

Tribological Properties of Magnetorheological Fluid under Different Magnetic Field

Zhi-de Hu, Hua Yan

Dept. of Chemistry and Material Engineering, Logistical engineering University, Chongqing, China, 401311

Email: huzd6503@163.com

Abstract: Magnetorheological fluid (MRF) will be widely used in many application fields as a new kind smart material. It is very important to know the tribological properties of MRF in order to design a better composition and evaluate the combination properties of MRF. The friction and wear behaviors of Carbonyl Iron-based MRF were investigated on a four-ball machine under three different magnetic fields. The results showed that the friction coefficient of MRF under magnetic field was much higher than that without magnetic field. The friction coefficient of MRF changed along with different strength of magnetic field. The morphology of worn surface was changed from circle or ellipse to irregular rectangle. Worn trace became flat under magnetic field.

Keywords: carbonyl iron, magnetorheological fluid(MRF), magnetic field, friction and wear

不同外场条件下羰基铁磁流变液摩擦磨损性能研究

胡志德, 晏华

后勤工程学院化学与材料工程系, 重庆, 中国, 401311

Email: huzd6503@163.com

摘要: 磁流变液作为一种智能材料, 在众多领域有着广阔的应用前景, 了解其摩擦磨损性能, 对磁流变液的配方设计及其综合性能评价有着重要的意义。本文采用改进后的四球摩擦磨损试验机, 考察了羰基铁磁流变液在三种实验条件下的摩擦磨损性能。结果表明: 施加磁场下, 磁流变液的摩擦系数显著增加; 在外加磁场强度发生改变时, 磁流变液的摩擦系数也随之发生改变; 钢球的磨斑在施加磁场后呈现近似矩形, 犁沟变浅。

关键词: 羰基铁, 磁流变液, 磁场, 摩擦磨损

1 引言

磁流变液是一种新型智能材料, 它是由非胶体的易磁化细小颗粒分散溶于绝缘载液中形成的稳定悬浮相, 其流变性可以随外加磁场的改变而发生连续、可逆、迅速的变化。由于磁流变液的力学性能达到了工程应用的要求, 磁流变技术正成为高技术领域新的增长点进入工程应用, 但在实际应用中磁流变液主要有易团聚、易沉降、零场黏度高以及摩擦磨损严重等几大问题, 而国内外学者对磁流变液的摩擦学问题的研究相对其它问题较少。在 1989 年第二届国际电流变会议上, Bullough 首次报道了电流变液的摩擦学研究,

基金项目: 国家 863 计划项目 (2006AA03Z104); 重庆市自然科学基金 (2006BB4129)

告诫人们在设计磁流变液和电流变液时, 不要忽略它们的润滑性能^[1]。P.L. Wong 等在对磁流变液的研究中, 考察了粒子浓度对其摩擦学性能的影响^[2]。张平等用四球机法测量了羰基铁/矿物油体系磁流变液的润滑性能^[3,4]。邱海喆等利用四球摩擦磨损试验机考察了磁场强度对多种配方羰基铁磁流变液的摩擦系数和磨斑直径的影响^[5-6]。从上述磁流变液的摩擦学研究来看, 目前有关磁流变液的摩擦学研究大多是在同一外场条件下进行的, 对磁流变液在不同外场条件下的摩擦磨损性能缺乏系统性的认识。

本文利用四球摩擦磨损试验机对磁流变液的摩擦磨损性能进行了研究, 考察了不同磁场条件下磁流变液摩擦系数随时间的变化曲线, 用扫描电子显微镜

观察了钢球磨斑形貌，对磁流变液在不同磁场强度条件下的摩擦磨损性能进行了比较。

2 实验部分

2.1 实验材料的制备^[4]

本文试验用磁流变液均由重庆仪表材料研究所提供。其制备方法简述如下：以经过表面处理的羰基铁颗粒为悬浮相，绝缘油为基础油，硅类或硅铝类为触变剂、钼类或石墨润滑剂等为添加剂，通过超声分散、高速乳化分散和机械球磨分散等手段制备磁流变液，其中羰基铁粉的体积分数为 15.0%~35.0%，基础油为 60.0%~80.0%，添加剂为 1.0%~6.0%。文中选择了一种磁流变液，其组成详见表 1。

