

石墨烯在机械材料中摩擦特性与应用研究

牛博旻
(黑龙江科技大学 黑龙江 哈尔滨 150022)

摘要: 机械材料尤其是不锈钢在机械行业广泛应用, 但材料的摩擦或者磨损往往是导致机械材料成品失效的重要原因。石墨烯作为一种新型的材料在各方面都具有优异的性能, 可为改善不锈钢等机械材料的摩擦性能提供思路。本研究从石墨烯作为切削液添加剂、机械不锈钢材料涂层或者表面膜、添加材料与机械不锈钢材料形成复合材料等方面, 对石墨烯改善机械不锈钢材料摩擦性能与应用进行了研究, 以期对不锈钢材料减磨方向的研究提供一定参考。

关键词: 石墨烯; 机械材料; 摩擦; 应用

0 引言

不锈钢作为最为重要的金属材料之一, 在机械、建筑、食品加工、医药等方面具有广泛的应用。然而, 不管是在机械材料的加工成型还是使用过程中, 机械材料的磨损或者耐磨性一直是机械设备损伤或者故障的重要原因, 因此改善机械材料, 尤其是不锈钢材料的摩擦性能具有重要的意义。因此, 理解石墨烯和不锈钢材料相结合的作用方式, 阐明两者结合改善不锈钢材料的特性尤其是磨擦性能的机理, 对减少目前固体或者液体润滑剂的使用, 提高不锈钢材料的机械特性等具有重要意义。

1 石墨烯在机械材料加工过程中的减磨和耐磨应用

机械材料尤其是不锈钢材料在成型过程中, 往往采用高速切削的方式并采用切削液进行降温 and 润滑, 石墨烯可以作为液体润滑添加剂, 或者以纳米流体的形态添加到切削液中改善不锈钢机械材料的耐磨性。图 1 为 Amrit 等人在不同石墨烯含量下得到的不锈钢材料的摩擦因数与钻孔数量的关系。从图 1 中可以看出, 在机械材料的钻孔加工过程中, 是否在切削液中加入石墨烯和加入石墨烯含量的不同对不锈钢材料加工过程的摩擦系数有重要影响。加工过程摩擦系数的降低可有效提高待加工机械材料的表面特性, 使其表面粗糙度有效降低、磨损程度减轻、表面质量提高。具有这些优秀特性的机械材料在使用过程中的摩擦阻力更小, 使用过程中的耐磨性能可在一定程度上得到提高。另一方面, 由于石墨烯微小颗粒可沉降在机械材料表面的微小坑洞内, 其润滑作用可以提升机械材料在使用过

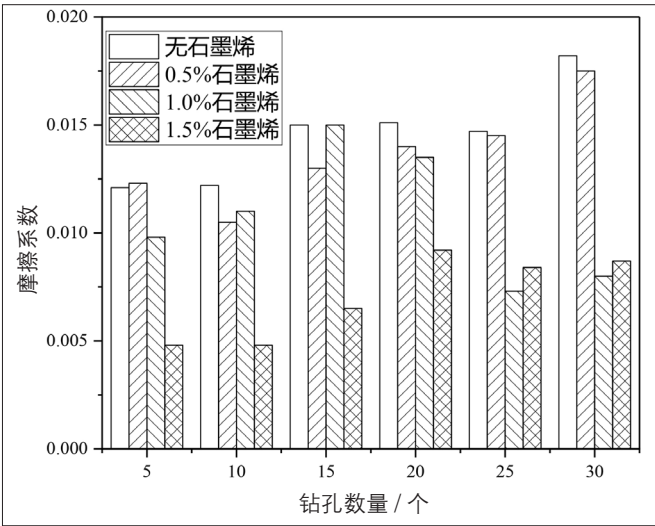


图 1 不同含量石墨烯下摩擦系数随钻孔数量变化

程中的耐磨性, 起到保护零件表面的作用。石墨烯良好的导热性能可有效降低机械材料加工过程中的温度, 有效改善机械材料加工表面的质量。

2 石墨烯涂层或者镀膜在机械材料摩擦方面的应用

2.1 异位石墨烯强化机械材料摩擦性能

异位石墨烯是指在机械材料之外的其他地方通过相应的方法加工制备石墨烯, 然后将制备后的石墨烯添加到机械材料中, 这是因为不锈钢并非石墨烯理想的制备载体。图 2 显示了采用异位方法制备石墨烯并添加到不锈钢材料中进行磨损实验的显微结果。从图 2 中可以看出, 在球面和平面上磨损痕迹的光学显微照片有所不同。磨损痕迹直径和磨损轨迹宽度存在明显差异, 这是因为磨损轨迹的宽度沿磨损轨迹而变化, 从而导致平面上磨损痕迹的平均宽度较小。另外, 球体在磨

