



### 第22届材料磨损国际会议的简要评述

郭智威 白秀琴 周新聪 袁成清

### Review of Proceedings of 22nd International Conference on Wear of Materials

GUO Zhiwei BAI Xiuqin ZHOU Xincong YUAN Chengqing

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16078/j.tribology.2019072>

### 您可能感兴趣的其他文章

#### Articles you may be interested in

#### 第21届材料磨损国际会议的总结评述

Review of Proceedings of 21st International Conference on Wear of Materials

摩擦学学报. 2017, 37(4): 558 <https://doi.org/10.16078/j.tribology.2017.04.019>

#### 人工髌、膝关节磨损测试标准及模拟试验机研究进展

Review of the Artificial Hip and Knee Wear Testing Standards and Simulation Testing Machines

摩擦学学报. 2019, 39(2): 248 <https://doi.org/10.16078/j.tribology.2018152>

#### 润滑条件下铜锌合金表面粗糙度对磨损率的影响

Effect of Surface Roughness on Wear Rate of Copper-Zinc Alloy under Lubricated Conditions

摩擦学学报. 2017, 37(5): 625 <https://doi.org/10.16078/j.tribology.2017.05.009>

#### 织造中碳纤维束间的摩擦磨损试验模拟

Experimental Simulation of Friction and Wear of Carbon Fibre Tows in the Weaving Process

摩擦学学报. 2019, 39(1): 90 <https://doi.org/10.16078/j.tribology.2018104>

#### 菱形颗粒冲击材料表面冲蚀磨损特性分析

Analysis of Material Surface Erosion Characteristics Due to Rhomboid-Shaped Particle Impact

摩擦学学报. 2020, 40(1): 1 <https://doi.org/10.16078/j.tribology.2019066>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

DOI: 10.16078/j.tribology.2019072

# 第22届材料磨损国际会议的简要评述

郭智威<sup>1,2\*</sup>, 白秀琴<sup>1,2</sup>, 周新聪<sup>1,2</sup>, 袁成清<sup>1,2</sup>

(1. 武汉理工大船舶动力工程技术交通行业重点实验室, 湖北武汉430063;  
2. 国家水运安全工程技术研究中心可靠性工程研究所, 湖北武汉430063)

**摘要:** 本文中对第22届材料磨损国际会议进行了总结与评述, 对大会涉及到的传统磨损、表面技术、聚合物、腐蚀磨损、金属磨损、模型仿真和磨损检测等多个领域的最新进展做出了简要的概括, 对今后摩擦学领域的研究重点进行了展望。

**关键词:** 磨损; 传统磨损; 表面技术; 模型仿真; 磨损检测  
**中图分类号:** TH117.2 **文献标志码:** A

**文章编号:** 1004-0595(2019)06-0786-06

## Review of Proceedings of 22nd International Conference on Wear of Materials

GUO Zhiwei<sup>1,2\*</sup>, BAI Xiuqin<sup>1,2</sup>, ZHOU Xincong<sup>1,2</sup>, YUAN Chengqing<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Marine Power Engineering & Technology (Ministry of Transport), Wuhan University of Technology, Hubei Wuhan 430063, China  
2. Reliability Engineering Institute, National Engineering Research Center for Water Transportation Safety, Hubei Wuhan 430063, China)

**Abstract:** In this paper, the 22nd International Conference on Material Wear was summarized and reviewed. The latest developments in 18 fields, including abrasive wear, lubrication wear, high temperature wear, metal wear, surface coating and composite materials, were briefly summarized. The future research emphasis in the field of tribology was prospected.

**Key words:** wear; traditional wear; surface technology; modeling and simulation; wear test

材料磨损国际会议(The International Conference on Wear of Materials, 简称WOM)是摩擦学领域内的顶级会议之一, 每两年举办1次。本次第22届材料磨损国际会议于2019年4月14日至4月18日在美国迈阿密举行。会议主要以特邀报告, 口头报告以及海报交流三种形式进行, 为来自世界各地从事摩擦学研究的学者们提供了1个交流平台。本次会议共有来自世界各地的近300名学者参与, 与会人员主要来自于美国、中国、英国、巴西、德国、法国、加拿大、印度和澳大利亚等国家。与会机构主要以高校以及研究所为主, 有少

