属转移的过程中,存在着与磨损表面平行和近似垂直的微裂纹扩展面,磨屑的剥离面(即平行于磨损表面的次表层裂纹扩展连接面)处于转移层之间或转移层与非转移层之间,表明镶嵌粒子可以加速裂纹的萌生与扩展,因而对材料的耐磨性有害。由于铝硅合金向钢环磨损表面的转移及在自身磨损表面的涂抹等对摩擦系数的影响较大,摩擦系数受钢环材料转移的影响较弱。

3.2 铝硅合金向钢环磨损表面的转移

在钢环与铝硅合金-石墨复合材料滑动摩擦过程中,发生了铝、硅向钢环磨损表面的转移。对比分析表明,其在与复合材料对磨时的铝、硅转移量比在与基体合金对磨时的少,而且集中分布的区域也少。根据已有的研

究^[6,11,13]及本试验的观察与分析,铝、硅向钢环磨损表面的转移过程是以粘着作用为主,由于复合材料所含石墨经滑动形成了界面润滑膜,使界面粘着作用减少,铝、硅转移量亦相应减小。铝、硅的转移特性随其在合金中的含量不同而略有差异。铝、硅在对磨钢环磨损表面的转移量及其分布特性均与法向载荷有关。载荷为39.2N时,发生很少量的铝硅合金材料向钢环磨损表面的转移,亦无明显的粘着现象,而且铝和硅的分布都比较均匀(图8是其二次电子像,但因铝和硅的转移都少而未拍摄它们的面分布图像);当载

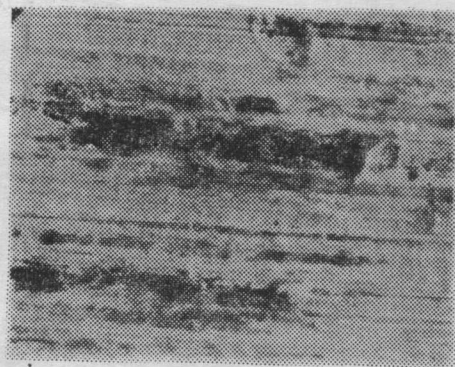


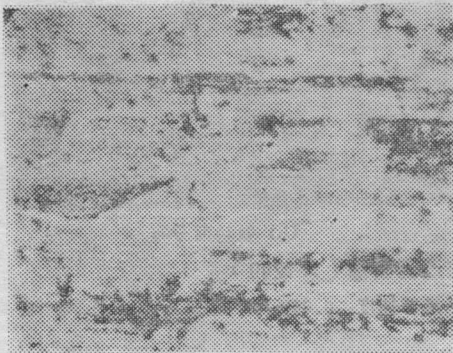
图8 GCr15钢环的磨损表面形貌 (×300)

配副材料: Al-11Si-2.4Cu-1.5Mg-4石墨
法向载荷: 39.2N; 滑动速度: 0.84m/s

荷增加到78.4N时,既发生了铝、硅的明显转移,又出现了一定程度的粘着现象,因而铝的分布很不均匀,但由于合金中硅的含量远

比铝的低且其屈服强度又比铝的高,所以硅的转移量较少,而且它的分布也较均匀(图9);在载荷高达117.6N的情况下,铝和

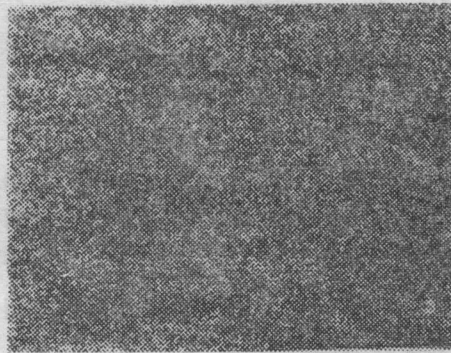
硅的转移量都很大,而且分布密集区相互重合,表明发生了严重的粘着现象,转移材料甚至已被焊合在钢环的磨损表面上(图10)。



