

UHMWPE 人造表面织构摩擦学研究

秦襄培, 陈汉新

(武汉工程大学机电工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 由于表面形貌的摩擦学效应, 可以使用人造表面织构对摩擦表面进行表面改性, 以提高表面的相关性能。本文使用采用照相制版电铸方法制作模板, 压铸成型了两种不同直径和分布规律的 UHMWPE 试样表面, 通过和常规车加工试样表面的对比试验, 研究了人造表面织构对 UHMWPE 摩擦学性能的影响。试验结果显示人造表面织构可以减小 UHMWPE 摩擦副的摩擦系数, 相关仿真研究显示人造表面织构改善了 UHMWPE 摩擦副接触界面上的热传导。

关键词: 人造表面织构; UHMWPE; 热传导; 摩擦性能

中图分类号: TH117.3 **文献标识码:** A

0 引言

由于表面形貌的摩擦学效应, 可以使用人造表面织构对摩擦表面进行表面改性, 以提高表面的相关性能。如任露泉等用仿生非光滑表面改善表面耐磨性及脱附性能^[1-5], 汪家道等研究了规则凹坑的表面形貌润滑效应^[6-7]。这些研究的对象通常是金属材料; 人造表面织构的加工方法通常是激光加工, 单位面积加工成本很高; 受加工方法的限制, 人造表面织构的微观结构尺寸相对较大, 精度较低, 且激光的高温会对近表层的产生影响, 因此主要应用在传统机械部件上。随着工程塑料在摩擦材料上的广泛应用, 特别在微机械, 生物材料上的应用, 工程塑料在实际应用的重要性日益凸现。微机械, 生物材料对纯度和环境相容性要求很高, 表面织构仅仅通过表面形貌的改造改变材料表面性能, 不改变材料本体性能, 这非常适应这一要求。同时, 由于工程塑料可以进行模塑加工, 加工面积不再受到经济成本的限制, 使大规模地应用人造表面织构成为可能。

由于 UHMWPE 在工程和医学应用上的优异

性能, 本文研究了 UHMWPE 的人造表面织构制造方法, 制造了具有两种人造表面织构表面的试样, 加上常规的车削表面试样, 对人造表面织构对 UHMWPE 在干摩擦条件下的摩擦学性能影响进行了研究。

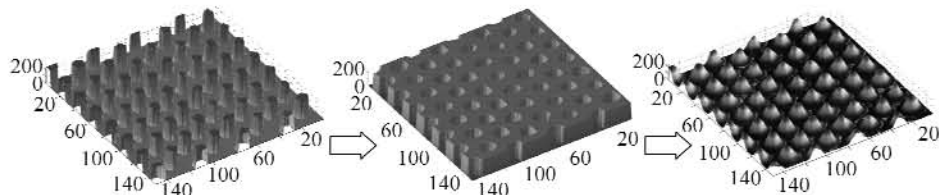
1 实验部分

1.1 人造表面织构的制造

参考微制造相关技术^[8-9], 采用照相制版电铸方法制作两种模板, 通过压铸成型成功地制备了具有 50 μm 高, 不同直径和分布规律的 UHMWPE 试样表面, 表面形貌测量使用的是 Taylor Hobson, 采样速度 $v=0.50 \text{ mm/s}$ 。人造微米级表面织构制作流程如图 1 所示, 所得人造表面织构如图 2 所示。

1.2 摩擦磨损试验

使用德国 SST-ST 销盘摩擦学试验机进行试验。试验条件为: 环境温度: 24 $^{\circ}\text{C}$; 载荷 50 N; 线速度分别为 0.4 m/s, 0.3 m/s, 0.2 m/s, 0.1 m/s, 0.05 m/s, 0.024 m/s; 试验周期: 60 min, 对偶件为 45#钢(表面粗糙度: 0.1 μm)。



Computer surface design \rightarrow Electroform convave pattern plate \rightarrow Surface pattern modeling