量企业参与这次会议。其中, 参加本次会议的中国学者来自清华大学、武汉理工大学、西南交通大学、西安交通大学、北京科技大学、西北工业大学、上海交通大学、南京航空航天大学、合肥工业大学、香港城市大学、东北大学、河海大学、湖南大学、三峡大学、西南科技大学、西安工业大学、内蒙古工业大学和中国科学院沈阳金属研究所等单位, 共计40余人。

本次会议共分为4个会场, 其中大会主旨报告3个, 大会主旨专题讨论1个, 口头报告152篇以及海报张贴报告117张。涵盖了磨粒磨损、润滑磨损、微动磨

Received 26 April 2019, revised 4 June 2019, accepted 24 June 2019, available online 28 November 2019.

\*Corresponding author. E-mail: zwguo@whut.edu.cn, Tel: +86-13886088463.

The project was supported by the National Natural Science Foundation of China (51509195).

国家自然科学基金项目(51509195)资助。

损、表面织构、表面涂层、腐蚀磨损等多个主题. 152篇口头报告具体分布情况如下: 润滑磨损11篇, 刀具磨损17篇, 腐蚀磨损16篇, 滑动磨损10篇, 表面涂层10篇, 表面织构10篇, 仿真建模5篇, 仿生摩擦学5篇, 摩擦腐蚀6篇, 磨粒磨损9篇, 高温磨损11篇, 三体磨损6篇, 微动磨损6篇, 金属磨损9篇, 发动机零件磨损5篇, 轮轨接触磨损5篇, 磨损试验与监测6篇, 聚合物5篇. 本次会议经过审稿专家推荐以及参会人员投票选出了4张获奖海报(2个三等奖, 1个二等奖以及1个一等奖)以及3篇最佳口头报告(三等奖, 二等奖, 一等奖各1个). 本文中就这次会议所反映的最新进展与最新动态加以简要总结.

## 1 主题报告

本次大会上, 来自美国桑迪亚国家实验室的Chandros<sup>[1]</sup>依据试验和模拟之间的联系开发了用于预测纳米晶金属接触摩擦稳定性的物理模型. 研究证实了材料的耐磨性和其硬度没有必然联系, 同时他展示了该模型的预测性能.

来自挪威科技大学的Espallarga<sup>[2]</sup>详细解释了腐蚀磨损学的概念. 腐蚀磨损学是1个年轻的研究领域, 在过去的20年内因为磨损-腐蚀共同作用的工程系统需求而得到了发展. 腐蚀磨损学主要研究材料在腐蚀性环境下发生摩擦, 由摩擦磨损和腐蚀之间的相互作用引起材料的降解或转变. 在报告中, Espallargas详细介绍了钝性金属材料 and 合金材料在过去、现在的腐蚀磨损研究以及未来可能的发展趋势.

来自法国里昂中央理工大学的Fouvry<sup>[3]</sup>的报告主要介绍了微动磨损在现代工业中的危害性以及微动磨损建模中摩擦能的局限性以及预测作用, 并认为“P-V(载荷-速度)”方法可以预测微动磨损现象的分布.

## 2 专题会场

### 2.1 传统磨损

传统磨损一直是材料磨损领域内的研究重点之一, 其主要包括磨粒磨损、润滑磨损、滑动磨损、腐蚀磨损和微动磨损等.

磨粒磨损是传统的材料磨损研究方向之一, 其与工程实际具有非常紧密的联系. 本届大会关于磨粒磨损的论文共收录了15篇. Lin等<sup>[4]</sup>在砂土环境下研究了激光冲击强化和未经处理的Ti-6Al-4V合金的冲击磨损行为. 分析了不同冲击动能和磨损演变过程中的动态响应、界面响应和磨损机理. 分析结果表明, 在相同

的试验条件下, 激光冲击强化对Ti-6Al-4V合金的力学性能和耐磨性没有显著影响. 当冲击动能相对较低或冲击循环次数相对较小时, 其磨损明显大于原始表面. 当冲击动能相对较高或冲击循环次数相对较大时, 磨痕中心为凹坑, 磨痕边缘高于原始表面. 试验结果还表明, 吸收能量与冲击磨损过程中材料的磨损密切相关, 材料损失越大, 吸收的能量越多. Ali等<sup>[5]</sup>利用实验室球磨机磨损试验, 量化了冲击严重程度对白口铸铁性能的影响. 研究结果表明, 增加冲击强度会增加材料受到的冲击力, 但这种冲击不会影响到研磨后材料的性能, 反而可能会在一定程度上提升材料的性能. 材料的磨损只是一种简单的磨粒磨损的过程, 而与冲击磨损无关, 且材料的磨损程度主要受磨粒的成分影响, 受磨粒尺寸的影响较小.

