

浸金属碳材料的载流摩擦磨损性能研究

Research on Tribology Property of Carbon Soaked
by Metal with Current

贾利晓^{1,2}, 张永振², 李 健¹, 孙乐民²

(1 武汉材料保护研究所, 武汉 430030;

2 河南科技大学 材料摩擦学重点实验室, 河南 洛阳 471003)

JIA Li-xiao^{1,2}, ZHANG Yong-zhen², LI Jian¹, SUN Le-min²

(1 Wuhan Research Institute of Materials Protection,

Wuhan 430030, China; 2 The Emphasis Laboratory of Material

Tribology, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, Henan, China)

摘要: 以浸金属碳材料和铬青铜为配副, 研究浸金属碳材料在载流条件下的摩擦磨损性能。结果表明: 电流、速度、载荷是影响浸金属碳材料载流摩擦磨损性能的重要因素。在电流一定的条件下, 浸金属碳材料的摩擦系数和磨损率都随速度的增大而增大; 随着载荷的增大而减小。在载荷一定条件下, 浸金属碳材料的摩擦系数和磨损率都随电流的增大而增大。与无电流条件下相比较, 浸金属碳材料在载流条件下的摩擦系数明显减小, 而磨损率却显著提高。

关键词: 浸金属碳材料; 载流摩擦磨损; 摩擦系数; 磨损率

中图分类号: TH117.1 文献标识码: A 文章编号: 1001-4381(2008)12-0011-04

Abstract: With the couple of carbon soaked by metal and chrome bronze, the tribology property of carbon soaked by metal with current was studied. The results showed that current, velocity and load were important factors for tribology property of carbon soaked by metal with current. Under the condition of stated current, the coefficient and wear rate increased with the increased of velocity but decreased with the increased of load. Under the condition of stated load, the friction coefficient and the wear rate increased with the increased of current. Contrast with no current, the friction coefficient of carbon soaked by metal decreased and the wear rate increased obviously.

Key words: carbon soaked by metal; friction wear with current; friction coefficient; wear rate

载流摩擦磨损是指处于电场中的摩擦副在电流通过条件下的摩擦磨损行为。其主要研究背景之一就是电力机车, 包括高速铁路系统和城市公共交通中电车的电力传输系统^[1-4]。因此, 本课题以浸金属碳材料和铬青铜为配副, 模拟电力机车接触网中受电弓滑板和导线的服役条件, 使用 HST-100 摩擦磨损试验机, 研究了 C/C 复合材料在载流条件下的摩擦磨损性能。

1 试验方法及内容

1.1 载流摩擦磨损试验

试验设备采用“HST-100 高速载流摩擦磨损试验机”, 该试验机是一种高速销盘式摩擦磨损试验机, 销试样尺寸为 9mm × 14mm × 20mm, 材料为浸金属碳材料(从北京华夏友联电气化新技术发展有限公司生产的滑板上取样); 盘试样尺寸为 φ300mm × 10mm, 材料

为铬青铜(QCr0.5)。为了保证销试样与盘试样接触良好, 每次磨损试验之前都要进行预磨。每次磨损后先用酒精将试样清洗干净, 然后再用精度为万分之一的 BS210 型电子天平分别称量试样质量, 再计算出磨损率(滑动距离为 10000m 时的磨损质量损失)。

1.2 磨损表面微观分析

采用 JSM-5610LV 型扫描电子显微镜观察 C/C 复合材料的磨损形貌, 以便分析电流、速度和载荷对摩擦磨损规律的影响。

2 结果及分析

2.1 速度对摩擦磨损性能的影响

图 1 为浸金属碳材料在电流一定(100A)条件下, 摩擦系数和磨损率随速度的变化曲线。由图 1 可知, 在载流摩擦磨损条件下, 浸金属碳材料的摩擦系数和

磨损率随着速度的增大都呈现出增加的趋势,且当速度较低时,摩擦系数和磨损率的增加幅度较小,而在较高速度下,摩擦系数和磨损率随着速度的增加都显著升高。这是因为在载流摩擦磨损条件下,摩擦速度对起弧程度的大小的影响很大。速度较大时,销盘之间的接触状况变差,甚至脱离接触,从而在接触表面形成电弧,速度越高,电弧的强度和发生频率也越大。在强烈的电弧作用下,浸金属碳材料表面的浸渗金属被大量蒸发气化,留下许多空洞,致使大量碳颗粒外露,在