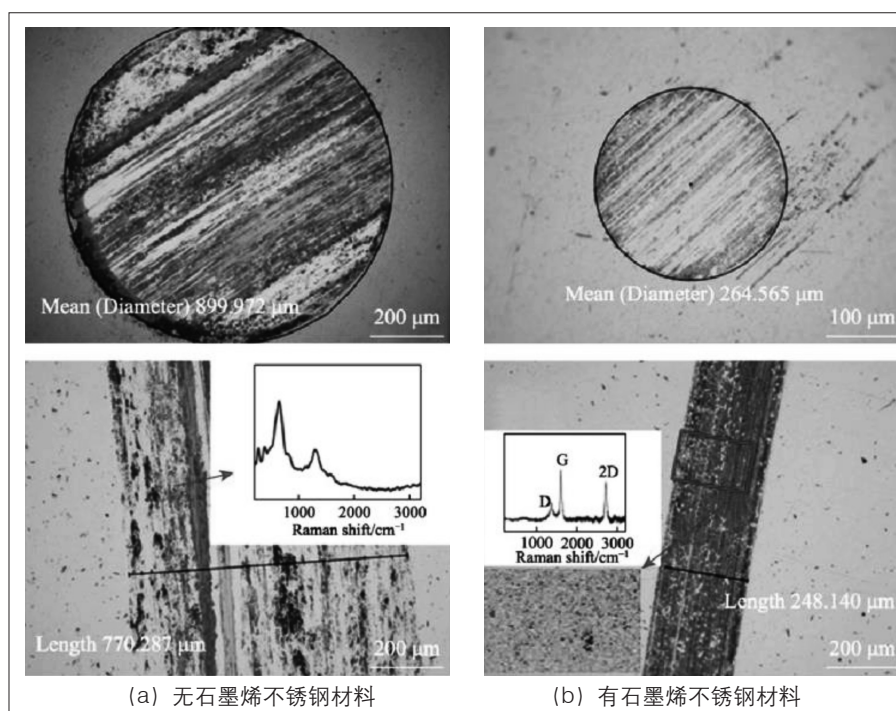


图2 不锈钢磨损痕迹显微图

磨损迹两侧受到的压力效应比平坦一侧要高,因此导致在球面上磨损痕迹宽度变宽。另外,在不添加石墨烯材料时,不管是在球面上还是在平面上,不锈钢材料的磨损都较为严重,添加了石墨烯后,不锈钢材料的磨损性能得到明显提升。

2.2 原位制备石墨烯强化机械材料摩擦性能

异位制得石墨烯然后添加到不锈钢材料中的方法尽管可行,但是异位的方法也存在许多问题。如转移过程中难免存在石墨烯质量的下降、石墨烯表面受到破坏等缺点。因此,在机械材料表面原位制备石墨烯并改善不锈钢材料的方法逐渐得到关注。研究人员利用改进的化学气相沉积法原位制备了石墨烯,并对添加石墨烯后的机械材料进行了实验研究。图3为E. C. Romanił等人在1N载荷下,对添加石墨烯后不锈钢材料的摩擦性能进行的实验研究。实验结果表明,在无石墨烯时不锈钢材料初始的摩擦系数(COF)达到0.4,随着循环次数的增加摩擦系数慢慢增加到0.42,然后保持不变。在26.6 Pa条件下沉积的石墨烯涂层不锈钢样品的COF始终在0.15左右摆动,而在53.2 Pa条件下制备的石墨烯涂层不锈钢样品的COF则在0.15左右摆动。这表明,石墨烯的添加有效降低了不锈钢材料的摩擦

性能。

通过原位方法制备的石墨烯材料尽管层数较少,但能够保持较长的使用时间,与不锈钢表面可以几乎实现完全覆盖,甚至在石墨烯和不锈钢表面之间还能形成键作用。相关研究通过对制备的石墨烯不锈钢材料的拉曼光谱、XRD衍射图分析,证实了在不锈钢和石墨烯之间确实存在Cr-C化学键。总的来说,原位方法制备的石墨烯添加到不锈钢中比异位方法制得石墨烯并转移到不锈钢表面具有更简单的操作流程,制得的不锈钢也因为石墨烯的覆盖程度和化学键的存在,表面性能更加优良,具有更好的耐磨性。