润滑磨损是许多企业关注的热点问题之一. 本次大会关于润滑磨损的研究论文涵盖了润滑液的改善和润滑机理分析等方面. Del Sol等<sup>[6]</sup>将离子液体作为添加剂加入到水基切削液中, 并通过铝-碳化钨销盘摩擦试验机, 将其与含卤素元素的切削液进行了对比分析. 研究结果表明, 使用加入质量分数为1%不含卤素的离子液体的水基切削液, 可以在降低70%的摩擦系数的同时, 大幅度降低材料的磨损. 与含卤素的切削液相比, 使用离子液体作为切削液试验后在球的表面没有发现明显磨痕, 有效地增加了工具的使用寿命. Huang等<sup>[7]</sup>研究了丁腈橡胶、超高分子量聚乙烯、超高分子量聚乙烯-丁腈橡胶复合材料以及聚合物树脂在水润滑条件下, 水温对于材料摩擦性能的影响. 结果表明: 随着水温在20~80 °C的范围内升高, 丁腈橡胶和复合材料的摩擦系数略有增加, 而超高分子量聚乙烯材料的摩擦行为基本不受水温的影响. 当试验水温超过60 °C时, 聚合物树脂材料的磨损显著增加.

滑动磨损一直是摩擦学研究的热点之一, 本次大会共收录了14篇与滑动磨损有关的论文. Cai等<sup>[8]</sup>研究了退火处理对于铜干摩擦性能的影响. 在800 °C条件下对铜试件进行了24 h的退火处理, 并将原样与退火后的样品进行了销盘试验. 研究结果表明, 载荷对于材料的磨损有着较大的影响. 而退火处理会导致铜的晶粒尺寸增加, 硬度降低, 耐磨性提高. He等<sup>[9]</sup>研究了氮化硅对硅酸盐和磷酸盐玻璃的滑动摩擦行为. 研究结果表明, 氮化硅的磨损性能受环境条件以及对磨材料的影响较大. 当对磨件为硅酸盐玻璃时, 氮化硅材料在干燥条件下主要发生了机械磨损, 在有水条件下发生了摩擦化学磨损. 当对磨件为磷酸盐玻璃时, 氮

化硅材料在各种环境条件下的化学磨损得到了抑制。

微动磨损会对机械构件造成各种不良影响,且微动磨损的机理十分复杂。Kirk等<sup>[10]</sup>对自配合高强度钢摩擦副进行了微动测试。研究表明,微动频率对磨屑的尺寸与成分基本没有影响,对材料表面的损伤有较大影响。在低频率时,材料的磨损层主要由氧化物碎屑构成,并主要分布在大部分未发生变形的马氏体亚结构顶部;在高频率时,材料亚表面的磨损层主要由氧化物碎屑,严重损坏的金属层和发生了塑性变形的马氏体组成。Baydoun等<sup>[11]</sup>通过改变测试时间、接触压力、滑动振幅和频率研究了35NCD16钢合金在不同工作条件下的微动磨损,并通过引入幂律公式,提出了一种考虑所有载荷条件的磨损体积预测模型,对各条件下材料的磨损率做出了有效的预测,测试结果证明了磨损动力学中磨损形式受接触压力的影响较大。