热应力的作用下形成裂纹,裂纹的扩展、连接造成材料的剥落,使浸金属碳材料的磨损率升高。磨损后表面粗糙不平,也会使摩擦系数增大。图 2 为不同速度条件下,浸金属碳材料的磨损形貌。由图 2 可知,当速度为 30m/s 时,磨损表面主要由浸渗金属膜和碳膜构成,同时分布着少量的电弧烧蚀坑和裂纹。而当速度为 50m/s 时,磨损表面主要是碳膜,且有较多、较大的烧蚀坑和裂纹,表面的平整度也较差。因此,当摩擦速度较高时,摩擦副的摩擦系数和磨损率都较高。

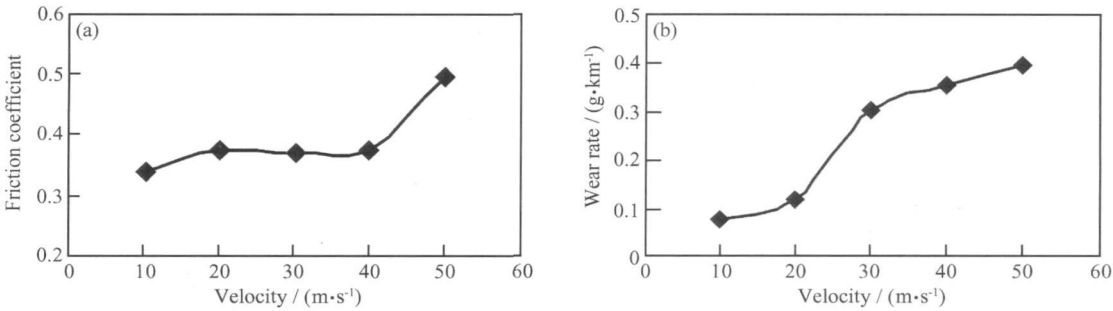


图 1 摩擦系数和磨损率与速度之间的关系 (a)摩擦系数;(b)磨损率
Fig. 1 The relation of friction coefficient and wear rate to velocity (a)friction coefficient;(b) wear rate

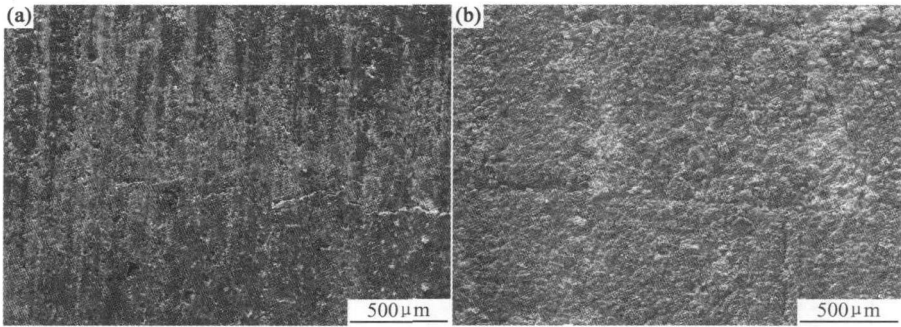


图 2 不同速度条件下磨损表面的 SEM 照片 (a) 100A-80N-30m/s;(b) 100A-80N-50m/s
Fig. 2 SEM images of wear surface at different velocities (a) 100A-80N-30m/s;(b) 100A-80N-50m/s

2.2 载荷对摩擦磨损性能的影响

图 3 是电流一定(100A)条件下,浸金属碳材料的摩擦系数和磨损率随着载荷的变化关系。由图 3 可知,在载流摩擦磨损条件下,浸金属碳材料的摩擦系数和磨损率都随载荷的增大而减小。这是因为载荷越大,销盘之间的接触越好,接触电阻减小,且电弧强度和频率减小,降低了电气磨损程度,因此磨损率减小。同时,当载荷较大时,熔融的浸渗金属在摩擦副接触面间形成一层薄膜,使磨损表面较光滑,摩擦副的摩擦系数降低。

