

表面拓扑在磨合过程结束时的研究

牧青

(湖南应用技术学院, 湖南 常德 415000)

摘要: 磨合过程是整个磨损过程中的一个重要阶段。磨合前后表面粗糙度的无关性一直困扰着磨合研究。然而, 这一结论是基于二维表面轮廓得出的, 而二维表面轮廓不包含三维信息, 因此是不完整的。本文通过磨合实验来研究这一问题。结果表明, 在磨合过程结束时, 没有类似于平衡粗糙度的“平衡表面拓扑”。

关键词: 表面拓扑; 钢; 滑动磨损; 磨合

在未磨损固体表面之间开始滑动接触后不久, 常常观察到摩擦、温度和磨损率的变化。这一特定的磨损阶段通常称为磨合。传统上, 人们普遍认为磨合结束时的表面粗糙度(平衡粗糙度)与初始粗糙度的性质无关。基于这一结论, 不可能从初始表面研究稳态磨损阶段的特征。然而, 这一结论显然是不完整的, 因为它是基于二维表面轮廓粗糙度而不是三维表面拓扑。因此, 有必要通过三维表面拓扑更新这一结论。

一、实验

为解决上述问题, 需要模拟不同表面拓扑的磨合过程。在实验中准备了两种表面拓扑: 一种是具有多个峰的表面(MP); 另一种是具有多个方向性槽的表面(MDG)。

一种是具有多个方向性槽的表面(MDG)。每种表面拓扑的高度分为高和低两个级别。实验在相同滑动速度下使用两个负载(20 N和40 N)进行, 以建立一个可测量的磨合过程。总共进行了六个测试, 具体配置见表1。

表 1. 实验配置

	测试 1	测试 2	测试 3	测试 4	测试 5	测试 6
负载	20 N	40 N	20 N	20 N	40 N	20 N
表面纹理	MP ^a	MP ^a	MP ^a	MDG ^b	MDG ^b	MDG ^b
表面拓扑高度	高	高	低	高	高	低

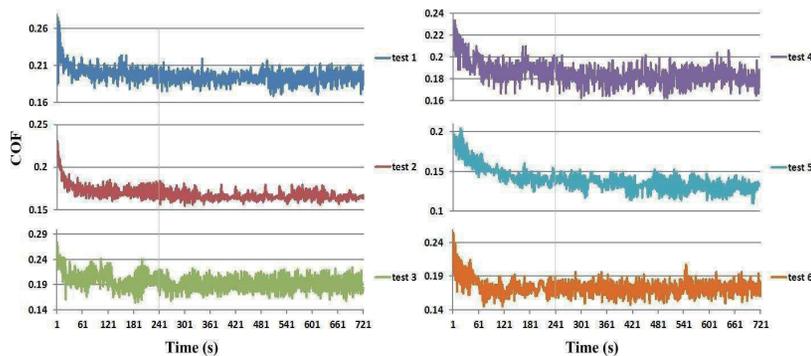


图 1. 磨合过程的摩擦系数 (COF) a 多峰表面纹理; b 多方向性槽表面纹理。

由于机械中的广泛使用, 实验中选择了 1035 和 E52100 金属材料 (ASTM 材料代码)。E52100 制成的盘状样品尺寸为 $\Phi 54$ mm \times 10 mm, 经过热处理硬度为 59–62 HRC。1035 制成的针状样品尺寸为 $\Phi 3$ mm \times 17 mm, 经过热处理硬度为 31–36 HRC。选用柴油发动机油 SAE 15W–40 作为润滑剂, 其密度为 0.886 g/cm³, 粘度为 80 mm²/s (20^o C)。

根据图 2 中六个测试的摩擦系数 (COF) 曲线, 磨合过程在第 4 分钟完成。表面拓扑通过面域表面评价标准进行表征, 包括高度参数、面积和体积参数、空间参数、混合参数和功能参数。

二、讨论

测试 1、2、3 的表面拓扑如图 2 所示, 测试 4、5、6 的表面拓扑如图 4 所示。从图 2 和图 3 可以看出, 测试 1、3、4 的磨合后表面拓扑 (图 2-b、f 和图 4-b) 保留了相应初始表面的特征 (图 2-a、e 和图 3-a), 且根据参数评估, 测试 1、3、4 的 Sa1 和 Str 在磨合前后没有显著变化, 这意味着测试 1、3、4 的磨合结束时的表面纹理与其初始表面纹理一致。此外, 观察到没有大规模的塑性变形, 这表明其磨损量很小。由于弹性变形占主导地位, 可以推断测试 1、3、4 的负载小于材料的屈服极限。此外, 它们的高度参数 Sa 有所减少。

与上述结果相反, 测试 6 的磨合后表面没有保留初始表面纹

理, 其高度参数增加。由于图 4-f 中明显的犁痕, 表明过程中存在严重的粘着磨损, 但负载与测试 1、3 和 4 相同。此外, 测试 6 的初始表面拓扑在测试中最平滑, 因此分子间相互作用导致了磨合过程中表面拓扑的变化。

尽管测试 2 和 5 的磨合后表面拓扑与测试 6 相似, 但磨损机制不同。由于较大的负载和明显的粘着磨损现象, 测试 2 和 5 的表面拓扑变化主要来自塑性变形和犁作用的机械效应。进一步证明了测试 2 和 5 的负载大于材料的屈服极限。由于测试 2 和 5 在磨合过程结束时表面参数的不同, 磨合后表面拓扑的主要特性也不同。因此, 由于初始表面拓扑的不同, 磨合后表面拓扑受初始表面拓扑的影响。

