

M2 高速钢高速干摩擦特性研究*

罗霞, 张永振, 陈跃, 铁喜顺

(河南科技大学 材料科学与工程学院, 河南 洛阳 471003)

摘要: 在 MMS-1G 高温高速摩擦试验机上进行 M2 高速钢的高速干滑动摩擦磨损试验。用热电偶测量并计算摩擦面的摩擦温度, 用 XRD 方法分析磨损前后试样摩擦面的合金相组成。利用 SEM 观察并分析摩擦面磨损形貌及磨损机理。结果表明: M2 高速钢在高速干摩擦条件下, 随着速度的增加, 摩擦因数降低, 磨损率达到最大值后降低。当摩擦热累积达到一定值后, 摩擦表面产生严重塑性变形甚至形成润滑薄膜, 同时伴有新相析出。

关键词: M2 高速钢; 高速干滑动; 摩擦磨损性能; 摩擦热

中图分类号: TH117

文献标识码: A

文章编号: 1007-9289(2005)01-0030-04

Friction and Wear Characteristics of M2 High Speed Steel at High Speed Dry Sliding Condition

LUO Xia, ZHANG Yong-zhen, CHEN Yue, TIE Xi-shun

(School of Materials Science & Engineering, Henan University of Science & Technology, Luoyang 471003, China)

Abstract: The friction and wear Characteristics of M2 steel (dry sliding against GCr15 steel) were investigated on the MMS-1G high speed and high temperature wear tester under the conditions of velocity(3 m/s ~ 50 m/s) and contact load (50 N~250 N). Friction temperatures of pin were recorded by NiCr-NiSi thermoelectric couple. The various wear micromechanisms and tribo-metallographic phases were studied, using scanning electron microscopy and X-ray diffraction. The results show that friction coefficient of frictional pair declines with increasing load and speed. Wear rate drops after attaining a maximum. There appear phase transformations, plastic deformation and ductile fracture of the HSS when temperature reaches a certain degree.

Key words: M2 steel; high speed dry sliding; friction and wear characteristics; friction heat

0 引言

高速钢自问世以来, 发展已趋于成熟。目前世界每年生产高速钢约 30 万吨, 其中制成高速钢材 20 万吨, 可见高速钢仍保持其在制造业中作为基础工程材料的地位。其中除主要应用于工具材料(约占工具材料 60%)外, 在模具及结构材料等方面的应用也日益广泛。特别要指出的是现今高速钢的使用早已超出了切削工具的范围。如火箭和飞机需要的高强度、高耐回火性的材料; 高温轴承及螺栓; 各种冷作、热作模具; 型材轧辊等都是高速钢(或其变种)用武之地。从世界范围看, 高速钢属于发展已趋成熟而尚有潜力的材料^[1~3]。

W6Mo5Cr4V2(M2) 钢是高速钢中应用较多的一种通用高速钢, 主要用于制作各种刀具与工模具^[3~4]。

M2 高速钢制造的工模具, 由于其硬度较高, 价格相对较低等优点, 在我国的应用十分广泛。随着机械向高效, 环保, 节约化方向发展, 研究其在高速下的干摩擦磨损性能为其应用提供理论依据则势在必行。为此, 文中讨论了 M2 通用高速钢在高速干摩擦状态下的摩擦磨损性能。

1 试验方法

1.1 试样制备

采用市售电渣重熔后轧制的 M2 高速钢棒材(成分见表 1), 规格 $\phi 20$ mm。采用常规热处理工艺: 450 1 次预热, 保温时间(30 s/mm~45 s/mm) $\times 10$ mm, 850 2 次预热, 保温时间(20 s/mm~30 s/mm) $\times 10$ mm, 淬火温度 1 280 保温时间(10~15 s/mm) $\times 10$ mm。再 560 3 次回火, 每次 1 h。热处理后材料硬度为 63~64 HRC。盘试样材料为 GCr15, 经淬火和低温回火后, 硬度为 57~60 HRC。

收稿日期: 2004-09-24; 修回日期: 2005-01-14

基金项目: *国家自然科学基金项目(50375046)

作者简介: 罗霞(1978-), 女(汉), 四川人, 硕士研究生。

盘试样直径 ϕ 160 mm，销试样直径 ϕ 14 mm。

表 1 M2 高速钢化学成分(质量分数/%)

Table 1 Composition of M2 high speed steel										
化学元素	C	Si	Mn	P	S	W	Mo	Cr	V	Ni
质量分数/%	0.86	0.36	0.31	0.026	0.006	5.91	4.90	4.14	1.80	0.07 0.18