Table 1 Samples' constitutions of MRF

表 1 磁流变液试样的组成

Suspension	Base oil	Thixotropy	Lubricant
CI-1 [#]	mineral oil 1 [#]	Clay/ SiO ₂	—

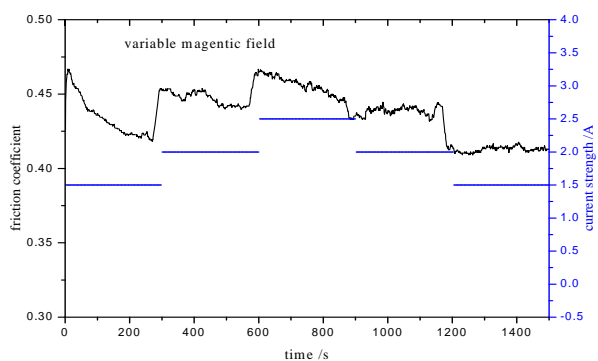
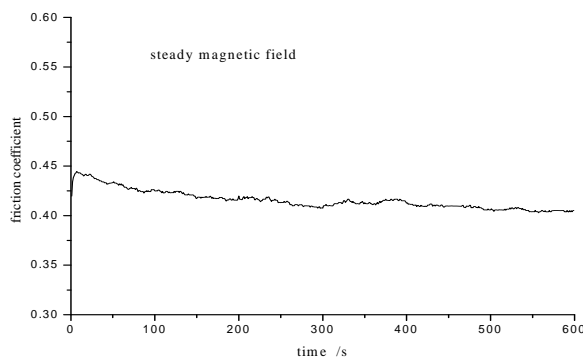
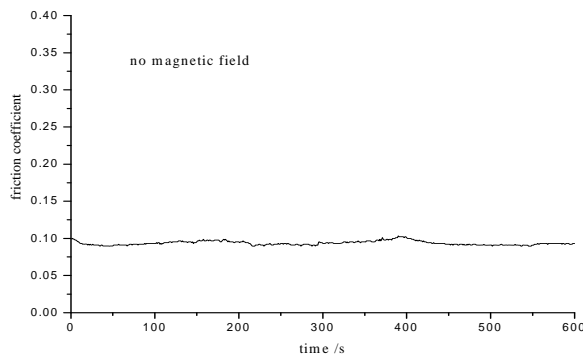
2.2 试验方法

实验中采用济南宏试金试验仪器有限公司生产的 MMW-1P 型多功能摩擦磨损试验机，并对其进行了改进^[7]。在三种实验条件下对磁流变液的摩擦磨损性能进行了研究。第一种实验条件：不加磁场，试验时间为 10 min；第二种实验条件：施加固定磁场，电流为 1.5A，磁场强度为 0.12T，试验时间为 10 min；第三种实验条件：施加变化磁场，当电流强度为 1.5A, 2.0A 和 2.5A 时，对应的磁场强度分别为 0.12 T, 0.14T 和 0.17 T，每个磁场强度下测试 5 min，三种磁场强度的调节依次从小到大再到小连续进行。各种实验条件下均依据 SH/T 0189-92 标准，使用φ12.7 mm，GCr15 标准钢球，硬度 HRC 58~62，固定载荷 196 N，转速为 1500 r/min。记录不同实验条件下磁流变液的摩擦系数随时间的变化曲线，最后将试验用钢球经石油醚清洗，利用 JEOL JSM-6460LV 型电子扫描显微镜观察磨痕表面形貌。

3 结果与讨论

图 1 给出了不同磁场条件下，羰基铁磁流变液的摩擦系数随时间的变化曲线。从图中可以看出，固定

磁场条件下磁流变液的摩擦系数随时间的变化趋势是相同的。只是在固定磁场下时，磁流变液的摩擦系数或波动区间相对于不加磁场时发生了成倍的变化。在变化磁场强度下，磁流变液的摩擦系数随磁场强度的增大而升高，随磁场强度的减小而降低。



(The current strength, corresponding different magnetic field strength respectively, was showed by dashed line, the friction coefficient was indicated by a continuous curve.)