图 4 是浸金属碳材料在不同载荷条件下的磨损形貌,由图 4 可见,当载荷为 40N 时,在电弧的侵蚀下,

磨损表面浸渗金属被气化蒸发,留下碳颗粒外露,形成空洞,磨损表面粗糙,电气磨损的程度较为严重;在载荷为 120N 时,随载荷的增大,改善了销盘表面接触,电弧强度和频次降低,电气磨损的程度有所减轻,磨损面上金属液膜和碳膜共存,磨损面较为光滑。这也说明了为什么随载荷的增大,摩擦副的摩擦系数、磨损率都降低。

2.3 电流对摩擦磨损性能的影响

2.3.1 有无电流条件下的摩擦磨损性能比较

图 5 是有无电流条件下,浸金属碳材料的摩擦磨损性能比较。由图 5 可知,与无电流条件下相比较,浸金属碳材料在载流条件下的摩擦系数显著降低,而磨

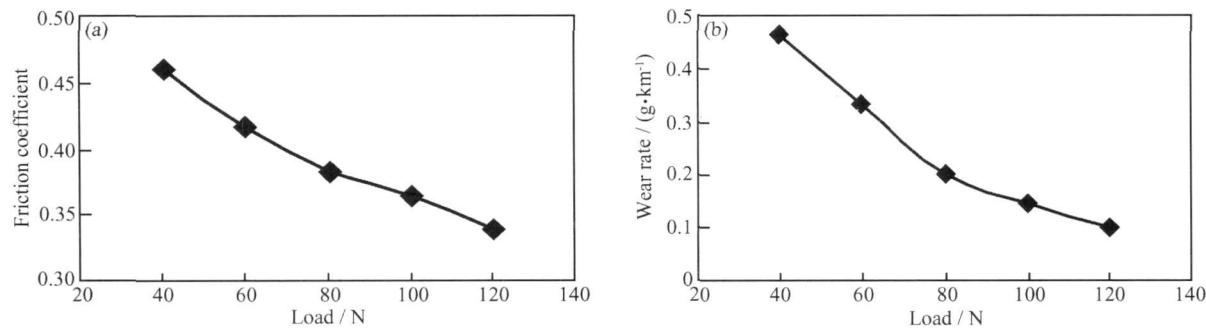


图 3 摩擦系数和磨损率与载荷之间的关系 (a)摩擦系数;(b) 磨损率
Fig. 3 The relation of friction coefficient and wear rate to load (a)friction coefficient;(b) wear rate

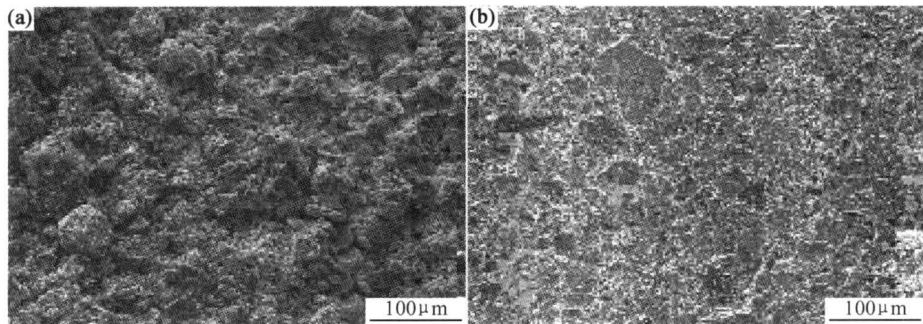


图 4 不同载荷条件下磨损表面的 SEM 照片 (a) 100A-40N-50m/s ;(b) 100A-120N-50m/s
Fig. 4 SEM images of wear surface at different loads (a) 100A-40N-50m/s; (b) 100A-120N-50m/s