1.2 摩擦磨损试验

摩擦磨损试验在 MMS-1G 高温高速试验机上进行。试验机的最大滑动速度为 100 m/s，最大载荷为 450 N。试验前用丙酮清洗试盘和试销，用感量为 0.1 mg 的分析天平测定试销的磨损质量。根据 M2 高速钢的应用工况条件，试验速度在 3~50 m/s 范围内选取，载荷在 50~250 N 之间，每次摩擦时间为 10 min。

1.3 微观分析

采用 JSM5600LV 型扫描电子显微镜(SEM)观察试样磨损表面形貌。且垂直于摩擦面线切割销试样，观察销试样垂直面的金相组织以及摩擦热的热影响区。并采用 YS-1 型 X-衍射仪观察摩擦前后试样的组织变化。

2 试验结果与分析

2.1 速度对摩擦性能的影响

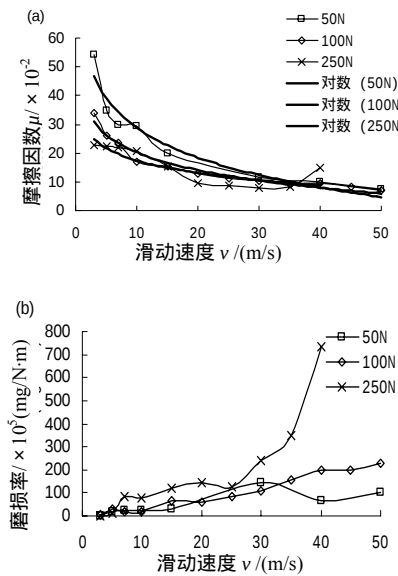


图 1 不同载荷下滑动速度与摩擦因数、磨损率的关系
Fig.1 Relation of friction coefficient、wear rate and sliding speed under different contact load

由图 1(a) 知 ,不同载荷下摩擦因数随滑动速度的增大而减小。同时由图可知 ,滑动速度小于 20 m/s 时的摩擦因数降低的速度比大于 20 m/s 时的快。而当滑动速度大于 30 m/s 时 ,载荷对摩擦因数的影响并不明显。说明滑动速度在 20~30 m/s 之间 ,由于摩擦热的作用在摩擦表面形成一层薄的润滑膜起到润滑作用。由图 1(b)知 , 50 N 条件下 ,在所选的滑动速度范围内 ,磨损率在 30 m/s 时达到最大值 ,即摩擦面在形成润滑膜之前磨损率最大。在 100 N 条件下磨损率呈缓慢增加趋势 ;当载荷为 250 N 条件下 ,速度达到 30 m/s 时 ,磨损率陡增 ,进入毁灭性磨损。这主要是随着载荷、速度的增加 ,产生的摩擦热也越来越多 ,熔融润滑膜相应也加厚 ,而一定厚度的润滑膜有对应的承载能力 ,当载荷超过其承载能力时则不能起润滑作用 ;且由于润滑膜过厚 ,硬基体起不到相应支撑作用 ;在摩擦力与速度以及由此产生的摩擦热共同作用下 ,润滑层被带走 ,在摩擦表面形成塑性流变层。

2.2 摩擦热及摩擦面温度测量

由上述可知 ,摩擦磨损性能受摩擦热影响很大 ,而摩擦面上产生的摩擦热主要分 3 个途径被消耗 : 对磨损面以及次表层产生影响 ,包括摩擦面及次表层的相变、塑变 ; 通过试样-夹具向四周传导 ; 以辐射、对流以及磨屑带走等形式耗散 ,其中热传导所占比重最大。因而能否动态测量摩擦面的温度则显得至关重要。试验采用打孔装电偶的方法测量摩擦面的宏观温度 :在试样上距摩擦表面 2 mm 处用电火花加工小孔 ,至销试样中心 ,孔直径 ϕ 1.7 mm ,深 6 mm (如图 2) ;将镍铬-镍硅热电偶插入孔内并固定好 ,再与 MCT-100 型精密数字测温仪连接 ;试验前先预磨使摩擦面完全与盘试样接触后开始计时并读数。

从图 3 可知 ,在摩擦初期试样温度上升 ,且随着时间的延长 ,温度在一定范围内波动 ;不同载荷下 ,试样温度差别也较大。在摩擦初始阶段 ,热量

产生很快,摩擦热来不及传导出去,从而在摩擦面上积累,所以在摩擦初期试样温度无明显波动,温度上升幅度较大。随着时间的延长,摩擦面上摩擦热积累达到一定的温度梯度,由于试样与夹具为金属-金属接触,传导迅速,且载荷呈小冲击形式加载,所以试样温度在一定范围内波动,最后摩擦面热量的产生和导出达到动态平衡。此过程中,摩擦面上产生摩擦热很多,在传导过程中会对组织和性能造成较大影响。以下通过微观分析来说明。

