

微/纳米复合涂层的抗冲蚀磨损性能

Erosion Resistance of Micro/Nano Composite Coating

庞佑霞¹, 许 焰¹, 张 昊¹, 唐 勇¹, 刘厚才²

(1 长沙学院 先进设计与制造技术研究所, 长沙 410022;

2 湖南省机械设备健康维护重点实验室, 湖南 湘潭 411201)

PANG You-xia¹, XU Yan¹, ZHANG Hao¹, TANG Yong¹, LIU Hou-cai²

(1 Advanced Design and Manufacturing Technology Research Institute,

Changsha University, Changsha 410022, China;

2 Hunan Key Laboratory of Mechanical Equipment Health Maintenance,

Xiangtan 411201, Hunan, China)

摘要: 为了修复在冲蚀磨损环境下流体机械的过流部件, 在分析过流部件冲蚀磨损机理的基础上, 优选微/纳米颗粒填料对有机复合弹性涂层的黏性底层和抗冲蚀橡胶层进行优化设计, 模拟现场工况利用转盘式磨损实验装置对涂覆该涂层的试件以及另外四种不同表面处理方法的试件进行耐冲蚀磨损性能实验, 并采用失重法和扫描电镜(SEM)对冲蚀磨损结果进行了分析和对比。结果表明: 经过 35h 的冲蚀磨损后, 所研究的五种不同表面处理方法处理后的试件在冲蚀磨损过程中的质量变化规律相同, 微/纳米复合涂层具有最佳的耐冲蚀磨损性能, 基本没有失重, 而用胎体粉涂覆的试件耐冲蚀磨损性能最差, 说明该涂层能有效修复过流部件并提高过流部件的抗冲蚀磨损能力。

关键词: 摩擦磨损; 复合涂层; 微/纳米; 冲蚀磨损

doi: 10.3969/j.issn.1001-4381.2013.09.012

中图分类号: TB332 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4381(2013)09-0060-04

Abstract: In order to repair the flow parts of the fluid machinery under erosive wear environment, based on the basis of the erosive wear mechanism, the viscous sub-layer and anti-erosion coating of organic compound elastomeric coating were optimized by selecting micro/nano particles. Erosion resistance test was carried out with the coating of the specimen, as well as four different surface treatment methods by using rotary abrasion test device coated in simulated working conditions. Erosion wear results were analyzed and compared by using mass loss method and SEM. The results show that after 35h erosion wear test, the specimen mass of five different surface treatment methods in the process of erosion wear has the similar variation, the micro/nano composite coating has the best erosion resistance, basically no mass loss. The erosion resistance of matrix powder coated specimens is the worst. The coating can effectively repair the parts of the over-current and improve the flow components erosion resistance.

Key words: friction and wear; composite coating; micro/nano; erosion

流体机械过流部件的严重磨损, 使得流体机械效率降低, 机组事故率上升, 检修设备费用增加, 已成为当前生产厂家和使用单位亟待解决的重大问题之一。由于流体机械加工复杂、周期长、价格高, 不可能频繁更换过流部件, 所以采用涂层有效地保护和修复流体机械过流部件磨蚀区具有重要的意义^[1]。

非金属的胶黏涂层修复保护过流磨蚀区的研究开始于 20 世纪 80 年代初, 国内外的研究表明^[2-9]: 目前广泛研究的环氧硬涂层材料和橡胶软涂层材料虽具有一定的抗磨损性能, 但由于制备工艺不够完善, 普

遍存在涂层与金属母材的黏结力较差这一缺陷, 容易被水流冲毁, 抗硬物冲击能力较差, 容易被撕裂、脱落。在调整环氧树脂、合成橡胶和微/纳米填充剂等各组分的基础上, 利用新的固化剂、填料、增韧剂、偶联剂对原有有机复合弹性涂层的黏性底层和抗冲蚀橡胶层配方进行改进, 对于研究微/纳米复合涂层的抗冲蚀磨损性能具有重要的实用意义。本工作制备的微/纳米复合涂层采用多层复合结构, 保证涂层与基体之间、层与层之间结合强度, 使抗冲蚀磨损效果得到了提高; 并且采用辅助表面层, 可直接通电加热使涂层固化, 本涂层的特

色在于涂层涂覆施工时操作方便,能方便地实现现场施工,尤其对于大型部件的修复更加有利,延长过流部件的使用寿命。

1 微/纳米复合涂层抗冲蚀磨损实验研究

1.1 涂层的组成

微/纳米复合涂层由以下四个部分组成:黏结底层、过渡层、抗磨损橡胶层以及辅助电热层,利用微/纳米颗粒填料对黏性底层和抗磨损橡胶层进行优化设计后,其结构如图 1 所示。