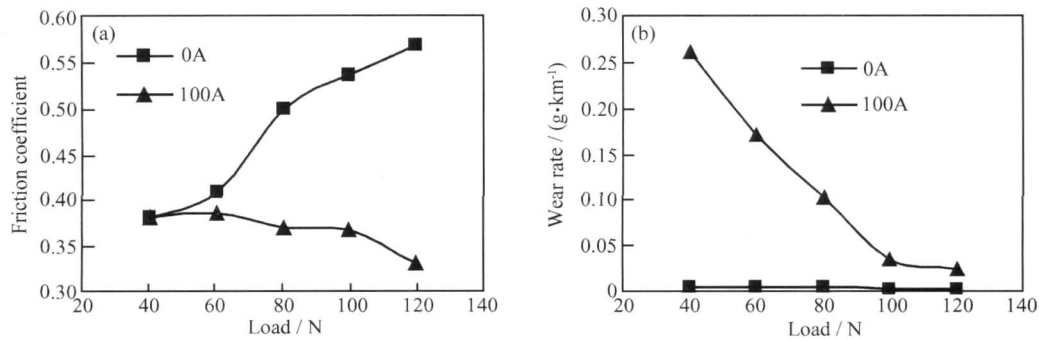


图 5 有无电流条件下的摩擦系数和磨损率比较 (a)摩擦系数;(b)磨损率
Fig. 5 The contrast of friction coefficient and wear rate with and without current (a)friction coefficient; (b) wear rate

损率却显著提高。并且,在两种条件下,摩擦系数的变化趋势相反,而磨损率的变化趋势却相同。这是因为在无电流时,浸金属碳材料的摩擦表面上浸渗金属和碳分布均匀,表面较为光滑,摩擦表面膜组织主要为浸渗金属和烧结碳;而当有电流通过时,其磨损表面的碳被烧蚀气化而剩下浸渗的金属。浸渗金属主要由铅、铈等组成,其熔点较低(铅为 327℃,铈为 630.7℃),在电弧热、接触电阻热和摩擦功的作用下,摩擦表面温度较高,使浸渗金属熔化形成金属液膜,熔融的金属液膜起到了润滑作用,降低了摩擦系数,但由于销与盘之间

相对运转,铜盘带走了部分熔融金属导致磨损率增大。图 6 为浸金属碳材料在有/无电流条件下磨损表面的 SEM 照片,此照片也能证实这一点。

2.3.2 电流大小对摩擦磨损性能的影响

图 7 是在载荷一定(80N)条件下,浸金属碳材料的摩擦系数和磨损率与电流之间的关系。从图 7 中可以看出,浸金属碳材料的摩擦系数和磨损率都随电流的增加而增大。这是因为在小电流条件下,熔融的浸渗金属渗出摩擦表面,被滑动挤压后形成金属膜而减小了摩擦副的摩擦阻力,从而使摩擦系数减小。而随

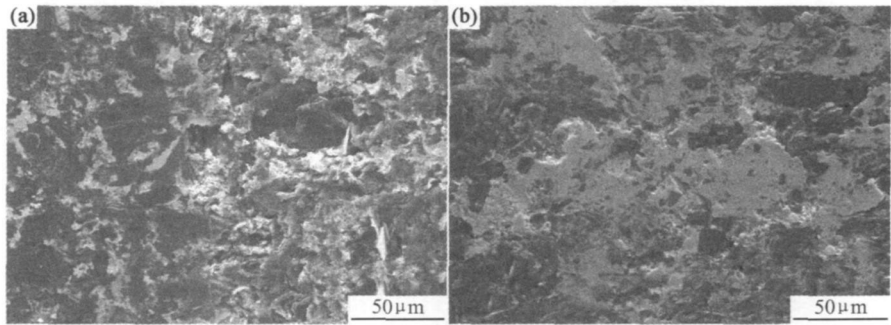


图 6 有/无电流条件下磨损表面的 SEM 照片 (a) 0A-40N-20m/s; (b) 100A-40N-20m/s
Fig. 6 SEM images of wear surface with and without current (a) 0A-40N-20m/s; (b) 100A-40N-20m/s

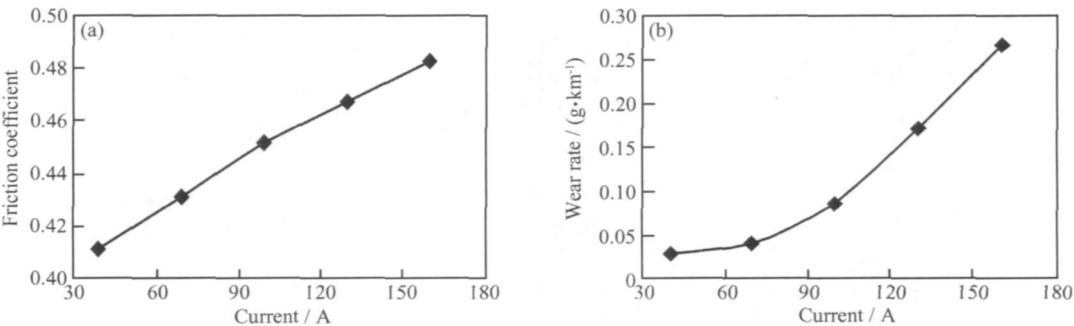


图 7 摩擦系数和磨损率与电流之间的关系 (a) 摩擦系数; (b) 磨损率
Fig. 7 The relation of friction coefficient and wear rate to current (a) friction coefficient; (b) wear rate

