

表面形貌和润湿性对钛合金摩擦学性能的影响

连 峰, 任洪梅, 管善堃, 张会臣

(大连海事大学, 辽宁 大连 116026)

摘 要: 为提高钛合金的摩擦学性能, 采用激光加工技术在 Ti6Al4V 合金表面分别构建间距为 100 和 300 μm 的网格和点阵微结构, 将 SiO_2 纳米粒子涂覆在微结构上制备微纳结构。用接触角测量仪测量试样的表面接触角和滚动角; 用 LEXT OLS4000 3D 激光共聚焦显微镜进行表面形貌和磨痕表征, 采用多功能摩擦磨损试验机(UMT)进行摩擦学性能测试。结果表明, 具有微结构的表面是符合 Wenzel 状态的疏水表面, 涂覆 SiO_2 具有微纳结构的表面是符合 Cassie 状态的超疏水表面。微结构间距 100 μm 的表面的疏水性强于 300 μm , 网格表面疏水性强于点阵。随表面疏水性能的增强, 磨痕深度变浅。在 50 mN 载荷条件下, 涂覆 SiO_2 表面的摩擦系数约为激光加工表面的 0.6 倍, 网格表面的摩擦系数约为点阵的 0.8 倍。在 5 N 载荷条件下, 涂覆 SiO_2 减小摩擦系数曲线的波动性。

关键词: 钛合金; 表面形貌; 润湿性

中图分类号: TG146.2³

文献标识码: A

文章编号: 1002-185X(2016)08-2182-07

钛合金密度小、比强度高、疲劳抗力高, 特别是在海洋气氛中具有良好的抗腐蚀能力。因此, 钛合金作为一种优秀的舰船材料, 在船体结构件、潜艇耐压壳体、动力装置、声纳导流罩等领域具有广泛的应用^[1]。然而, 钛合金存在着摩擦系数高, 对粘着磨损和微动磨损非常敏感, 耐磨性差, 在高温高速摩擦时易燃着火等缺点^[2], 严重影响其结构的安全性和可靠性, 极大地限制了钛合金的应用。因此, 钛合金表面改性技术成为当前国内外研究的热点^[3]。传统的表面改性技术存在诸多问题, 例如离子注入因受离子注入能量的制约, 强化层很浅; 离子渗碳、渗硼和渗氮等存在着处理周期长和温度高易使工件变形等缺点; 热喷涂改性层组织结构疏松而且与基体的结合强度相对较低, 不易形成具有较高结合力的冶金结合。而激光表面改性技术是激光技术与金属热处理相结合的产物, 可显著提高材料的表面硬度、耐磨性。由于高能量密度产生极快的加热速度、功率输出精确可控和改性局域表面的可选择性, 激光表面改性技术已被广泛应用于提高钛合金的摩擦学性能^[4,5], 主要包括激光熔覆、激光合金化和激光熔凝技术。

摩擦学问题也是生物在进化过程中面临的问题之一, 根据仿生学原理, 任露泉教授课题组对一些典型土壤动物进行了大量的脱附减阻研究, 认为动物体表

普遍存在非光滑结构, 具有减黏、降阻和耐磨等功能, 基于这一原理设计的仿生推土板和仿生犁壁具有显著的减摩性能^[6]。韩志武等^[7]采用激光加工技术在轧辊模型试件表面加工出多种仿生微结构, 并进行了摩擦磨损试验。研究发现, 经过激光微结构处理的仿生非光滑表面的抗磨性能远远优于未加工的光滑表面。宋起飞等^[8]通过激光加工在铸铁表面制备了具有规则分布的凹坑条纹以及网格等单元体的仿生形貌, 并研究其摩擦磨损性能。结果表明, 非光滑表面材料的耐磨性较光滑表面提高 1 倍以上。当非光滑表面的单元体硬度越高、直径越大而间距越小时, 其耐磨性能越好。这是由于激光加工的单元体相当于在母体上增加了许多强化质点, 比母体具有更高的硬度和致密性, 能够提高抗磨性。同时, 由于表面微结构具有充当润滑剂储存器提供持续润滑及捕获磨损粒子而减小犁沟等作用^[9]。因此, 可显著改善摩擦学性能。

Z. Bhushan 等^[10]研究了多种植物表面, 如荷叶和芋头叶都具有超疏水、低黏着和低摩擦的性质, 这些性质是其表面化学组分和微纳多尺度结构共同决定的。M. Shafiei 等^[11]以荷叶为模板, 采用醋酸纤维素复制、电化学沉积和化学修饰方法相结合制备了具有荷叶表面的微纳尺度形貌的镍表面。研究发现, 该表面具有很强的疏水性, 摩擦系数明显降低; 经全氟聚

收稿日期: 2015-08-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (50975036); 辽宁省工业攻关计划 (2012220006); 中央高校基本科研业务费专项资金 (3132014303)