图1 人造微米级表面织构制作流程示意图

Fig.1 Schematic diagram of manufacture flow of artificial micron surface pattern

收稿日期: 2009-04-10

项目资助: 湖北省教育厅科研项目资助(Q20081507, Q20091504); 湖北省自然科学基金(2008CDB300)。

作者简介: 秦襄培(1972-), 男, 湖北襄樊人, 讲师, 博士。研究方向: 摩擦学计算机仿真。

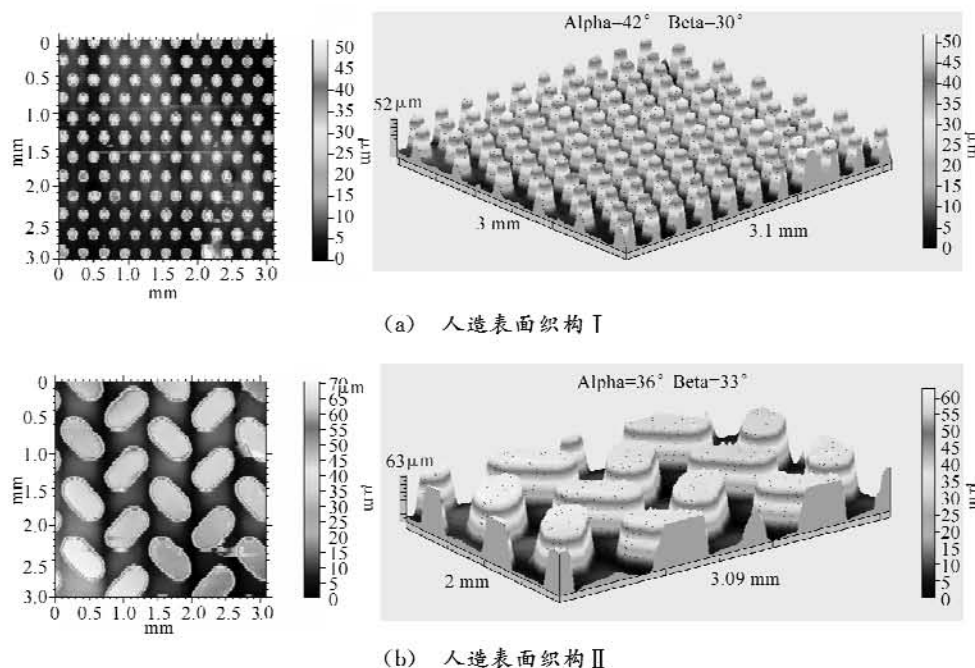


图 2 人造表面织构的 2D 高度分布图和 3D 形貌图

Fig. 2 2D height distribution and 3D topography of Artificial surface pattern

2 结果与讨论

2.1 人造表面织构的功能

在不同的线速度下,各试样的摩擦系数和磨损高度随时间变化曲线如图 3 所示.图中将摩擦系数和磨损高度随时间的变化同时显示在一起.处于图形上端的是摩擦系数随时间变化曲线,处于图形下端的是磨损高度变化随时间变化曲线.图 3

中可以看到,人造表面织构 I 的试样摩擦系数随时间变化不明显,基本是比较平的,人造表面织构 II 的试样和没有表面织构的试样摩擦系数变化趋势比较相似,织构结构小的表面对摩擦系数的影响比较大.在线速度高于 0.2 m/s 时,3 种试样的磨损高度变化随时间增大,低于 0.2 m/s 时,人造表面织构 I 的试样的磨损高度随时间先变小,后逐渐变化不明显,人造表面织构 II 的试样和没有表面织