随着电流的增大, 电弧能量不断增大, 对浸金属碳材料的侵蚀、烧蚀作用有所增加, 使得摩擦表面的浸渗金属气化量增大, 气化的浸渗金属冷凝后形成金属小颗粒, 在摩擦力的作用下形成磨粒而脱落, 致使磨损率增大。

图 8 为浸金属碳材料在不同电流条件下磨损表面的 SEM 照片。由图 8 可知, 在载流磨损条件下, 销试样表面主要由浸渗金属和碳组成。但当电流较小时, 表面膜中浸渗金属的比例较大; 而当电流较大时, 表面

膜中碳的比例较大, 且在磨损表面上有极小的气化后冷凝的金属小颗粒。这说明在小电流条件下, 销试样磨损表面有浸渗金属熔化渗出摩擦表面, 被滑动挤压后形成金属膜, 从而使摩擦表面更光滑, 摩擦系数较小。而在大电流条件下, 由于热量多、温度高, 浸渗金属和碳被气化, 气化的浸渗金属和碳在冷凝后形成磨粒, 不仅加大了浸金属碳材料的磨损率, 也提高了摩擦副的摩擦系数。

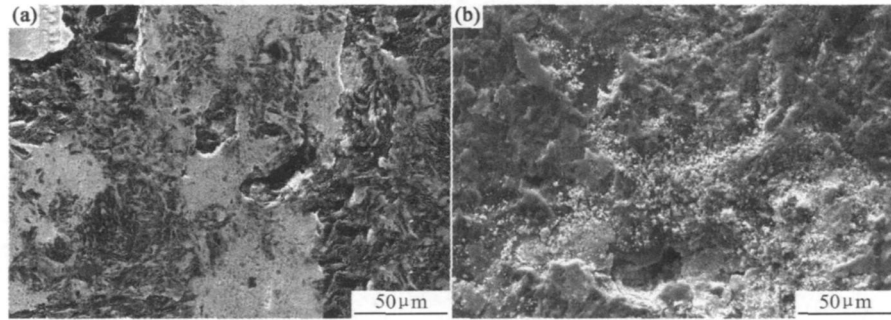


图 8 不同电流条件下磨损表面的 SEM 照片 (a) 40A-80N-10m/s; (b) 160A-80N-10m/s
Fig. 8 SEM images of wear surface at different currents (a) 40A-80N-10m/s; (b) 160A-80N-10m/s

(3) $\text{Nd}_{9.4}\text{Fe}_{75.6}\text{Ti}_{14}\text{B}_{10.5}\text{Co}_{0.5}$ 磁体稀土含量低, 矫顽力高, 且不含战略元素 Co, 具有低价位高性能的特点。

参考文献

- [1] MANAF A, BUCKLEY R A, DAVIES H A. New nanocrystalline high remanence Fe-Nd-B alloys by rapid solidification[J]. J Magn Magn Mater, 1993, 128: 307–310.
- [2] YANG S, LIS D, LIU X S, et al. Exchange coupled $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}/\alpha\text{-Fe}$ nanocomposite magnets with fine $\alpha\text{-Fe}$ grains obtained by low wheel speed spinning[J]. J Alloys Compd, 2002, 343: 217–220.
- [3] COELHOORN R, DEMOOIJ D B, DEWAARD C. Melt spun permanent magnet materials containing Fe_3B as the main phase[J]. J Magn Magn Mater, 1989, 80: 101–105.
- [4] HIROSAWA S, SHIGEMOTO Y, MIYOSHI T, et al. Direct formation of $\text{Fe}_3\text{B}/\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ nanocomposite permanent magnets in rapid solidification[J]. Scripta Mater, 2003, 48: 839–844.
- [5] YOU C Y, PING D H, HONO K. Magnetic properties and microstructure of $\text{Fe}_3\text{B}/\text{Pr}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ -type nanocomposite magnets with Co and Cr additions[J]. J Magn Magn Mater, 2006, 299: 136–144.
- [6] CHEN Z M, WU Y Q, KRAMER M J. A study on the role of Nb in melt-spun nanocrystalline Nd-Fe-B magnets[J]. J Magn Magn Mater, 2004, 268: 105–113.
- [7] 吴义生, 倪建森, 徐晖, 等. $\text{Nd}_{10.1}\text{Fe}_{83.7-x-y}\text{Co}_x\text{Zr}_y\text{B}_{6.2}$ 永磁材料结构和磁性能的研究[J]. 中国稀土学报, 2005, 23(3): 295–298.