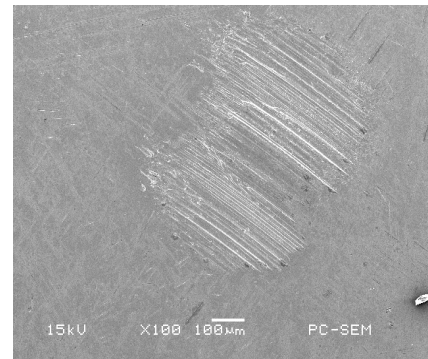
Figure1 Change in friction coefficient of MR fluids during test period under different magnetic field strength

图 1 不同外场下磁流变液的摩擦系数随时间变化曲线

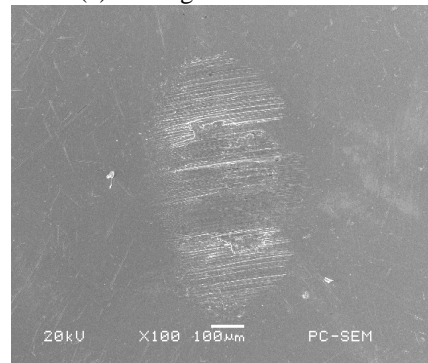
分析认为，摩擦主要来源于三部分：磁流变液的内摩擦、钢球与钢球之间的摩擦以及磁流变液与钢球之间的摩擦。在不加磁场时，羰基铁颗粒在磁流变液中处于无序状态，可以自由移动，磁流变液的粘度较小，内摩擦力较小。因此，不加磁场时的摩擦主要来自于羰基铁颗粒与钢球、钢球与钢球之间的摩擦，此时羰基铁颗粒无规则分布于磁流变液中，与钢球之间产生摩擦力的正压力主要来自于外界所施加的力，因此，摩擦系数相对较低。在固定磁场下，羰基铁颗粒极化，成纤排列，磁流变液的粘度变大，内摩擦力增大。羰基铁颗粒定向排列在钢球接触区域附近，与钢球之间产生摩擦力的正压力不仅有外界施加的力，还有磁场作用下的吸引力，摩擦力增大，因此固定磁场下的摩擦系数也显著增大。在变化磁场下，磁流变液的粘度随磁场强度的增大而变大，内摩擦力也增大，同时，磁场强度的改变，还导致了吸引力的改变，因此，变化磁场下，磁流变液的摩擦系数随着磁场强度的变化而发生变化。

图2是在不同外场下钢球磨痕的SEM照片。从图中可以看出，在不加磁场时[图2(a)]，钢球的磨斑呈椭圆形，犁沟较深，几乎整个磨斑区域内均被犁沟覆盖。在固定磁场下[图2(b)]的磨斑近似呈矩形，犁沟较浅。在变化磁场下[图2(c)、(d)]，钢球的磨斑形貌与固定磁场下大致相同，从放大500倍的图2(d)中可以看出，磨痕局部出现粘着区，并且粘着区内有羰基铁颗粒存在。

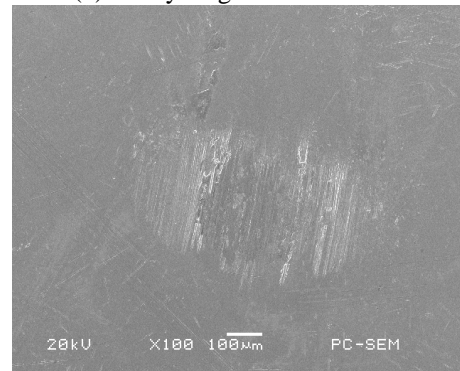
结合图1中的摩擦系数曲线，可知在无场条件下，羰基铁颗粒的自由度较大，颗粒参与了摩擦过程，产生了三体磨粒磨损^[8]。在固定磁场下，羰基铁颗粒定向排列在钢球接触区域附近，形成磁性链，有序度增加，进入钢球摩擦副之间的几率降低，钢球的磨痕的犁沟变浅，同时增大了摩擦接触面积，使得磨痕近似呈矩形^[7]。在变化磁场下，可能是由于摩擦时间较长，摩擦热积聚较高，从而使处于塑性变形的摩擦表面局部接触峰点产生粘着，在滑动中粘着结点被剪切破坏，这种粘着、破坏、再粘着的交替过程就构成了摩擦表面的粘着磨损。