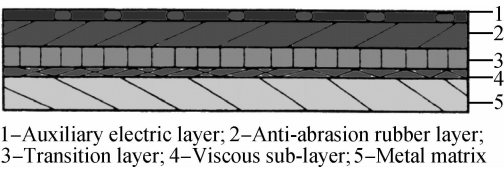


图 1 微/纳米复合涂层结构示意图

Fig. 1 Diagram of micro/nano composite coating structure

1.2 涂层的抗冲蚀磨损性能对比测试

1.2.1 实验材料

为研究微/纳米复合涂层抗冲蚀磨损性能,选用 45 钢作为基体材料,涂覆该涂层,其中各层在配方后分层涂刷,层与层之间涂敷时间间隔以前层黏手、但不带起胶液再涂后层为好,然后对辅助电热层通电以提高温度并对已涂覆好的各层进行固化。同时为了进行对比,选用其他四种表面处理方法对 45 钢表面进行处理,试件编号、处理方法以及性能如表 1 所示。

表 1 五种不同表面处理方法及处理后试件性能

Table 1 Five different surface treatment methods and specimen performance

No	Surface treatment material	HRC	Density/(g · cm ⁻³)
1	Surfacing WC tubular electrode	63-66	12.69
2	Matrix powder	33-35	12.74
3	Carburizing and quenching	30-33	7.87
4	Micro/nano composite coating	—	1.13
5	Plating	23-28	8.85

1.2.2 实验设备与实验参数

微/纳米复合涂层抗冲蚀磨损实验在转盘式磨损实验装置^[10]上进行,其实验参数如下:1)含沙量为 0.3%(质量分数),沙粒直径为 0.2mm<d<0.3mm,冲蚀速率为 30m/s,冲蚀角度为 30°;2)电动机转速为 1654r/min;3)流量为 1.526m³/h。

1.2.3 测量方法及仪器

冲蚀磨损时间为 35h,每 5h 进行一次试样观察和称重,冲蚀磨损 35h 后进行微观表面观察和分析。

称重仪器:AB304-S 电子秤,精度 0.1mg。

扫描电子显微镜:KYKY-2800。

2 结果与讨论

2.1 采用失重法分析抗冲蚀磨损性能

不同表面处理后的试件经过 35h 冲蚀实验后,冲蚀时间与单位面积失重量曲线如图 2 所示。

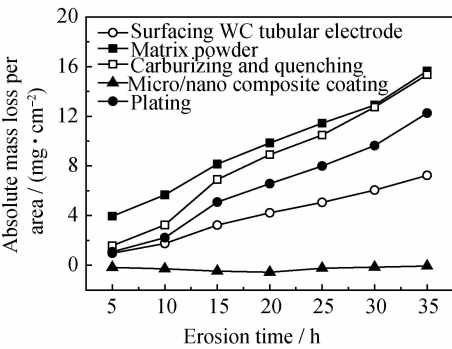


图 2 不同试件经 35h 冲蚀后时间与单位面积失重量关系

Fig. 2 The relationship of erosion time and mass loss in different specimens during 35h

从图 2 可以看出:除微/纳米复合材料试样外,其他试样的失重量都是随着冲蚀磨损时间的延长而增加,冲蚀过程中所有试件的质量变化规律基本相同,分为跑合期、磨损期和稳定期三个过程。

在冲蚀 10h 之前,失重曲线一般在冲蚀的跑合期中,因为新试件的摩擦表面具有一定的粗糙度,实际接触面积小,在一定的冲击载荷下,表面逐渐磨平,实际接触面积逐渐增大,磨损速率逐渐减缓,处于跑合阶段,材料失重率较大。在冲蚀 10h 以后,试样进入磨损期,材料的冲蚀失重率较大,这是由于表面处理工艺导致表面处理材料与基体的结合强度低所致。在冲蚀 15h 以后,试样进入了稳定磨损期,材料的磨损率比较稳定,但刷镀试样从 30h 开始进入了严重磨损期,磨损率急剧增加。

微/纳米复合材料试样的磨损曲线在冲蚀前 20h 内质量是随着时间延长而增大,这可能是高分子材料在冲蚀力与瞬时高温的作用下,与水发生了化学反应产生结晶所致,具体原因有待于进一步的实验检测与分析;该试样的磨损曲线在冲蚀 20h 以后质量是随着时间的延长而减小,这是由于试样表面产生了冲蚀坑和微裂纹,涂层材料局部脱落引起的,但磨损量较小,

说明微/纳米复合材料抗冲蚀性能好。

综上所述,微/纳米复合材料试样的抗冲蚀磨损性能最好,堆焊 WC 管状焊条试样与刷镀试样次之,而渗碳、淬火和胎体粉试样的抗冲蚀磨损性能最差。

2.2 试件表面形貌分析

不同表面处理方法试件在冲蚀磨损 35h 后其表面的 SEM 形貌如图 3~7 所示。

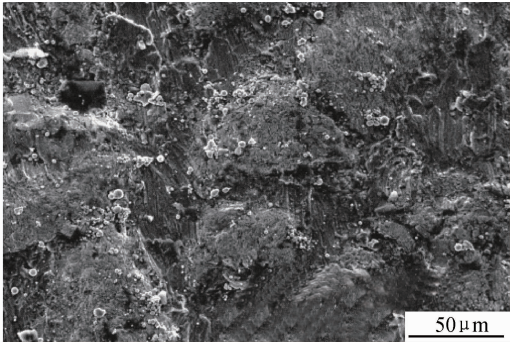


图 3 堆焊 WC 管状焊条试样冲蚀磨损 35h 后的 SEM 形貌
Fig. 3 The SEM morphology of surfacing WC tubular electrode specimen after 35h erosion