作者简介: 连 峰, 女, 1965 年生, 博士, 教授, 大连海事大学交通运输装备与海洋工程学院, 辽宁 大连 116026, 电话: 0411-84723319, E-mail: lianfeng1357@163.com

醚(PEPE)化学修饰后, 表面呈现出超疏水效应, 接触角高达 156° , 摩擦系数进一步降低。Y. Wan 等^[12]利用化学刻蚀方法分别在锌和铜表面构筑微纳结构, 然后覆盖硬脂酸薄膜以实现超疏水, 经过上述处理的锌和铜表面具有明显的减摩和耐磨特性。S. L. Ren 等^[13]将铝板置于沸水中 5 min, 使铝板表面粗糙化, 经低表面能修饰, 制备出超疏水铝板表面。与抛光铝板表面相比, 超疏水铝板表面的黏附力和摩擦力显著减小。

综上所述, 激光技术在提高钛合金摩擦学性能上具有显著优势。但采用激光加工技术在钛合金表面加工仿生微结构, 并探讨微结构的形貌对钛合金摩擦学性能影响的研究未见发表。而将激光加工微结构和化学修饰改变表面润湿性相结合来改善钛合金摩擦学性能的研究尚属空白。本研究采用激光加工技术在 Ti6Al4V 合金表面分别制备间距为 100 和 300 μm 的点阵和网格微结构。采用溶胶-凝胶法将 SiO_2 纳米粒子涂覆在经激光加工的钛合金表面, 构建仿荷叶表面的微纳分级结构, 制备超疏水钛合金表面。采用多功能摩擦磨损试验机探讨微结构的形貌、几何参数和表面润湿性对摩擦学性能的影响, 为提高钛合金的摩擦学性能提供新的方法和技术支持。

1 实验

试样材料为厚度 1.5 mm 的 Ti6Al4V 板材, 利用线切割机切割成 20 mm \times 20 mm 的试样。依次使用 400 #、800 # 和 1000 # 砂纸精磨。然后将其依次放入丙酮、乙醇和蒸馏水中超声清洗 2 min, 去除表面杂质, 取出后用 N_2 吹干。采用 HGL-LSY50F 激光打标机(武汉华工激光工程有限责任公司制造)对试样表面进行激光加工。激光波长为 1064 nm, 最大激光输出功率为 50 W, 激光频率为 3.14 kHz, 加工时使用的电流密度为 13 A。加工出网格、点阵微结构, 间距分别为 100 和 300 μm 。激光加工完成后, 再次将钛合金试样依次放入丙酮、乙醇和蒸馏水中超声清洗 2 min, 去除表面杂质, 取出后用 N_2 吹干。

将配制的环氧树脂溶液(向 50 mL 丙酮中分别滴加 2.5 mL 环氧树脂和 0.5 mL 聚酰胺树脂并搅拌均匀, 随后滴加 0.1 mL 促进剂(2, 4, 6-三二甲氨基甲基苯酚, 95%)旋涂于具有微结构的试样表面, 并于室温下风干 30 min。将涂有环氧树脂溶液的试样浸涂 0.165 mol/L SiO_2 分散液(将 0.25 g 的纳米 SiO_2 (粒径 20 nm)溶解在 50 mL 的无水乙醇中, 并滴加 0.25 mL 偶联剂(α -氨基丙基甲基二乙氧基硅烷, 97%), 超声分散 3 h), 并置于干燥箱中 5 h, 干燥箱温度为 100 $^\circ\text{C}$ 。取出试样并浸涂低表面能溶液(将 0.5 mL 的 1H, 1H, 2H, 2H-全氟烷基

三乙氧基硅烷(PFO, 97%)溶于 50 mL 无水乙醇中并搅拌均匀), 再置于干燥箱中 5 h, 干燥箱温度为 100 $^\circ\text{C}$ 。

采用多功能摩擦磨损试验机(UMT)进行摩擦学性能测试, 实验温度为室温, 环境相对湿度为 40%~45%。采用 Easy-Drop 型接触角测量仪测定去离子蒸馏水在试样表面的接触角和滚动角。采用 LEXT OLS4000 3D 激光共聚焦显微镜进行表面形貌和磨痕表征。

2 结果与讨论

2.1 表面形貌

图 1 和图 2 分别示出了间距为 100 μm 的激光加工和在激光加工的微结构表面制备涂层的网格和点阵微结构的三维形貌。采用 LEXT OLS4000 3D 激光共聚焦显微镜自带的数据处理软件, 分别测定三维形貌的若干横截面的轮廓峰顶线和轮廓谷底线之间的距离, 其中的最大值即为该表面的轮廓最大高度 R_y 值, 其结果列于图 3。