混合参数 Sdr、Sdq 和 Ssc 表示表面拓扑的纹理复杂度。根据表 1, 混合参数 Sdq、Ssc 和 Sdr 的变化与高度参数 Sa 的变化相似。当 Sa 减小时, 表面纹理变得更光滑; 当 Sa 增大时, 表面纹理变得更粗糙。根据测试 4 和测试 6 的参数, 平衡粗糙度现象显示, 粗糙的表面趋向于变得更光滑, 而光滑的表面趋向于变得更粗糙。然而, 磨合后它们具有不同的表面纹理。此外, 在测试 1 和测试 3 中没有出现类似的现象。因此, 在磨合结束时, 没有类似于平衡粗糙度的“平衡表面拓扑”。

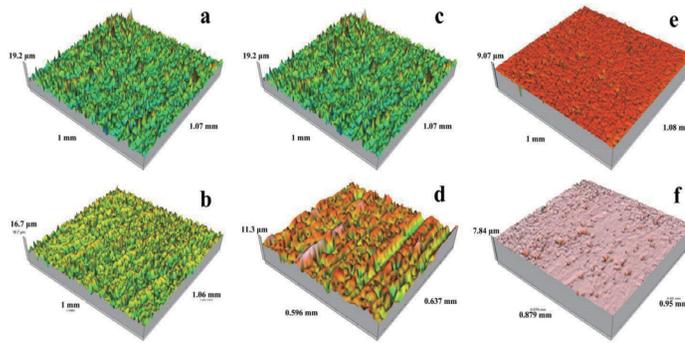


图 2. 测试 1、2、3 中的 MP 表面拓扑：（a）测试 1 的初始表面；（b）测试 1 的磨损表面；（c）测试 2 的初始表面；（d）测试 2 的磨损表面；（e）测试 3 的初始表面；（f）测试 3 的磨损表面。

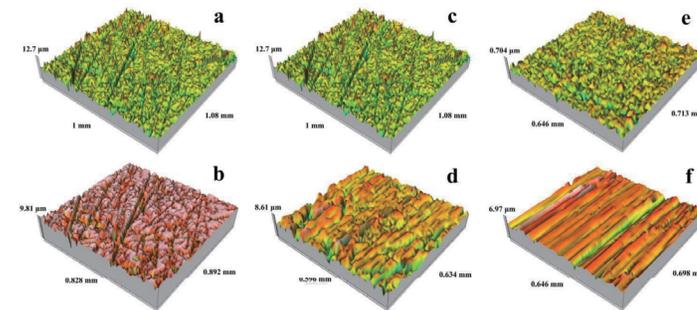


图 3. 测试 4、5、6 中的 MDG 表面拓扑：（a）测试 4 的初始表面；（b）测试 4 的磨损表面；（c）测试 5 的初始表面；（d）测试 5 的磨损表面；（e）测试 6 的初始表面；（f）测试 6 的磨损表面。

与传统观点相反，上述分析表明，1. 当负载小于材料的屈服极限，且未磨损表面拓扑的高度参数 S_a 大于磨合结束时的表面拓扑高度参数时，磨合结束时的表面纹理与其初始表面纹理一致；

2. 而当负载大于材料的屈服极限时，磨合后的表面拓扑虽然相似，但受初始表面拓扑的影响。3. 此外，在磨合结束时，没有类似于平衡粗糙度的“平衡表面拓扑”。

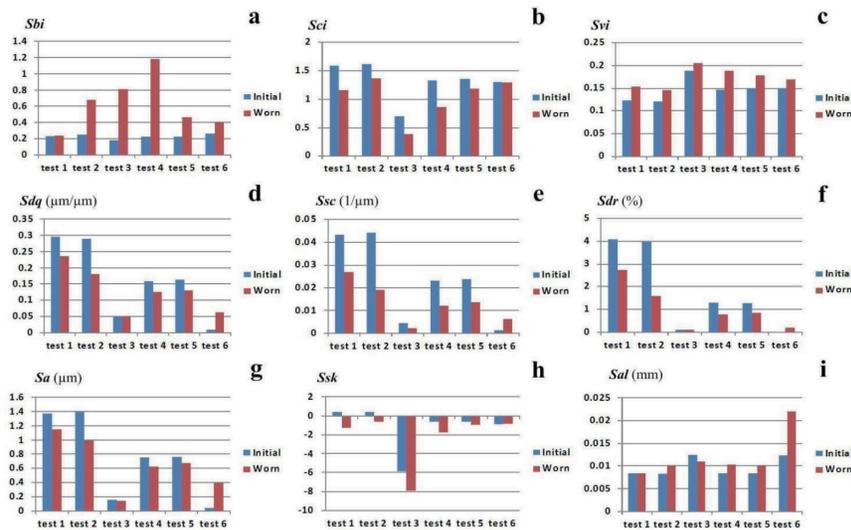


图 4. 主要参数的评估结果

三、总结

通过设计和进行实验，研究了初始表面与磨合结束时表面之间的关系。通过对表面拓扑的观察和表面参数的分析，得出以下结论：

1. 在磨合过程结束时，没有类似于平衡粗糙度的“平衡表面拓扑”。
2. 当负载小于材料的屈服极限，且未磨损表面拓扑的高度参数大于磨合结束时的表面拓扑高度参数时，磨合结束时的表面纹

理与相应的未磨损表面纹理一致。

3. 当负载大于材料的屈服极限时，磨合后的表面拓扑虽然相似，但受初始表面拓扑的影响。

参考文献

[1] 杨景尧, 刘美红, 宋晓磊. 基于灰色系统理论的刷式密封磨损量的预测方法 [J]. 宇航材料工艺, 2022, 52 (06) : 83-86
 [2] 张贲, 邓建新, 岳鸿志, 李学术. 微结构对钢制导轨表面摩擦性能的影响 [J]. 制造技术与机床, 2019 (11) : 17-23