3 石墨烯增强不锈钢复合材料的摩擦特性研究

3.1 粉末冶金石墨烯改善不锈钢摩擦性能

异位或者原位制备石墨烯改善不锈钢材料的磨损性能存在一定的缺陷,如石墨烯只在表面很薄一层存在,当机械设备持续工作时,表面被磨损后,石墨烯改进不锈钢材料性能的方式就会失效,因此一些研究者发展了粉末冶金石墨烯复合材料来解决这一问题。西安交通大学的一些研究者以石墨纸为原料,采用粉末冶金的方法

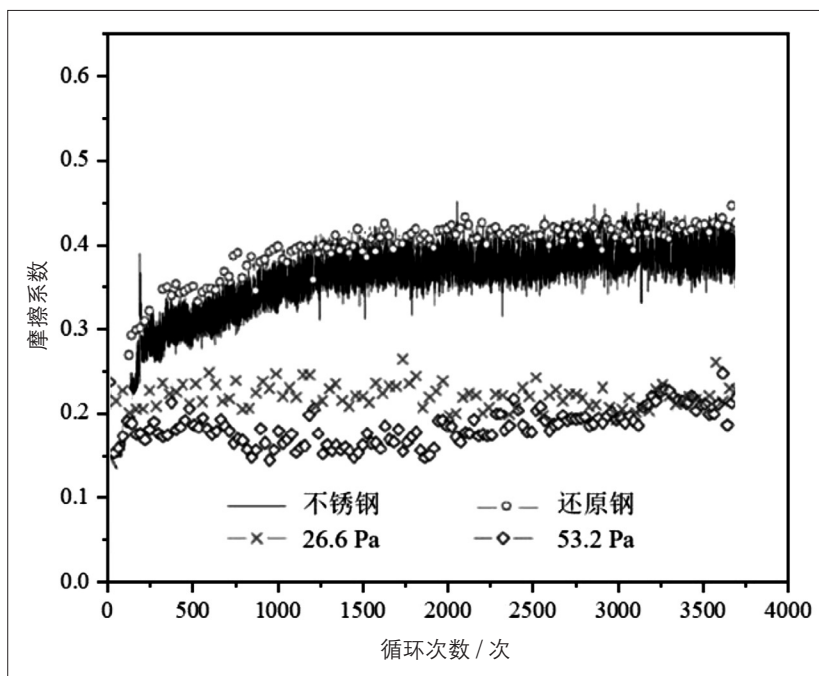


图3 载荷为1N时摩擦系数随循环次数变化的规律

制备了石墨烯不锈钢复合材料 GNS-316L, 并对其机械性能进行了研究。研究表明, 石墨烯不锈钢复合材料硬度为 408HV, 极限拉伸强度为 508MPa。0.05wt.% 的 GNS-316L 可以达到 508MPa, 与 316L 不锈钢相比, 分别提高了 35% 和 23%。复合材料的密度和硬度有所提升, 因此复合材料的摩擦性能也应该得到相应改善。

武汉科技大学的研究者针对石墨烯与不锈钢材料因密度差过大导致团聚现象影响复合材料的性能, 在石墨烯和不锈钢材料中引入了铜颗粒, 并对合成的 Gr-Cu/SS 材料进行了拉伸力学测试。实验结果表明, 新材料的拉伸强度以及屈服强度增加了 2 倍, 可以预测材料的摩擦特性也能得到改善。但是也有研究表明, 铜的加入会降低石墨烯材料的摩擦性能, 因此对于这种 Gr-

Cu/SS 材料的摩擦特性还需经过充分的实验研究得到证实。

3.2 增材制造石墨烯改善不锈钢摩擦性能

增材制造技术是通过多层堆叠的方式来实现材料的成型, 可以很好地克服石墨烯与不锈钢等密度差异较大的问题, 为石墨烯和机械材料的复合提供新途径。Ouyang 等人通过增材制造技术将 316L 不锈钢和石墨烯进行融合, 制备了多层石墨烯复合不锈钢材料。不同石墨烯含量下该材料的摩擦系数随时间的变化关系如图 4 所示。材料的石墨烯含量为 0 时, 摩擦系数在 6min 内迅速增加到 0.71, 然后波动到 0.76。当石墨烯含量为 1% 时, 复合材料的摩擦系数首先增加到约 0.2, 然后急剧上升到 0.67, 但随着时间的推移, 摩擦系数的值随着波动下降到 0.63。当石墨烯的含量为 2% 时, 材料的摩擦系数刚刚增加到 0.2, 然后波动到 0.18。当石墨烯的含量为 3% 时, 材料的摩擦系数起初增加到 0.12, 然后波动下降到 0.1 并保持该值。可以看出石墨烯的添加明显降低了不锈钢材料的摩擦系数。