由图 1、图 2 和图 3 可见, 网格微结构表面的 R_y 值明显大于点阵, 间距 100 μm 的表面 R_y 值大于间距 300 μm , 制备涂层使 R_y 值进一步增大, 且网格微结构表面的 R_y 值的增大量高于点阵。分析认为, 点阵微结构是通过激光单点加工形成, 致使基底被熔化成圆台

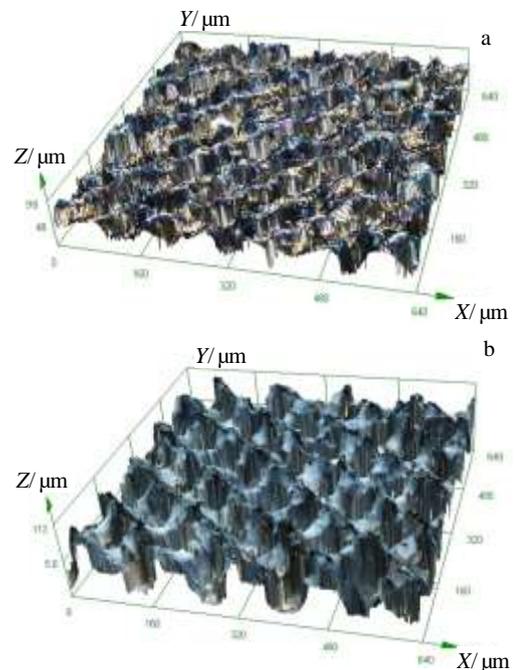


图 1 网格三维形貌

Fig.1 3D topography of grid: (a) laser processing and (b) with SiO_2

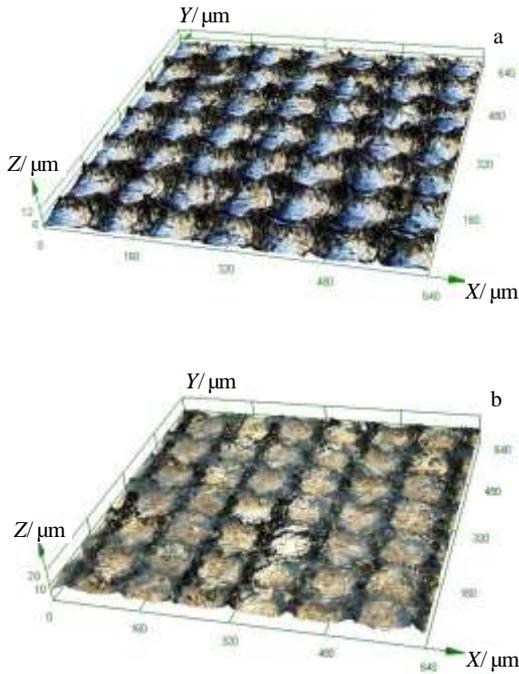


图 2 点阵三维形貌

Fig.2 3D topography of dot: (a) laser processing and (b) with SiO₂

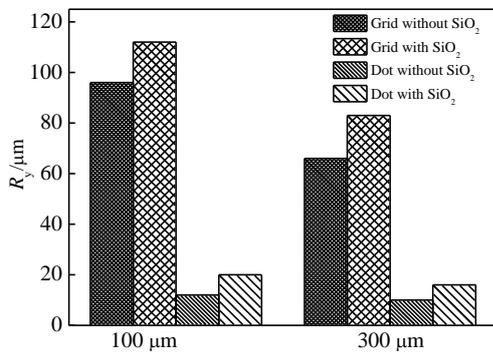


图 3 试样表面的 R_y 值

Fig.3 R_y of specimen surface

形凹坑；而网格微结构是通过激光在呈 90°夹角的 2 个方向扫描加工 2 次形成的，大量飞溅出的熔融物相互堆积而形成高于表面的凸起。因此，网格微结构表面的 R_y 值远大于点阵。由于间距越小这种堆砌作用越大，因此，间距 100 μm 的表面 R_y 值大于间距 300 μm。而制备 SiO₂ 涂层时是将具有微结构的表面向下置于涂胶仪上。旋涂 10 s 后，将试样脱离涂胶仪，保持微结构的表面向下风干 30 min。在重力的作用下，大部分的胶液会粘贴在微结构的凸起处，凹坑处相对较少。由于点阵表面 R_y 值很小，倒置风干过程中，会有部分胶液滴落；而网格表面 R_y 值较大，胶液向下滑动的路

径较长，更多的胶液凝固于凸起附近，滴落的很少。因此，网格微结构表面的 R_y 值增大量高于点阵。

2.2 表面润湿性

采用 Easy-Drop 型接触角测量仪，以 2 μL 去离子水测量接触角，以 5 μL 去离子水测量滚动角。具体方法是将试样放平并在表面滴 5 μL 水滴，然后向试样一侧的底部逐片插入塞规片，直至试样表面水滴滚落为止。记录塞规片厚度，已知试样长为 20 mm，可以计算出水滴滚落时试样倾斜的角度，此即该试样的滚动角。试样的接触角和滚动角分别如表 1 和表 2 所示。