(a) 表面形貌



(b) 铝的面分布



(c) 硅的面分布

图9 GCr15钢环的磨损表面像($\times 300$)

配副材料: Al-11Si-2.4Cu-1.5Mg-4石墨
法向载荷: 78.4N; 滑动速度: 0.84m/s

总之,载荷越高,铝硅合金的转移量越大,粘着作用越强,钢环磨损表面上焊合的铝硅材料也逐渐增多,致使摩擦较多地发生在铝硅材料与其转移材料之间,因而摩擦系数随载荷的增加而增大(如图1所示)。虽然117.6N载荷下发生了比较严重的粘着转移,但由于石墨的润滑作用使复合材料仍具有比基体合金小的摩擦系数。此时复合材料的磨损速率已比基体合金的高,这主要是由于高载荷下复合材料发生了更加严重的剥层磨损^[12]。目前,人们就铝、硅向钢环磨损表面转移对复合材料和基体合金磨损的影响之研究还很不够,Clarke等^[6,8]曾提出铝硅

材料的返回转移,认为这将发生剥层磨损。根据本文研究,摩擦过程中发生着两种不同机制的材料相互转移,返回转移应当结合复杂的相互转移及摩擦磨损全过程进行系统的分析,考察它的存在与作用,这有待于进一步的研究。

4. 结论

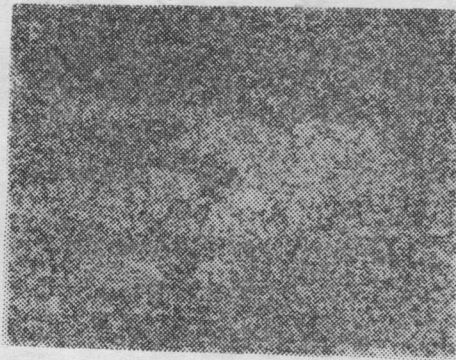
a. 铸造铝硅合金及其含石墨的复合材料与GCr15钢干滑动摩擦时都发生了材料的相互转移,而且转移量均随载荷的增加而增大。在相同条件下,复合材料与钢的相互转



(a) 表面形貌



(b) 铝的面分布



(c) 硅的面分布

图10 GCr15钢环的磨损表面像 ($\times 300$)

配副材料: Al-11Si-2.4Cu-1.5Mg-4石墨
法向载荷: 117.6N; 滑动速度: 0.84m/s

移量比基体铝硅合金与钢的相互转移量小。

b. 钢材料的转移是其磨损粒子在对磨面上“粘附-镶嵌”的结果,这种转移对复合材料磨损的影响较大,而对摩擦系数的影响较小。

c. 铝硅材料向钢磨损表面的粘着转移对摩擦系数有一定的影响。当法向载荷提高时,其粘着转移量增加,摩擦系数也相应增大。石墨润滑膜能使粘着转移量减小,这是复合材料具有减摩作用的原因。

参考文献

- [1] Liu, T. et al, *Wear*, 60 (1980) 1.
[2] 周顺隆等, 摩擦磨损, 1983, 1:17.

- [3] Heilmann, P. et al, *Wear of Materials* (1983), p.414.
[4] Mahdavian, S.M. et al, *Wear*, 82 (1982) 221.
[5] Mahdavian, S.M. et al, *Wear*, 95 (1984) 35.
[6] Clarke, J. et al, *Wear*, 82 (1982) 179.
[7] Mishina, H. et al, *J. Tribology*, 108 (1986) 128.
[8] Clarke, J. et al, *Wear*, 69 (1981) 1.
[9] 佟金等, 润滑与密封, 1989, 3:45.
[10] 佟金等, 固体润滑, 9 (1989) 144.
[11] 佟金等, 机械工程材料, 1990, 4:6.
[12] 佟金等, 摩擦磨损, 1988, 4:46.
[13] Lahdheer, D. et al, *Wear*, 27 (1974) 129.