Ajay Mandal 等采用增材制造技术制备了更大尺寸的石墨烯与不锈钢复合材料, 并在载荷为 6kg、8kg 和 10kg、速度为 1.0 ~ 2.0m/s 的工况下, 研究了石墨烯添加量对复合材料摩擦性能的改变。如图 5 所示, 在不同的石墨烯含量下, COF 随滑动速度的变化趋势大致相同。添加石墨烯后复合材料的摩擦系数明显降低, 且随着石墨烯含量的增加, 材料的摩擦系数逐渐降低。随着滑移速度的增加, 材料的摩擦系数逐渐降低, 在石墨烯含量为 0.2% 时, 随着滑移速

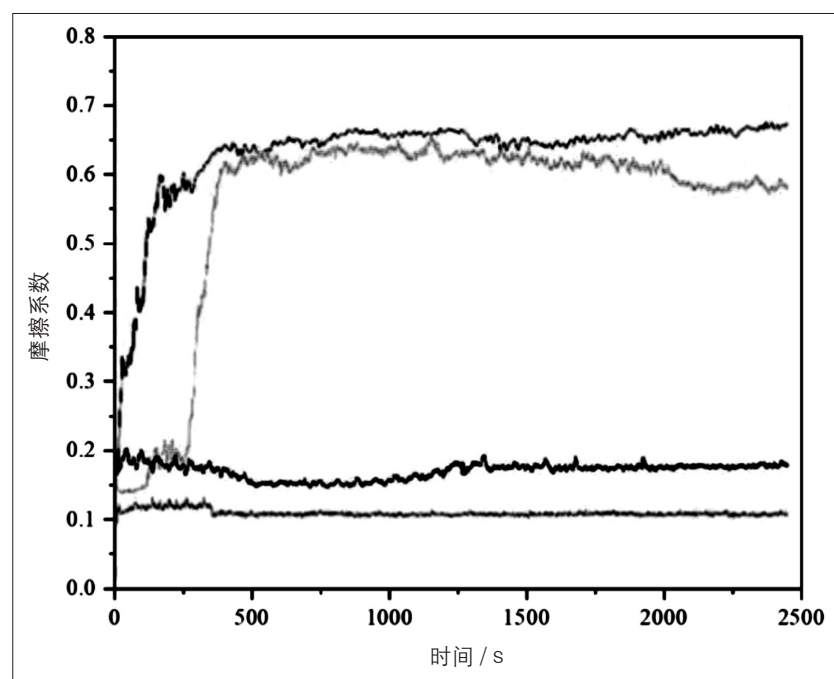


图 4 摩擦系数随时间变化规律

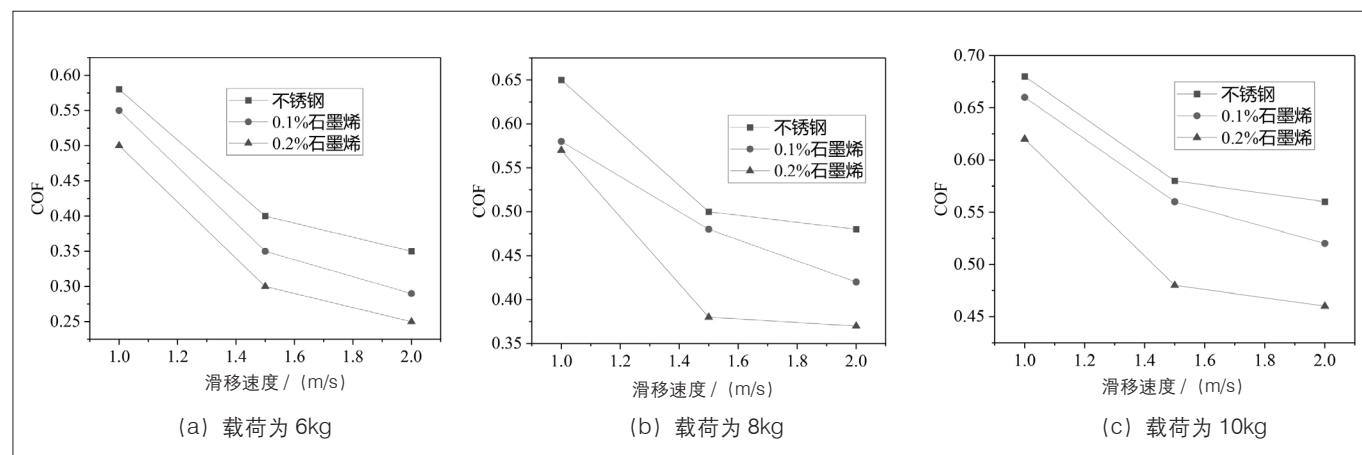


图 5 摩擦系数随滑移速度的变化曲线

度的增加材料的摩擦系数可降低 50% 左右。这是因为速度的增加减少了复合材料的磨损。另外, COF 随着外加载荷的增加而增加, 这是因为载荷的增加加大了材料磨损的速率, 石墨烯层的磨损导致了复合材料摩擦系数的增大。

一些学者对上述复合材料的磨损机理进行了研究, 通过对磨损前后复合材料表面的显微观测和电镜观察, 解释了复合材料能够减小摩擦、降低磨损的机理。不锈钢材料之所以会产生磨损是因为微犁耕效应, 即当材料之间发生摩擦时, 往往会产生摩擦碎屑, 在滑移过程中这些碎屑会加剧机械材料表面的磨损形成深沟。而复合石墨烯后的不锈钢等机械材料, 在磨损发生后, 石墨烯碎片会在初始磨损部分进行填充, 提供了更光滑的表面, 防止犁耕效应的发生, 在一定程度上增加了材料的耐磨性能。

4 结语

石墨烯材料的多种优异特性, 为不锈钢材料的改性提供了新的思路和途径。本研究从机械不锈钢材料的加工和应用两方面着手, 分析了石墨烯对不锈钢材料在摩擦性能改进方面的应用得到如下结论。

(1) 石墨烯材料可以添加到切削液中, 降低不锈钢材料的加工温度, 改善不锈钢材料加工过程, 获得表面性能和摩擦性能更好的机械材料。

(2) 石墨烯可以涂层或者镀膜的形式, 通过异位或者原位的方式添加到机械不锈钢材料中, 增加材料的表面特性, 改善材料的摩擦性能和减少材料的磨损。

(3) 石墨烯可以作为微量材料添加剂, 通过粉末冶金或者增材制造的方式与机械不锈钢材料实现复合, 得到的复合材料不仅表面得到强化, 其材料整体性能得到明显提升, 摩擦系数得到有效改善。

参考文献:

[1] Zeng X, Peng Y, Yu M, et al. Dynamic Sliding Enhancement on the Friction and Adhesion of

Graphene, Graphene Oxide, and Fluorinated Graphene[J]. ACS Applied Materials & Interfaces, 2018, 10(9): 8214-8224.