抛光 Ti6Al4V 表面的接触角为 56.8°，属亲水表面。由表 1 可见，经激光加工微结构后得到接触角小于 5° 的超亲水表面。经低表面能修饰，接触角显著增大形成疏水表面，且随着间距的减小接触角增大，具有网格微结构表面的接触角大于点阵的。涂覆 SiO₂ 的试样表面接触角均超过了 150°，形成超疏水表面。由表 2 可见，将经激光加工和经低表面能修饰的试样竖直呈 90°甚至翻转，液滴都不滚落，说明表面符合 R. N. Wenzel 状态^[14]，液滴渗入到表面粗糙结构中，表面与液滴之间的黏附作用很大。以 θ_w 表示 Wenzel 模式下的表征接触角，θ_e 表示固有接触角，r 表示粗糙度因子，即粗糙表面的实际接触面积与表观固液接触面积之比，则表征接触角可由公式(1)^[14]计算：

$$\cos \theta_w = r \cos \theta_e \quad (1)$$

抛光 Ti6Al4V 表面经低表面能修饰后的接触角为 107.9°，即 θ_e=107.9°，由于 R_y 值增大会使实际接触面积增大，导致 r 增大，因此接触角 θ_w 增大。所以微结构间距为 100 μm 的表面接触角大于间距为 300 μm 的接触角，网格微结构表面的接触角大于点阵。

由表 2 可见，涂覆 SiO₂ 的超疏水表面具有很小的滚动角，符合 Cassie 状态^[15]，液滴无法侵入表面结构而截留空气产生气膜。如果以 θ_c 表示 Cassie 模式下的接触角，φ_s 表示液滴与固体的接触面积占复合界面的面积分数，则表征接触角与固有接触角的关系如公式(2)^[15]所示：

$$\cos \theta_c = -1 + \phi_s (\cos \theta_e + 1) \quad (2)$$

微结构间距越小，液滴与固体的接触面积就越小，φ_s 就会越小，接触角 θ_c 越大。因此，微结构间距 100 μm 的表面接触角大于间距 300 μm。比较图 1 和图 2 可以看出，网格的凸起部分的面积小于点阵，即网格表面的液滴与固体的接触面积小于点阵。因此，网格微结构表面的接触角大于点阵的。随接触角的增大，固液接触范围减小，后接触线变短，更有利于液滴的滚动^[16]，因此微结构间距 100 μm 的表面滚动角小于间距 300 μm，网格的表面滚动角小于点阵。

表 1 试样的接触角

Table 1 Contact angle of specimens (°)

Samples	Laser processing		Low surface energy		With SiO ₂	
	100 μm	300 μm	100 μm	300 μm	100 μm	300 μm
Grid	<5	<5	149.3	147.8	158.4	153.3
Dot	<5	<5	148.1	144.6	155.3	151.9

表 2 试样的滚动角

Table 2 Rolling angle of specimens (°)

Samples	Laser processing		Low surface energy		With SiO ₂	
	100 μm	300 μm	100 μm	300 μm	100 μm	300 μm
Grid	-	-	-	-	3.6	8.3
Dot	-	-	-	-	5.2	9.4

2.3 摩擦学性能

2.3.1 50 mN 载荷

设定载荷为 50 mN，速度为 3 mm/s，配偶件为直径 $\Phi 3$ mm 的 Si₃N₄ 小球，往复行程为 5 mm。摩擦系数曲线如图 4 和图 5 所示。摩擦 3 h(10800 s) 时的摩擦系数列于表 3。