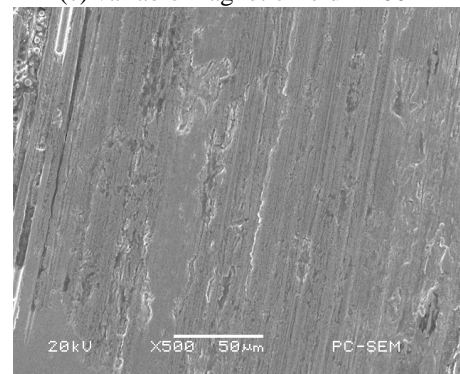
(a) no magnetic field × 100



(b) steady magnetic field × 100



(c) variable magnetic field × 100



(d) variable magnetic field × 500

Figure2 SEM morphologies of worn surface of samples

图2 摩擦副表面形貌 SEM 照片

(2) 在变化磁场强度下,磁流变液的摩擦系数随磁场强度的增大而升高,随磁场强度的减小而降低。

(3) 在实验条件下,施加磁场后,钢球磨痕面积增大,犁沟变浅。

References (参考文献)

- [1] S. Lingard, W.A. Bullough,. Tribological aspects of ERF behavior with respect of polar base liquid[C], Proc. of 2nd Int. Conf. On ERF, Raleigh, NC, USA, August, pp.158-175.
- [2] P.L. Wong, W.A. Bullough, C. Feng, et al , Tribological performance of a magnetorheological suspension[J], Wear, 2001, 247:33-40.
- [3] Qi Liu , Long Tang, Ping Zhang. Study on stability and lubricating property of magnetorheological fluid[J]. **Functional materials**, 2005, 36(8): 1192-1195(Ch)
刘奇, 唐龙, 张平,等.磁流变液体材料稳定性和润滑性能研究[J]. 功能材料, 2005, 36(8): 1192-1195
- [4] Qi Liu , Long Tang, Ping Zhang. Study on practical magnetorheological fluid[J]. **Functional materials**, 2004, 35(3): 291-293(Ch)
刘奇, 唐龙, 张平,等.实用型磁流变体材料研究[J]. 功能材料, 2004, 35(3): 291-293.
- [5] Xuemei Wang, Hua Yan, et al. Tribological properties of carbonyl iron-based magnetorheological fluid[J]. **Functional materials**, 2007, 38(3): 1 211-1 213(Ch)
王雪梅, 晏华, 等.基于羰基铁磁流变液的摩擦磨损性能研究[J]. 功能材料, 2007, 38(3): 1 211-1 213.
- [6] Haizhe Qiu, Hua Yan, et al. The influence of different additives on tribological properties of carbonyl iron-based magnetorheological fluid[J]. **Functional materials**, 2007, 38(3): 1 183-1 185(Ch)
邱海喆, 晏华, 等. 添加剂对羰基铁磁流变液摩擦磨损特性的影响[J]. 功能材料, 2007, 38(3): 1 183-1 185.
- [7] Haizhe Qiu. Study on friction and wear properties of carbonyl iron-based magnetorheological fluid[D].Chongqing of China: Logistics engineering college,2009:32-48(Ch)
邱海喆.羰基铁磁流变液的摩擦磨损特性研究[D].重庆: 后勤工程学院, 2009: 32-48.
- [8] Shizhu Wen, Ping Huang. Principles of Tribology[M].Beijing: Tsinghua University Press,2002(Ch)
温诗铸, 黄平.摩擦学原理[M].北京:清华大学出版社, 2002.