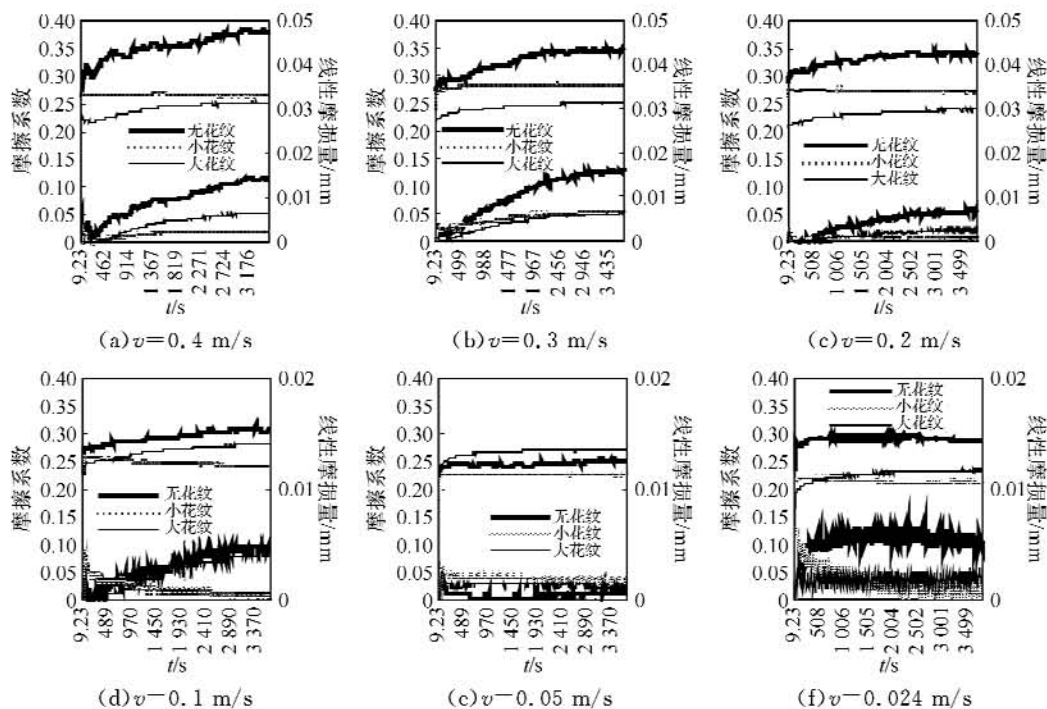


图 3 不同线速度下各试样的摩擦系数和磨损高度随时间变化曲线

Fig. 3 Variation of friction coefficient and wear of each sample with testing duration under different linear velocity

构的试样摩擦系数变化趋势不确定。

从图 3 还可以看到,在线速度为 0.4 m/s, 0.3 m/s, 0.2 m/s, 0.1 m/s 的情况下,具有人造表面织构试样的摩擦系数明显较低;在线速度为 0.05 m/s 的情况下,具有人造表面织构 I 的试样摩擦系数仍然比常规试样低;线速度为 0.024 m/s 的情况下,具有人造表面织构试样的摩擦系数又出现明显较低的情况。总体来说,在本试验较宽的线速度范围内,人造表面织构能够明显降低摩擦副的摩擦系数。

由于摩擦功 $W=fNv$ (W 为摩擦功, f 为摩擦系数, N 为载荷, v 为线速度), 在 f, v 变化时, 摩擦功也发生变化, 相应的摩擦热也发生变化。因此摩擦曲线反应了摩擦功的大小, 与摩擦热的大小直接相关。由于试样在试验中的材料磨损很小, 因此真正的材料磨损可以忽略不计。磨损高度曲线的变化主要反应了材料的变形。摩擦系数变化曲线和磨损高度变化曲线的可以反映摩擦热对材料变形的影响, 为此要考察摩擦曲线和磨损曲线的相关性。

在不同线速度下, 摩擦系数和磨损变形相关系数如表 1 所示。从表中可以看到, 具有人造表面织构的试样摩擦系数和磨损变形相关系数较小, 说明人造表面织构具有减小摩擦热影响的作用。

表 1 不同线速度下的摩擦系数和磨损变形相关系数比较

Table 1 Comparison of correlation coefficient of friction coefficient and wear deformation under different linear velocity

线速度 / $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	摩擦系数和磨损变形相关系数		
	车削表面	人造表面织构 I	人造表面织构 II
0.4	0.974 0 (强相关)	0.050 9 (弱相关)	0.937 5 (强相关)
0.3	0.988 5 (强相关)	0.610 9 (相关)	0.953 3 (强相关)
0.2	0.959 9 (强相关)	0.154 8 (弱相关)	0.877 4 (强相关)
0.1	0.946 4 (强相关)	0.822 4 (强相关)	0.931 7 (强相关)
0.05	0.284 5 (弱相关)	0.279 4 (弱相关)	-0.256 8 (弱相关)
0.024	0.613 4, 出现振动波	0.638 7 (相关)	0.167 6 (弱相关)