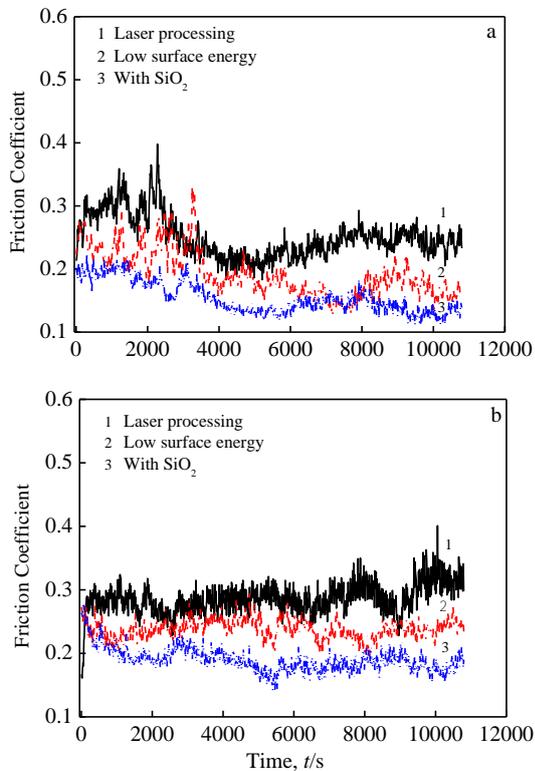


图 4 间距为 100 μm 的试样摩擦系数

Fig.4 Friction coefficients of specimens with space 100 μm (50

mN): (a) grid and (b) dot

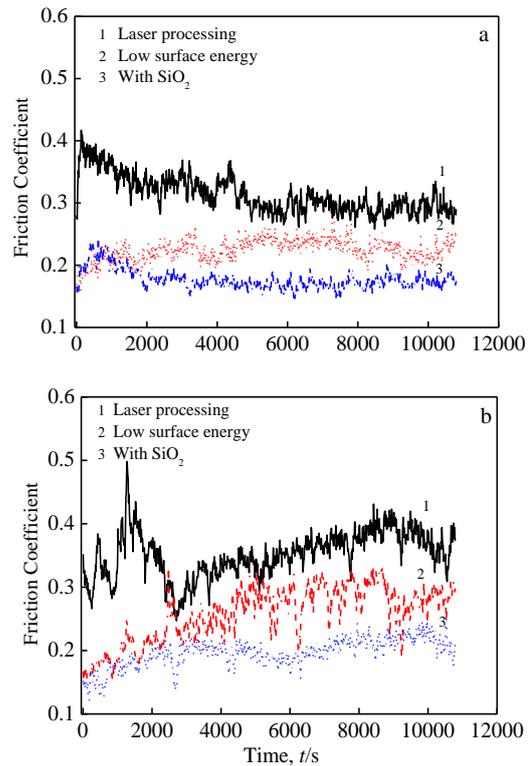


图 5 间距为 300 μm 的试样摩擦系数

Fig.5 Friction coefficients of specimens with space 300 μm (50 mN): (a) grid and (b) dot

表 3 试样的摩擦系数

Table 3 Friction coefficient of specimens

Samples	Laser processing		Low surface energy		With SiO ₂	
	100 μm	300 μm	100 μm	300 μm	100 μm	300 μm
Grid	0.233	0.298	0.168	0.233	0.139	0.186
Dot	0.290	0.375	0.201	0.304	0.175	0.211

由图 4 和图 5 可以看出，激光加工的试样表面的摩擦系数最大，经低表面能修饰的试样表面的摩擦系数有所减小，涂覆 SiO₂ 的试样表面的摩擦系数最小。由表 3 可以看出，低表面能修饰的表面的摩擦系数为激光加工表面的 0.7 倍左右，而涂覆 SiO₂ 的表面的摩擦系数仅为激光加工表面的 0.6 倍左右。网格表面的摩擦系数为点阵的 0.8 倍左右。

微结构间距为 100 μm 试样表面的磨痕如图 6 所示。其中 a、b、c 分别为激光加工、低表面能修饰、涂覆 SiO₂ 的网格试样；d、e、f 分别为激光加工、低表面能修饰、涂覆 SiO₂ 的点阵试样。由图 6 可见，激光加工表面的磨痕最深，经低表面能修饰的磨痕变浅，涂覆 SiO₂ 的磨痕

最浅。具有网格微结构表面的磨痕比点阵的浅。
错误!

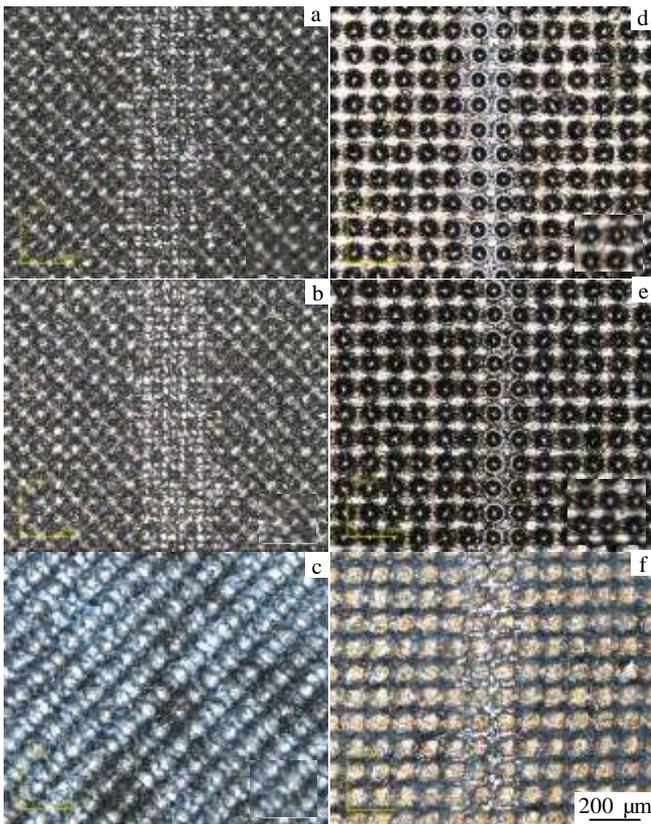


图 6 100 μm 的试样的磨痕图片

Fig.6 Grinding crack pictures of specimens with space 100 μm (50 mN): (a) grid of laser processing, (b) grid of low surface energy, (c) grid with SiO₂, (d) dot of laser processing, (e) dot of low surface energy, and (f) dot with SiO₂