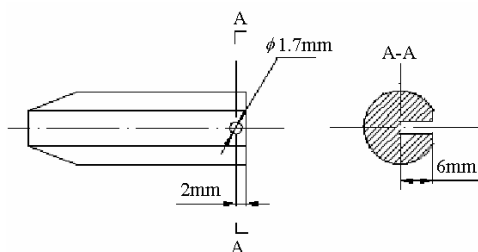


图2 试样测温位置示意图

Fig. 2 Temperature test scheme of specimen

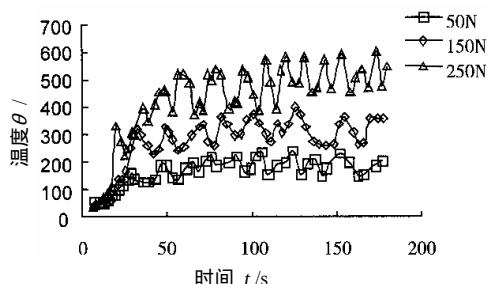


图3 同载荷,不同滑动速度下摩擦面的宏观温度与时间的关系

Fig.3 Relation of temperature and time under different sliding speed at same contact load

2.3 微观分析

2.3.1 磨损形貌照片分析

不同载荷,不同速度下摩擦面磨损形貌完全不同,这主要是摩擦热的作用不同所致。因而从摩擦面磨损形貌上可观察到摩擦热对材料的不同作用。

(1) 同滑动速度,不同载荷的磨损形貌对比

摩擦热的产生与摩擦功有关,从摩擦功^[5]的角度出发,摩擦热的产生主要与接触压力和速度有关。即摩擦速度越高,接触压力越大,摩擦副产生的摩擦热愈多,对摩擦学特性的影响愈大。从图4可知,同滑动速度下,低载时,摩擦面(a)表面

光滑平整;高载时,摩擦面(b)沿摩擦方向有许多

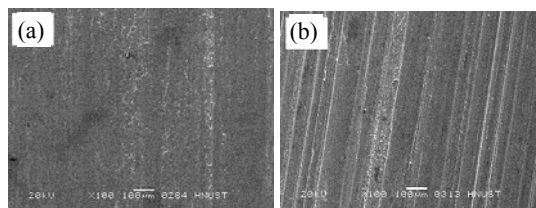


图4 滑动速度 10 m/s,载荷(a) 100 N、(b) 250 N 的磨损形貌

Fig.4 Worn morphology of friction surface under 10m/s, (a)100 N、(b)250 N

划痕。

(2) 同载荷,不同滑动速度下的磨损形貌

由图5可知,同载荷下,低速摩擦面(a)较高速摩擦面(b)平整光滑。(a)表面光滑,有少量剥落坑;(b)表面凹凸不平,且分布有大量的剥落坑(b)图箭头所示)。则可推测随着滑动速度的增大,摩擦副产生的摩擦热也相应增加,对应形成的热影响区也相应增大,从而熔融润滑膜加厚。按热流体理论得到的计算结果^[6]---当热不稳定状态达到一定程度后,润滑膜将达到承载极限,若继续加载则流体动压润滑将发生失效分析得,润滑膜有一定承载能力,当载荷超过其值时,将加剧磨损。

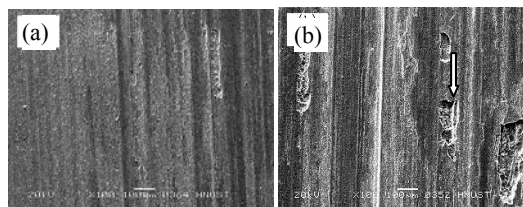


图5 载荷 250 N,滑动速度(a)25 m/s、(b)40 m/s 的磨损形貌

Fig.5 Worn morphology of friction surface under 250 N, (a) 25 m/s、(b) 40 m/s

由上述可知在摩擦热作用下,摩擦界面微接触点处材料发生软化熔融,在摩擦面上形成了一层金属膜^[7~8],使材料的磨损由微切削向金属膜间对磨转变。在这种情况下,材料的磨损率主要取决于表面膜的承载能力。熔融薄膜形成后,当摩擦副粘着力大于熔融薄膜的承载能力时,试样磨损面即出现块状剥落。