2.2 人造表面织构对微观表面支撑能力的影响

在很多接触问题的研究中, 使用的都是设定的材料性能参数。但是就具体的材料而言, 其应力应变规律使用几个参数描述略显简单。为此, 计算接触应力时, 使用了实际测量的应力应变曲线, 可以反应其变化的细微过程。并考虑了试样的截面变形情况, 对曲线进行了修正。

根据真实压缩变形规律得到车削表面, 磨合

表面, 人造表面织构 I 和 II 的支撑曲线如图 4 所示。人造表面织构 II 的支撑能力比车削表面高; 在真应变小于 1 时, 人造表面织构 I 的支撑能力也比车削表面高。

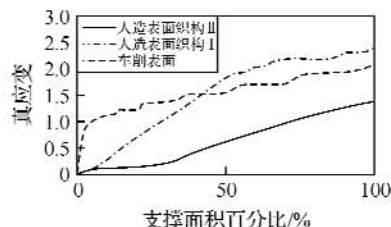


图 4 根据真实压缩变形规律得到的支撑曲线

Fig. 4 Support curve based on real compression deformation

2.3 人造表面织构通过改变表面的接触热阻而改善摩擦热的传导

当热流通过摩擦接触面时, 会受到一个由于接触而引起的附加阻力, 即接触热阻。接触热阻、接触面温度分布和结构热态特性之间存在着耦合的作用关系。当摩擦表面接触时, 真实接触只发生在一些离散的点或微小的面积上, 而其余大部分则是空气或其它介质。影响接触热阻的因素很多, 主要有以下几个方面: 接触材料的特性参数和力学性能, 接触面形貌特征, 接触面压力, 间隙介质性质等^[10]。其中, 接触面的形貌特征是影响表面接触热阻的重要因素^[11]。

接触面的传热问题可分为 3 大类: 一是接触面无摩擦, 只有接触热阻; 二是接触面有摩擦产热, 而无接触热阻; 三是接触面既有接触热阻又有摩擦产热, 此类问题既要研究接触热阻又要研究热量分配关系^[12]。本文所涉及的是第三类问题。

根据热流收缩的程度即界面处温差的大小而定义的接触热导表达式为: $hc = \frac{Q}{\Delta t \cdot A}$, A 为接触面积, Δt 为接触界面处的温差, 这里, 除了材料本身的特性外, 界面接触的最主要因素均通过实际接触面积而起作用^[13]。由于同时有摩擦热产生, 因此, 本文摩擦热传导和摩擦面上的温度分布也有关系^[14]。

在考虑接触材料的特性参数和力学性能, 接触面形貌特征, 接触面压力, 试验参数的基础上, 编制了摩擦热温度变化仿真程序, 并将结果以三维视图的方法表现出来。仿真计算得到的温度分布变化如图 5 所示。可以看到车削表面的温度分布相较难达到均衡状态, 在摩擦面上的温度分布很不均匀。而具有人造表面织构的摩擦面上的温度很快就趋于均匀分布。这主要是因为人造表面织构使名义接触面上的真实接触概率趋于平均, 从而使接触点上的摩擦热的分布趋于均匀, 这有利于摩擦温升的均匀分布。

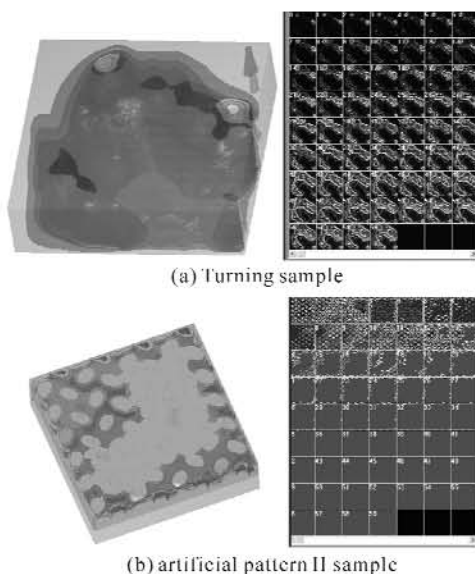


图 5 试样摩擦表面温度分布变化及其 3D 视图
Fig. 5 Variation of temperature distribution on friction surface and its 3D view