2.3.2 5 N 载荷

在其他条件不变的情况下，增大载荷至 5 N，摩擦系数如图 7 和图 8 所示。经低表面能修饰的表面和只经过激光加工的表面的摩擦系数曲线交织在一起，差别不大。涂覆 SiO₂ 减小了摩擦系数曲线的波动性，但对摩擦系数数值的影响并不显著。

微结构间距为 100 μm 的试样表面的磨痕如图 9 所示。其中 a、b、c 分别为激光加工、低表面能修饰、涂覆 SiO₂ 的网格试样；d、e、f 分别为激光加工、低表面能修饰、涂覆 SiO₂ 的点阵试样。测试图 9 中 6 个试样的磨痕深度列于表 4。

由图 9 可见，只有涂覆 SiO₂ 的网格试样还保留有网格结构，其它试样的表面微结构已几乎被磨平，并暴露出基底。从表 4 可以看出，随着表面疏水性性能的

增强，磨痕变浅，即耐磨性增强。网格试样表面比点阵试样表面的耐磨性更强。

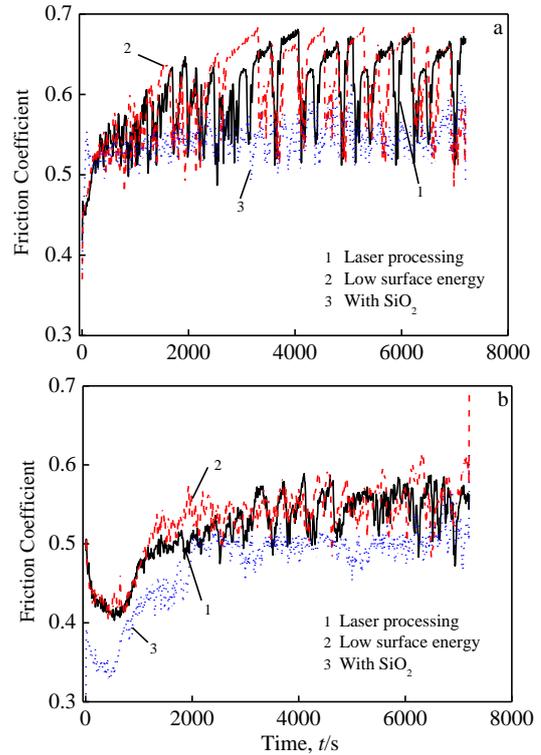


图 7 间距为 100 μm 的试样的摩擦系数

Fig.7 Friction coefficients of specimens with space 100 μm (5 N): (a) grid and (b) dot

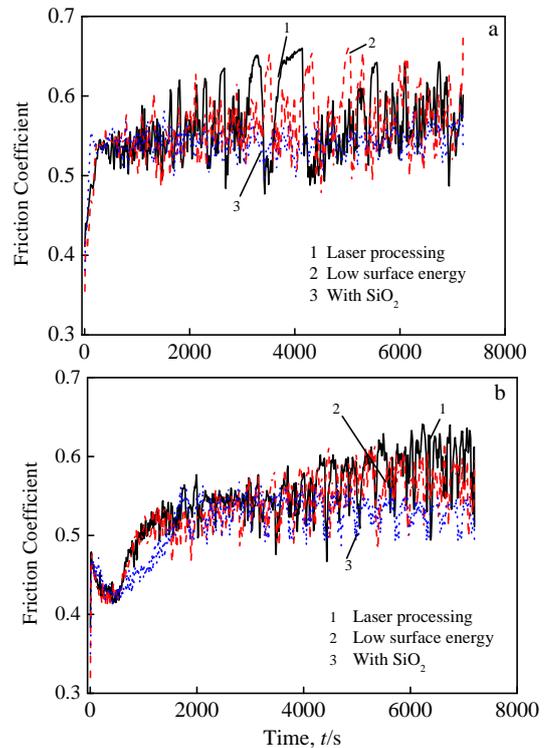


图 8 间距为 300 μm 的试样摩擦系数

Fig.8 Friction coefficients of specimens with space 300 μm(5 N): (a) grid and (b) dot