冲蚀是一种在工业中较为常见的腐蚀磨损方式,由于其与实际工程应用联系紧密,冲蚀一直以来得到了较为广泛的关注。在本次会议中,学者从理论仿真到试验多方面对冲蚀进行了研究。Molina等<sup>[12]</sup>介绍了一种将FFT技术应用于尾砂管道输浆过程中典型冲蚀磨损表面图像的处理方法,基于快速傅里叶变换的扫描电镜(SEM)图像分析表明,磨损痕迹的方向性随速度的增加而变化,表明磨损速率与湍流条件之间存在相关性。Gocha等<sup>[13]</sup>采用CFD概述了侵蚀的最佳预测,并进行了直接冲击射流中黏性泥浆侵蚀的试验研究。此外,还利用交叉模型对试验程序中的非牛顿流体进行了建模。结果表明,与牛顿模型相比,该流变模型对侵蚀的预测更符合实际情况。Thiana等<sup>[14]</sup>测量了63处不同流动条件下弯头外径的壁厚磨损,并采用欧拉-拉格朗日方法对湍流和多相流进行了计算流体力学(CFD)仿真。结果表明,随着搅拌速度的增加,最大冲蚀量增大,CFD模拟中使用的欧拉-拉格朗日方法可以预测流体砂和分散气泡砂的最大冲蚀速率、冲蚀位置和冲蚀模式。

磨损腐蚀学主要研究材料在腐蚀性环境下发生摩擦,由摩擦磨损和腐蚀之间的相互作用引起材料的降解或转变。Chen等<sup>[15]</sup>研究了海水中不同的刮擦频率对AL-Mn薄膜的影响。结果表明,材料的总磨损率(包括机械磨损和化学磨损)随着刮擦频率的增加而增加,机械磨损随刮擦频率增加而增加,主要与摩擦系数和实际接触面积的增加有关,而化学磨损随着刮擦频率的增加而增加,是由于在较低频率下材料再钝化速度加快导致的。Ardila等<sup>[16]</sup>探究了不同的表面粗糙

度和磨料夹带方向之间的相对取向对纯微磨蚀和微磨蚀-腐蚀协同过程中微粒动力学的影响。试验结果表明,在纯微磨损条件下表面形貌的影响很小,而在微磨蚀-腐蚀条件下其有着显著的影响。

## 2.2 高温磨损

高温磨损主要是极端工况条件下的摩擦副的磨损形式,涉及方面较广,在本次会议中有涂层的高温磨损行为以及热冲压过程中的高温磨损行为。例如Venkata等<sup>[17]</sup>在25~575℃范围内将Ti6Al4V和Ti6Al4V-TiC采用冷喷涂方式沉积在低碳钢板上,并研究了其干摩擦过程中的摩擦学性能,发现摩擦副磨损率和摩擦系数随温度的升高而降低,复合涂层在所有温度下均表现出较高的耐磨性,并且随着温度的变化,磨损的形式也有所不同。Ghiotti等<sup>[18]</sup>探讨了材料热处理工艺参数对AA7075型冲压件的黏着问题,发现随着温度的升高,摩擦系数呈先减小后增大的趋势,并且随着材料向模具的转移,在最高温度下出现黏着现象。Patrik等<sup>[19]</sup>通过对新开发的高导热工具钢Thermodur 2383与1.236 7工具钢摩擦学性能比较,分析了刀具材料对摩擦磨损的影响,确定了热冲压应用中的基本磨损和摩擦机理。Kazumichi等<sup>[20]</sup>研究了铬含量对高铬铸铁(铬质量分数分别为12%、17%、22%和27%)高温侵蚀磨损特性的影响。结果表明,铬的加入有效提高了试样的硬度,并导致试样侵蚀率逐渐降低。

## 2.3 聚合物材料

聚合物材料因其特有的结构和性能而具有与传统金属材料完全不同的摩擦磨损行为以及机理。本次大会共收录了6篇与聚合物相关的论文。Wu等<sup>[21]</sup>通过在聚氨酯基体中混入一定量聚乙烯蜡得到了一种新型聚氨酯复合材料,通过使用CBZ-1摩擦磨损试验机测试了聚氨酯和复合材料的磨损性能。研究表明在基体中添加适量聚乙烯蜡可以有效提升材料在水润滑低速条件下的耐磨性能。Mao等<sup>[22]</sup>研究了玻璃纤维增强的聚甲醛材料作为齿轮副时的磨损性能。通过使用聚合物齿轮试验台,对比分析了聚甲醛以及玻璃纤维增强的聚甲醛材料的磨损性能。研究表明,玻璃纤维增强的聚甲醛齿轮的磨损性能得到了显著的提升,与普通的聚甲醛相比,其承载能力约提升了50%。

## 2.4 表面技术

在本次会议中,大部分关于表面纹理和涂层技术的研究集中在不同形式表面改性技术对摩擦副的性能影响。例如Lorenzo等<sup>[23]</sup>采用低振幅的球面往复运动平台对热处理后的无涂层氧化锆和氧化铝涂层氧化