[2] Kinoshita H, Nishina Y, Alias AA, et al. Tribological properties of monolayer graphene oxide sheets as water-based lubricant additives[J]. Carbon, 2014(66): 720-723.

[3] PAL A, CHATHA S S, SIDHU H S. Experimental investigation on the performance of MQL drilling of AISI 321 stainless steel using nano-graphene enhanced vegetable-oil-based cutting fluid[J]. Tribology international, 2020(151): 893.

[4] BERMAN D, ERDEMIR A, SUMANT A V. Few layer graphene to reduce wear and friction on sliding steel surfaces[J]. Carbon, 2013(54): 454-459.

[5] 张学薇, 邹振兴, 赵沛, 等. 双层石墨烯的化学气相沉积制备研究综述 [J]. 表面技术, 2019, 48(6): 1-19.

[6] ROMANI E C, LARRUDE D G, NACHEZ L, et al. Graphene grown by chemical vapour deposition on steel substrates: Friction behaviour[J]. Tribology letters, 2017, 65(3): 54.

[7] XU Han-qing, ZANG Jian-bing, YUAN Yun-gang, et al. In-situ preparation of graphene coating bonded to stainless steel substrate via Cr-C bonding for excellent anticorrosion and wear resistant[J]. Applied surface science, 2019(492): 199-208.

[8] EN Wei-jia, LI Ang, ZHANG Wei, et al. A facile and cost-effective approach to fabricate in-situ synthesized graphene nanosheet reinforced 316L stainless steel[J]. JOM, 2020, 72(12): 4514-4521.