- [8] HERBST J F. $\text{R}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ materials: intrinsic properties and technological aspects[J]. Rev Mod Phys, 1991, 63(4): 819–898.
- [9] WANG Z C, DAVIES H A, ZHOU S Z. Effects of C content on the formation and magnetic properties of $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}(\text{B}, \text{C})/\alpha\text{-Fe}$ nanocomposite magnets[J]. J Appl Phys, 2002, 91(6): 3769–3771.
- [10] HASHINO A H, TAZAKIA Y, INO A H, et al. Effects of Zr and C additions on the magnetic properties and structures of melt-spun $\text{Fe}_{83}\text{Nd}_{10}\text{B}_7$ -based nanocomposite magnets[J]. J Magn Magn Mater, 2004, 278: 68–75.
- [11] BRANAGAN D J, MCCALLUM N R W. Precipitation phenomenon in stoichiometric $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ alloys modified with titanium and titanium with carbon[J]. J Alloys Compd, 1995, 230: 67–75.
- [12] CHANG W C, CHIOU D Y, WU S H, et al. High performance $\alpha\text{-Fe}/\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ -type nanocomposites[J]. Appl Phys Lett, 1998, 72(1): 121–123.
- [13] DANIL M, OKUMURA H, HADJIPANAYIS G C, et al. Effect of carbon substitution on the magnetic properties of Nd-Fe(B, C) nanocomposite magnets[J]. J Magn Magn Mater, 2003, 267: 316–324.

收稿日期: 2008-05-08; 修订日期: 2008-08-28

作者简介: 李顺 (1981—), 男, 博士研究生, 主要从事稀土永磁材料的研究工作, 联系地址: 国防科技大学一院五系 501 教研室 (410073)。E-mail: linudt@163.com

(上接第 14 页)

3 结论

(1) 电流一定的条件下, 浸金属碳材料的摩擦系数和磨损率都随速度的增大而增大, 随载荷的增大而减小。

(2) 载荷一定的条件下, 浸金属碳材料的摩擦系数和磨损率都随电流的增加而增大。

(3) 与无电流条件下相比较, 浸金属碳材料在载流条件下的摩擦系数明显降低, 而磨损率却显著提高。

参考文献

- [1] HE Da-hai, RAFAEL MANORY. A novel electric contact material with improved self-lubrication for railway current collectors[J]. Wear, 2001, 249: 626–636.
- [2] HE Da-hai, RAFAEL MANORY, NORM GRADY. Wear of

railway contact wires against current collector materials[J]. Wear, 1998, 215: 146–155.

- [3] SHUNICHI KUBO, KOJI KATO. Effect of arc discharge on wear rate of Cu-impregnated carbon strip in unlubricated sliding against Cu trolley under electric current[J]. Wear, 1998, 216: 172–178.
- [4] HIROKI NAGASAWA, KOJI KATO. Wear mechanism of copper alloy wire sliding against iron-base strip under electric current[J]. Wear, 1998, 216: 179–183.

基金项目: 国家 973 资助项目(2007CB607603); 国家自然科学基金资助项目(50432020; 50775066)

收稿日期: 2008-05-15; 修订日期: 2008-07-28

作者简介: 贾利晓 (1972—), 女, 博士, 副教授, 主要从事材料摩擦学方面的研究, 联系地址: 河南省洛阳市涧西区西苑路 48 号河南科技大学校本部 134 信箱(471003)。E-mail: Jialx2001@163.com