锆的微动磨损性能进行了研究,结果表明,沉积的氧化铝涂层对摩擦副微动磨损性能有一定的改善作用. Huynh等<sup>[24]</sup>对玻璃搪瓷涂层的摩擦学和力学性能进行了试验研究,并且在铬钢、氧化锆和氮化硅配副的作用下,研究了涂层的摩擦学差异. 试验结果表明:在氧化硅配副干摩擦的条件下,富钛搪瓷涂层的摩擦副摩擦系数小于铬钢球,而氧化锆球磨损严重. 对于表面纹理技术改善摩擦副性能的研究也有不少,例如 Salguero等<sup>[25]</sup>通过改变脉冲的能量密度和激光的扫描速度,制备了多种纹理类型,并研究了激光表面纹理结构对钛合金Ti6Al4V摩擦学行为的影响,结果表明,激光参数对摩擦副表面的摩擦学性能有很大的影响,与传统的无纹理结构进行相比可以减少高达62%的摩擦系数以及两个数量级的磨损量. Rao等<sup>[26]</sup>对机械加工的螺纹槽纹理结构对缸套-活塞环的性能进行了研究,发现螺纹槽纹理结构不仅能够有效改善缸套-活塞环的摩擦学性能,而且还有利于提升摩擦副的密封性能.

Gowtham等<sup>[27]</sup>采用合适的增塑剂对聚氨酯弹性体涂层的交联密度和刚度进行了改性,并研究了增塑剂对涂层的耐磨性和冰吸附力的影响,发现添加质量分数为20%~30%的增塑剂能够有效改善涂层冰吸附力和耐磨性. Varinder等<sup>[28]</sup>将质量分数5%的TiO<sub>2</sub>原料粉与80Ni-15Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和80Ni-15Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>涂层粉混合,并采用超音速火焰喷涂(HVOF)技术在管道材料上沉积涂层,结果表明,冲蚀磨损对固体颗粒的转速、时间和性质有较大的依赖性,添加质量分数5%的二氧化钛(TiO<sub>2</sub>)原料粉后,还可以显著提高材料的耐蚀磨损性能.

## 2.5 金属磨损

金属及金属基复合材料的摩擦磨损性能依旧是研究的重点之一. 本次会议中,有3个会场讨论与金属材料磨损相关的议题,涵盖了金属及金属基复合材料,金属材料的摩擦腐蚀,加工工具材料的磨损. Piasecki等<sup>[29]</sup>使用激光合金化技术在镍基600合金上制备自润滑硼化物层. 首先将含有无定形硼和氟化钙CaF<sub>2</sub>的糊剂涂覆在基底材料的表面作为自润滑添加剂,之后使用激光束重新熔化材料表面. 含有固体润滑剂再熔融区的显微硬度低于仅含硼的激光合金层的显微硬度,同时具有更高的耐磨性. 在硼和CaF<sub>2</sub>的激光合金层的磨损表面上观察到摩擦膜. 摩擦膜的存在减少了对摩擦副之间的磨损. Redmore等<sup>[30]</sup>开发了一种基于整体热处理技术和表面陶瓷转化相结合的新

型表面加工工艺. 在无润滑和油润滑两种条件下采用WC和硬化钢球进行销盘往复滑动磨损试验. 试验结果表明,表面处理可使LCB合金的耐磨性提高4~16倍,对于未处理的材料,其摩擦系数从1.0降低至0.8,对于经过处理过的样品,其摩擦系数降低到0.2~0.4附近. León-Patiño等<sup>[31]</sup>研究了Ni/TiC复合材料的干滑动磨损行为. 通过液体渗透技术制备增强材料体积分数为60%的复合材料,所得到的复合材料具有连续的基底材料和均匀分布的增强材料. 在销-环装置上研究M2硬质钢与复合材料的摩擦磨损行为. 随着滑动距离和施加载荷的增加,复合材料的磨损率上升. 这是因为在高速条件下,对摩擦端面之间的温度升高,对于复合材料,其表面容易生成NiO这样的黏着氧化物和TiO<sub>2</sub>这样的固体润滑剂. 而对于M2硬质钢,其表面可能形成FeO和Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. 在高载荷和低速度工况下,大量材料朝着磨痕的边缘转移,这表明黏着磨损是主要的磨损机理. 暴露在复合材料表面上的TiC颗粒降低了对基质的压力,因此降低了复合材料的磨损率.