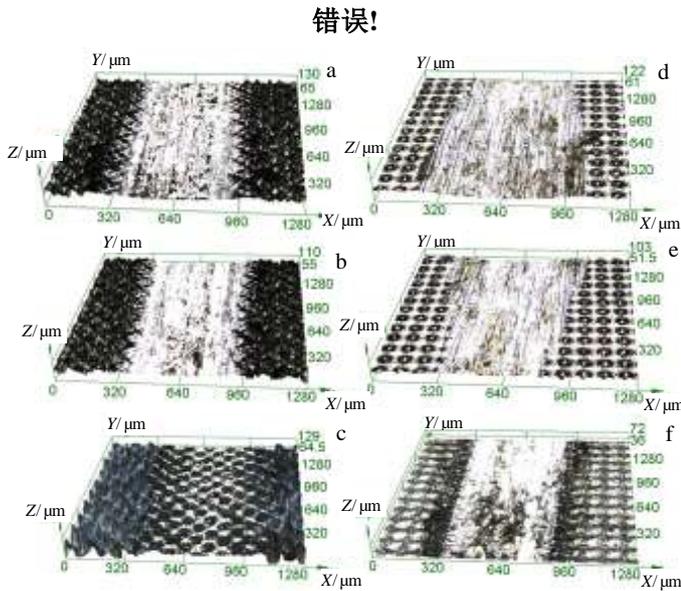


图 9 100 μm 的试样的磨痕图片

Fig.9 Grinding crack pictures of specimens with space 100 μm (5 N): (a) grid of laser processing, (b) grid of low surface energy, (c) grid with SiO₂, (d) dot of laser processing, (e) dot of low surface energy, and (f) dot with SiO₂

表 4 试样的磨损深度

Table 4 Wearing depth of specimens (μm)

Samples	Laser processing		Low surface energy		With SiO ₂	
	100 μm	300 μm	100 μm	300 μm	100 μm	300 μm
Grid	35.022	35.270	24.944	31.695	19.453	24.552
Dot	40.818	40.285	28.214	35.007	20.764	28.088

2.3.3 作用机理

材料表面的摩擦力与表面的组成、结构及润湿性有密切的关系。根据Bowden和Tabor摩擦学基本定律:

$$F = \tau A_r \tag{3}$$

式中, F 为摩擦力, τ 为剪切强度, A_r 为真实接触面积。摩擦力与真实接触面积成正比, 而真实接触面积不仅依赖于正压力, 而且更重要是由表面能决定^[16]。材料静态接触角可作为衡量表面能大小的一个度量^[17], 接触角越大说明表面能越低^[18]。

低表面能修饰降低了试样表面自由能, 使表面的吸附作用减小, 因此减小了摩擦力, 降低了摩擦系数。当表面涂覆 SiO₂ 后, 由于表面活性很高的 SiO₂ 微粒可通过羟基在金属摩擦表面发生强烈的化学吸附, 形成牢固的 SiO₂ 吸附膜, 具有一定的润滑作用^[19]。同时,

涂覆 SiO₂ 改变了对磨面之间的接触方式, 凸出于磨损表面的 SiO₂ 颗粒起到了支撑作用, 也在一定程度上减少了基体与对磨 Si₃N₄ 小球的直接接触, 进一步减小了摩擦力, 降低了摩擦系数。因此, 在 50 mN 载荷条件下, 随表面疏水性能的提高, 摩擦系数减小, 磨痕变浅。

而大载荷(5 N)可能直接穿透了低表面能修饰层, 因此经低表面能修饰的表面和只经过激光加工的表面摩擦系数曲线差别不大, SiO₂ 吸附膜的减摩擦作用减小了摩擦系数曲线的波动性。由于网格表面的凹坑多于点阵表面(如图 1、图 2 所示), 捕捉磨粒减少犁沟的作用更强。且具有网格微结构表面的硬度高于点阵的(网格微结构凸起处的显微硬度 HV 约为 6000 MPa, 点阵微结构表面凸起处的显微硬度 HV 约为 5000 MPa, Ti6Al4V 板材表面硬度 HV 为 3370 MPa)。所以, 网格试样表面比点阵试样表面的磨痕更浅, 耐磨性更强。可见, 激光刻蚀在构建微结构的同时, 对试样表面进行了激光熔凝的强化处理, 由于网格微结构是激光交叉扫描 2 次形成的, 因此强化作用更强, 表面硬度更高。

3 结 论

1) 经激光加工和低表面能修饰得到符合 Wenzel 状态的疏水 Ti6Al4V 表面, 涂覆 SiO₂ 得到符合 Cassie 状态的超疏水 Ti6Al4V 表面。微结构间距 100 μm 的表面接触角大于 300 μm, 网格微结构表面的接触角大于点阵。

2) 在 50 mN 载荷条件下, 随表面疏水性能的增强, 磨痕深度变浅, 表面的摩擦系数减小。低表面能修饰的表面摩擦系数为激光加工表面的 0.7 倍左右, 而涂覆 SiO₂ 的表面摩擦系数仅为激光加工表面的 0.6 倍左右。网格表面的摩擦系数为点阵的 0.8 倍左右。