2.3.2 金相照片

通过观察垂直摩擦面的金相组织来进一步分析在摩擦热作用下金相组织的变化,以及不同载荷或不同滑动速度下金相组织的差异。

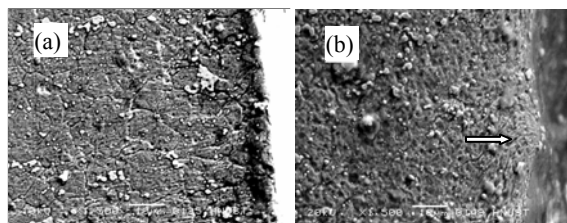


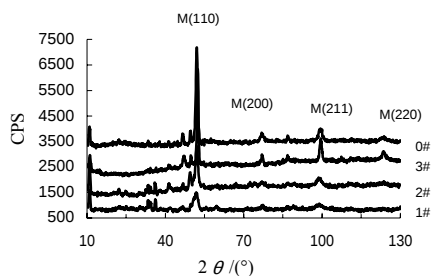
图 6 载荷 250 N, (a) 速度 10 m/s、(b) 速度 20 m/s 的金相照片

Fig.6 Metallographs of friction surface under 250 N, (a) 10 m/s、(b) 20 m/s

从上图可知,在接近摩擦面(右侧为摩擦面)的边缘部位有明显的氧化层,可推知有氧化磨损。由于在同载荷下(或同滑动速度不同载荷条件下),不同滑动速度产生的摩擦热不同,对应氧化区大小不同。从图 6 可知,(a)热影响区不如(b)大。(a)仅限于接近摩擦面的较小区域,且看不到明显的塑性变形。而(b)可观察到磨损面及亚表层有严重塑性变形(如(b)箭头所示)。说明载荷 250 N 时,在 20 m/s 条件下产生的摩擦热比 10 m/s 条件下产生的摩擦热大得多,已达到对材料性能造成相当大的影响程度。

2.3.3 X-衍射分析

由于从金相照片上观察不到明显的新析出相。采用 X-衍射分析在摩擦热作用下,摩擦面及附近区域是否有新析出相。从图 7 摩擦前后试样的 X-衍射谱线可知,摩擦后马氏体衍射峰值变低,



0#—摩擦试验前的原始材料;1#—50 N, 50 m/s 摩擦后的试样摩擦面;2#—150 N, 30 m/s 摩擦后的试样摩擦面;3#—150 N, 40 m/s 摩擦后的试样摩擦面。

图 7 不同摩擦条件下试样 X-衍射谱线

Fig.7 X-ray diffraction of friction surface under different tribologic condition

且在低载(或低速)下衍射峰变宽,有新的物相衍射峰出现,可推知在摩擦过程中有新的物相析出。同时通过比较各摩擦条件下试样的衍射谱线知,由于摩擦条件不同,即摩擦热对试样的影响不同,从而导致试样摩擦面的相变化也各不相同。这可从马氏体衍射峰值高低和碳化物相的衍射峰值位置及强度不同来判断。而对于具体的物相变化尚需进一步的研究讨论。

3 结 论

(1) 随着滑动速度的增大,摩擦因数均下降,低载时磨损率达到最大值后下降;高载时磨损率一直呈上升趋势。

(2) 摩擦过程中摩擦面产生大量的摩擦热,试样温度急剧升高,随着时间的延长,试样温度在一定范围内波动,最后达到动态平衡。

(3) 在高速或高载下,摩擦面摩擦热达到一定程度后,摩擦面表层及次表层形成严重塑性,并伴有新相析出。

参考文献:

- [1] 宋维达. 河北的高速钢 [J]. 河北冶金, 2001(6):37-39.
- [2] 雷仲眉, 水洪. 关于高速钢若干问题的回顾与讨论 [J]. 材料热处理学报, 2001, 22(1):36-41.
- [3] 邓玉昆, 陈景榕, 王世章. 高速工具钢 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2002.
- [4] 王海斗, 庄大明, 王昆林, 刘家浚. 高速钢离子渗硫层的摩擦磨损性能研究 [J]. 摩擦学学报, 2002, 22(4):250-253.
- [5] 张永振. 钢铁干滑动摩擦副摩擦学特性研究 [D]. 西安交通大学, 2001.
- [6] 黄平. 润滑失效分析 [J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2002, 30(11):95-100.
- [7] Wilson S, Alpas A T. Wear mechanism maps for TiN-coated high speed steel [J]. Surface and Coatings Technology, 1999, 120-121:519-527.
- [8] 刘佐民. M50 高速钢高温摩擦磨损特性的研究 [J]. 摩擦学学报, 1997, 17(1):38-44.

作者地址: 河南洛阳 河南科技大学 190 # 471003

Tel.: (0379) 4244654; (0379)4231723

E-mail: luoxia999999@163.com;