## 2.6 建模、仿真

磨损的建模与模拟是材料磨损研究中的重要环节,通过模型的建立,能够方便地分析和预测摩擦行为,探究磨损机理. 本次会议中,有两个会场讨论与仿真相关的议题. Feng等<sup>[32]</sup>提出了1套基于振动分析的齿轮磨损预测模型. 将滑动速度和接触力与Archard磨损模型结合使用,以计算网格中每个接触点的磨损深度,之后将磨损的齿轮齿廓作为新的几何传动误差反馈到动态模型中,新的几何传动误差是磨损的齿轮轮廓与理想渐开线的偏差,然后从模型获得新的振动响应和齿接触力,并且重复该过程以产生不同严重程度的真实齿轮磨损轮廓. 通过不断更新的动态磨损模型,可以很好地监控齿轮磨损过程. Waddad等<sup>[33]</sup>提出了一种多尺度的摩擦学系统热力学模拟的理论. 这个理论主要在接触界面现象的尺度下对系统组件进行建模,使用快速傅里叶变换和优化技术作为分析方法,将温度与Archard定律结合使用,得到模型的磨损率. 这个理论是瞬态的,表面形貌会随着磨损和机械热力学的影响而变化.

## 2.7 磨损检测

Gonzalez-Arias等<sup>[34]</sup>研究了一种能够预测磨损表面磨损状态的计算策略,从经过磨损试验的铸铁样品磨损表面提取图像数据,根据磨损率,将图像分为两类“严重磨损”和“温和磨损”. 将磨损表面的表面特征使用密集的定向梯度直方图(HOG)描述符进行编码,

从而得到材料表面磨损程度的学习模型. 使用高斯朴素贝叶斯、决策树和随机森林作为分类器模型, 使用k-折交叉验证法来识别“严重磨损”和“温和磨损”的图像. 结果表明, HOG计算和分类器模型对磨损表面图像的定性表征能够很好地预测材料表面的磨损状态, 其准确度超过了80%. Cao等<sup>[35]</sup>提出了1套磨损碎片图像分析方法和磨损状态识别算法, 主要应用于油液在线磨损监测. 开发磨损碎片图像处理算法增强了磨屑图像与其背景之间的对比度, 通过对监测图像进行重建和噪声去除, 便获得更准确的监测信息. 结果表明, 磨损碎片图像分析方法和磨损状态识别算法准确, 能够快速识别行星齿轮箱的健康状况, 健康状态识别数据与齿轮箱检测结果一致.

### 3 结论

材料摩擦磨损的现象极为复杂, 且影响因素很大, 同时摩擦学又涉及到材料学、物理学等多门学科的交叉融合, 具有很强的综合性以及较高的复杂性. 多年来, 不断有学者投入研究摩擦学, 摩擦学研究也不断取得进展. 本文作者对本次大会关于材料摩擦磨损研究的最新进展进行了简要的总结与概述. 在此基础上, 我们认为以下几个方面将成为材料摩擦磨损学科的研究热点:

a. 传统摩擦学研究方面, 相关研究应不局限于试验现象的重现与试验规律的总结, 更需深入微观层面, 详细地分析现象形成的机理.

b. 复合材料方面, 应在加强新材研发的同时, 探索添加剂作用的机理与规律.

c. 表面技术方面, 目前表面改性技术在宏观程度上已经得到了较好的发展, 在未来该技术应该会朝着微观发展.

d. 在金属材料的研究方面, 在未来将着重于两个方面的研究: 一方面是复合构型的设计, 特别是通过调控增强体的空间分布实现强韧化; 另一方面是通过结构功能一体化、多功能化设计实现金属材料的高性能化.

e. 摩擦学仿真建模研究可以有效降低试验的代价, 并对实际试验具有良好的指导作用. 因此摩擦学仿真建模在未来一段时间内仍会是研究的热点之一.

f. 磨损检测在未来可借助多传感器融合技术、模糊逻辑和自组织神经网络相结合的手段获取磨损信号, 基于统计学原理的相关算法, 建立自动化程度高、抗干扰性强的通用材料磨损检测系统.