3 结 语

a. 人造表面织构可以减小工程塑料摩擦副的摩擦系数;

b. 人造表面织构改变了工程塑料微观表面的支撑能力;

c. 人造表面织构改变了工程塑料摩擦副接触界面上的热阻,从而改善接触面的热传导。

d. 由于实验条件的限制,不能对更多的人造表面织构进行试验,对于人造表面织构的优化设计还需要进一步加以研究,期望在今后的研究中能够解决优化设计的问题。

参考文献:

[1] 任露泉,王再宙,韩志武. 激光处理非光滑凹坑表面

耐磨试验的均匀设计研究[J]. 材料科学与工程, 2002,20(2): 214-216.

[2] 任露泉,王再宙,韩志武. 仿生非光滑表面滑动摩擦磨损试验研究[J]. 农业机械学报,2003,34(20): 86-92.

[3] 王云鹏,任露泉,杨晓东,等. 仿生柔性非光滑表面的结构优化设计[J]. 农业工程学报,1999,34(20): 86-92.

[4] 王云鹏,任露泉,杨晓东,等. 仿生柔性非光滑表面减粘降阻的试验研究[J]. 农业机械学报,1999,30(4): 1-4.

[5] 丛茜,王连成,任露泉,等. 磷片形非光滑表面的仿生设计[J]. 吉林工业大学学报,1998,28(2):12-17.

[6] 汪家道,陈大融,孔宪梅. 规则凹坑表面形貌润滑研究[J]. 摩擦学学报,2003,23(1): 52-55.

[7] 汪家道,陈大融,孔宪梅,等. 面接触规则凹坑表面留题润滑计算[J]. 清华大学学报(自然科学版),2001,41(2):42-45.

[8] Younan Xia, George M. Whitesides. Soft lithography [J]. Annu. Rev. Mater. Sci., 1998(28): 153-184.

[9] Giovanni Vozzi, Christopher Flaim, Arti Ahluwalia. Fabrication of PLGA scaffolds using soft lithography and microsyringe deposition[J]. Biomaterials, 2003 (24): 2533-2540.

[10] 应济,贾昱,陈子辰,等. 粗糙表面接触热阻的理论和试验研究[J]. 浙江大学学报(自然科学版), 1997,31(1):104-1409.

[11] 徐烈,张涛,熊炜,等. 真空低温下接触表面对接触热阻的影响[J]. 真空与低温,1998,4(1): 1-4.

[12] 韩玉阁,宣益民,汤瑞峰. 接触界面传热规律研究[J]. 南京理工大学学报,1998,22(3): 260-263.

[13] 赵兰萍,徐烈,李兆慈,等. 反复加载情况下低温固体界面间接触导热研究[J]. 低温与超导,2000,28(1): 52-54.

[14] 王仕仙,徐建生,卢霞. 基于 ANSYS 的滑动摩擦热结构耦合分析[J]. 武汉工程大学学报,2009,31(5): 67-71.

Study on tribological performance of UHMWPE texture surface

QIN Xiang-pei, CHEN Han-xin

(School of Mechanical Electrical Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Because of the tribological effect of surface topography, surface texture can be used to modify the friction surface, and to improve the related performance. The paper proposed a pattern plated by photoengraving, and stamped two kinds of UHMWPE surface with different diameter and distribution. The effect of surface texture to tribological performance of UHMWPE was studied by comparison of sample with turning surface. Testing results show that surface texture can reduce the friction coefficient of UHMWPE. Related simulation shows that surface texture improve the heat conduction of contact interface of UHMWPE.

Key words: texture surface; UHMWPE; heat conduction; tribological performance

本文编辑:陈晓华