3) 在 5 N 载荷条件下, 随表面疏水性能的增强, 磨痕深度变浅, 且涂覆 SiO₂ 的网格试样表面比点阵的耐磨性更强。但对摩擦系数的影响并不显著, 涂覆 SiO₂ 有助于减小摩擦系数曲线的波动性。

参考文献 References

[1] Krylov V V. *Malachite*[J], 2002, 7(3): 63
 [2] Du Nan(杜 南), Wang Shuaixing(王帅星), Zhao Qing(赵 晴) et al. *Rare Metal Materials and Engineering* (稀有金属材料与工程) [J], 2013, 42(3): 621
 [3] Huang Ping(黄 平), Han Yong(憨 勇), Xu Kewei(徐可为). *Rare Metal Materials and Engineering* (稀有金属材料与工程)[J], 2002, 31(4): 308

- [4] Che Z G, Yang J, Gong S *et al.* *Rare Metal Materials and Engineering*[J], 2014, 43(5): 1056
- [5] Tang Jingang(汤金刚), Liu Daoxin(刘道新), Tang Changbin(唐长斌) *et al.* *Rare Metal Materials and Engineering (稀有金属材料与工程)* [J], 2013, 42(2):331
- [6] Tong Jin(佟金), Ma Yunhai(马云海), Ren Luquan(任露泉). *Tribology(摩擦学学报)*[J], 2001, 21(4): 315
- [7] Han Zhiwu(韩志武), Ren Luquan(任露泉), Liu Zubin(刘祖斌). *Tribology(摩擦学学报)*[J], 2004, 24(4): 289
- [8] Song Qifei(宋起飞), Zhou Hong(周宏), Li Yue(李跃) *et al.* *Tribology(摩擦学学报)* [J], 2006, 26(1): 24
- [9] Etsion I. *J Tribology*[J], 2005, 127(1): 248
- [10] Burton Z, Bhushan B. *Ultramicroscopy*[J], 2006, 106(8-9): 709
- [11] Shafiei M, Alpas A T. *Appl Surf Sci*[J], 2001, 256(3): 710
- [12] Wan Y, Wang Z Q *et al.* *Appl Surf Sci*[J], 2011, 257(17): 7486
- [13] Ren S L, Yang S R, Zhao Y P. *Acta Mech Sin*[J], 2004, 20(2): 159
- [14] Wenzel R N. *Ind Eng chem*[J], 1936, 28: 988
- [15] Cassie A B D, Baxter S. *Trans Fara Soc*[J], 1944, 40: 546
- [16] Yoshimitsu Z, Nakajima A *et al.* *Langmuir*[J], 2002, 18(15): 5818
- [17] Beake B D, Leggett G I. *Langmuir*[J], 2000, 16(2): 735
- [18] Singh R A, Yoon E S *et al.* *Surf Eng*[J], 2007, 23(3): 161
- [19] Wang Jianhua(王建华), Song Min(宋敏), Li Jinlong(李金龙) *et al.* *Tribology(摩擦学学报)* [J], 2011, 31(2): 118

Impacts of the Surface Pattern and Wettability on Tribological Properties of Ti Alloy

Lian Feng, Ren Hongmei, Guan Shankun, Zhang Huichen

(Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)

Abstract: In order to improve the tribological properties of titanium alloy, laser processing was used to build grid and dot micro-structure with spacing of 100 and 300 μm on Ti6Al4V alloy surface. Nano-SiO₂ powders were coated on the micro-structures to build micro-nano structures. The contact angles and roll angles were measured by contact angle measurement. The micrograph and wear tracks were investigated by LEXT OLS4000 3D microscope. Tribological performance was evaluated by CETR Universal Micro-Tribometer (UMT). The results show that the micro structure surface is in hydrophobic state that is in accordance with the Wenzel model, while the surface with the micro-nano structure formed by coating the nano-SiO₂ is in super hydrophobic state that is in accordance with the Cassie model. The hydrophobic performance of micro-structure surface with spacing of 100 μm is stronger than that of 300 μm , and the hydrophobic performance of grid surface is stronger than that of dot surface. As the hydrophobic performance improves, the depth of the grinding crack becomes shallower. When the load is 50 mN, the friction coefficient of the surface coated with SiO₂ is about 0.6 times of that of laser processing surface, and the friction coefficient of the grid surface is about 0.8 times of that of dot surface. When the load is 5 N, coating SiO₂ can reduce the volatility of the friction coefficient curve.

Key words: Ti alloy; surface pattern; wettability

Corresponding author: Lian Feng, Ph. D., Professor, College of Transportation Equipments and Ocean Engineering, Dalian Maritime University, Dalian 116026, P. R. China, Tel: 0086-411-84723319, E-mail: lianfeng1357@163.com