### 参考文献

- [1] Chandross M. Materials by Design: Using atomistic mechanisms to create wear-resistant alloys[C]. In Proceedings of 22nd International Conference on Wear of Materials, Miami, USA, 2019.
- [2] Espallargas N. What is actually tribocorrosion[C]. In Proceedings of 22nd International Conference on Wear of Materials, Miami, USA, 2019.
- [3] Fouvry S. Modelling of fretting wear: Limits and perspectives of the friction energy concept[C]. In Proceedings of 22nd International Conference on Wear of Materials, Miami, USA, 2019.
- [4] Lin Y, Cai Z B, Li Z Y, et al. Study on the abrasive wear behavior of laser shock peening Ti-6Al-4V titanium alloy under controlled cycling impact[C]. In Proceedings of 22nd International Conference on Wear of Materials, Miami, USA, 2019.
- [5] Ali Y, Garcia-Mendoza C D, Gates J D. Effects of ‘impact’ and abrasive particle size on the performance of white cast irons relative to low-alloy steels in laboratory ball mills[C]. In Proceedings of 22nd International Conference on Wear of Materials, Miami, USA, 2019.
- [6] Del Sol I, Gámez A J, River A, et al. Tribological performance of ionic liquids as additives of water-based cutting fluids[C]. In Proceedings of 22nd International Conference on Wear of Materials, Miami, USA, 2019.
- [7] Huang J, Zhou X C, Wang J, et al. Influence of temperature on friction of polymeric materials in water[C]. In Proceedings of 22nd International Conference on Wear of Materials, Miami, USA, 2019.
- [8] Cai W J, Bellon P. Effect of annealing treatment on the dry sliding wear behavior of copper[C]. In Proceedings of 22nd International Conference on Wear of Materials, Miami, USA, 2019.
- [9] He H T, Xiao T J, Qiao Q, et al. Tribochemical wear of silicon nitride against silicate and phosphate glasses[C]. In Proceedings of 22nd International Conference on Wear of Materials, Miami, USA, 2019.
- [10] Kirk A M, Shipway P H, Sun W, et al. The effect of frequency on both the debris and the development of the tribologically transformed structure during fretting wear of a high strength steel[C]. In Proceedings of 22nd International Conference on Wear of Materials, Miami, USA, 2019.
- [11] Baydoun S, Fouvry S, Descartes S, et al. Fretting wear rate evolution of a flat-on-flat low alloyed steel contact: A weighted friction energy formulation[C]. In Proceedings of 22nd International Conference on Wear of Materials, Miami, USA, 2019.
- [12] Molina N, Aguirre J, Walczak M. Application of FFT analysis for the study of directionality of wear scars in exposure to slurry flow of varying velocity[C]. In Proceedings of 22nd International Conference on Wear of Materials, Miami, USA, 2019.
- [13] Gocha G, Siamack A. A combined CFD-experimental study of erosion wear life prediction for non-Newtonian viscous slurries[C].

- In Proceedings of 22nd International Conference on Wear of Materials, Miami, USA, 2019.
- [14] Thiana A, Siamack A, Yeshwanth R. Experiments and CFD simulations of erosion of a 90° elbow in liquid-dominated liquid-solid and dispersed-bubble-solid flows[C]. In Proceedings of 22nd International Conference on Wear of Materials, Miami, USA, 2019.
- [15] Chen J, Cai W J. Effect of scratching frequency on the tribocorrosion resistance of Al-Mn amorphous thin films [C]. In Proceedings of 22nd International Conference on Wear of Materials, Miami, USA, 2019.
- [16] Ardila M A N, Labiapari W S, Costa H L, et al. Influence of stainless steel specimen topography on micro-abrasion and micro-abrasion-corrosion[C]. In Proceedings of 22nd International Conference on Wear of Materials, Miami, USA, 2019.
- [17] Venkata N, Tyler B, Thomas W, et al. High temperature friction and wear behavior of cold-sprayed Ti6Al4V and Ti6Al4V-TiC composite coatings[C]. In Proceedings of 22nd International Conference on Wear of Materials, Miami, USA, 2019.
- [18] Ghiotti A, Simonetto E, Bruschi S. Influence of process parameters on tribological behavior of AA7075 in hot stamping[C]. In Proceedings of 22nd International Conference on Wear of Materials, Miami, USA, 2019.
- [19] Patrik S, Philipp N, Marion M. Investigation on basic friction and wear mechanisms within hot stamping considering the influence of tool steel and hardness[C]. In Proceedings of 22nd International Conference on Wear of Materials, Miami, USA, 2019.
- [20] Kazumichi S, Riki H, Kenta K, et al. Microstructural evaluation and high-temperature erosion characteristics of high chromium cast irons[C]. In Proceedings of 22nd International Conference on Wear of Materials, Miami, USA, 2019.
- [21] Wu Z M, Guo Z W, Yuan C Q. Influence of polyethylene wax on wear resistance for polyurethane composite material under low speed water-lubricated conditions[C]. In Proceedings of 22nd International Conference on Wear of Materials, Miami, USA, 2019.
- [22] Mao K, Greenwood D, Ramakrishnan R, et al. The wear resistance improvement of fibre reinforced polymer composite gears[C]. In Proceedings of 22nd International Conference on Wear of Materials, Miami, USA, 2019.
- [23] Lorenzo M, Ajayi O, Hartman K, et al. Effect of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coating on fretting wear performance of Zr alloy[C]. In Proceedings of 22nd International Conference on Wear of Materials, Miami, USA, 2019.
- [24] Huynh N, Wan S H, Kiet A, et al. Tribological behavior of enamel coatings[C]. In Proceedings of 22nd International Conference on Wear of Materials, Miami, USA, 2019.
- [25] Salguero J, Del Sol I, Vazquez J, et al. Effect of laser parameters on the tribological behavior of Ti6Al4V titanium microtextures under lubricated conditions[C]. In Proceedings of 22nd International Conference on Wear of Materials, Miami, USA, 2019.
- [26] Rao X, Sheng C X, Guo Z W, et al. Effects of thread groove width in cylinder liner surface on performances of diesel engine[C]. In Proceedings of 22nd International Conference on Wear of Materials, Miami, USA, 2019.
- [27] Gowtham S, Jocelyn J, Halil C, et al. Effect of plasticizer on the wear behavior and ice adhesion of elastomeric coatings[C]. In Proceedings of 22nd International Conference on Wear of Materials, Miami, USA, 2019.
- [28] Varinder S, Satish K, Dwarikanath R. Synergistic effect of the addition of TiO<sub>2</sub> feedstock on solid particle erosion of Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Ni/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coatings[C]. In Proceedings of 22nd International Conference on Wear of Materials, Miami, USA, 2019.
- [29] Piasecki A, Kotkowiak M, Makuch N, et al. Wear behavior of self-lubricating boride layers produced on Inconel 600-alloy by laser alloying[C]. In Proceedings of 22nd International Conference on Wear of Materials, Miami, USA, 2019.
- [30] Redmore E, Li X Y, Dong H S. Tribological performance of surface engineered low-cost beta titanium alloy[C]. In Proceedings of 22nd International Conference on Wear of Materials, Miami, USA, 2019.
- [31] León-Patiño C A, Braulio-Sánchez M, Aguilar-Reyes E A, et al. Dry sliding wear behavior of infiltrated particulate reinforced Ni/TiC composites[C]. In Proceedings of 22nd International Conference on Wear of Materials, Miami, USA, 2019.
- [32] Feng K, Borghesani P, Smith W A, et al. Vibration-based updating of wear prediction for spur gears[C]. In Proceedings of 22nd International Conference on Wear of Materials, Miami, USA, 2019.
- [33] Waddad Y, Magnier V, Dufrénoy P, et al. Multiscale thermomechanical modeling of frictional contact problems considering wear—Application to a pin-on-disc system[C]. In Proceedings of 22nd International Conference on Wear of Materials, Miami, USA, 2019.
- [34] Gonzalez-Arias C, Viafara C C, Coronado J J, et al. Automatic classification of severe and mild wear in worn surface images using histograms of oriented gradients as descriptor[C]. In Proceedings of 22nd International Conference on Wear of Materials, Miami, USA, 2019.
- [35] Cao W, Zhang H, Wang N, et al. The gearbox wears state monitoring and evaluation based on on-line wear debris features[C]. In Proceedings of 22nd International Conference on Wear of Materials, Miami, USA, 2019.