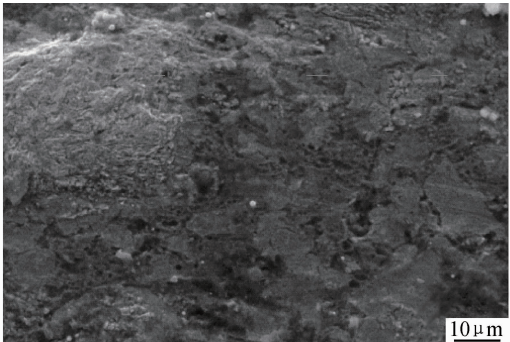


图 4 胎体粉试样冲蚀磨损 35h 后的 SEM 形貌
Fig. 4 The SEM morphology of matrix powder specimen after 35h erosion

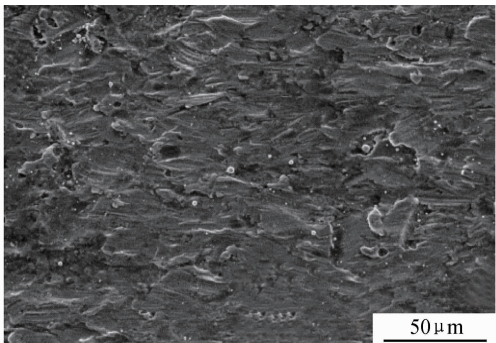


图 5 渗碳、淬火试样冲蚀磨损 35h 后的 SEM 形貌
Fig. 5 The SEM morphology of carburizing and quenching specimen after 35h erosion

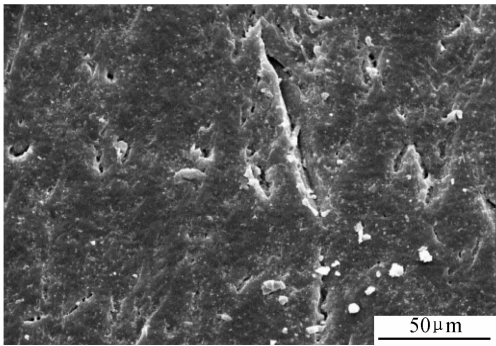


图 6 微/纳米复合涂层试件冲蚀磨损 35h 后的 SEM 形貌
Fig. 6 The SEM morphology of micro/nano composite coating specimen after 35h erosion

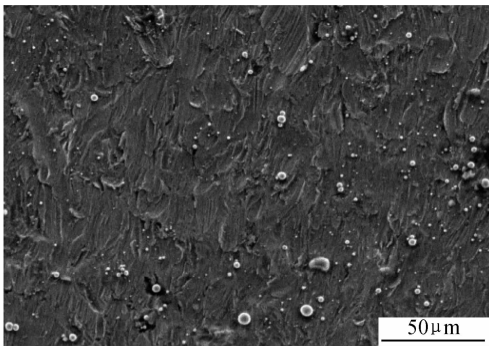


图 7 刷镀试件冲蚀磨损 35h 后的 SEM 形貌
Fig. 7 The SEM morphology of plating specimen after 35h erosion

从图 3 可以看出,堆焊 WC 管状焊条试样表面为圆形 WC 层,磨损主要表现为 WC 颗粒被含沙水流冲掉,形成许多块状的 WC 层,但是由于 WC 层较厚,基本还没磨到基材。

从图 4 可以看出,胎体粉试样表层主要为疲劳磨损,胎体粉出现了大面积的剥落,露出金属基材,因此 35h 后的磨损主要是金属基材的磨损。

从图 5 可以看出,渗碳、淬火试样表面划痕沟槽较深。这是因为在磨粒的反复冲击挤压下,材料表面产生塑性变形,并经多次的碾压而形成片状变形层,在层的边缘开裂、翻边,形成凹坑及凸起的唇片,继而裂纹扩展连接形成磨屑,磨损严重。

从图 6 可以看出,微/纳米复合材料试件涂层表面出现了沿冲蚀方向的犁沟,但磨损并不严重,图 6 中白色颗粒为磨损掉落的涂层颗粒,但其表面的裂纹不是磨损所致,可能是涂层各层之间结合不紧密形成的。在冲蚀磨损工况下,磨粒对复合涂层的破坏主要是由冲击作用造成的。当基体内蓄积的弹性变形能量达到一定程度时,若产生的应力超过了材料的断裂极限,就会发生切削;若产生的应力超过了材料的塑性极限而低于材料的断裂极限,则会形成裂纹进而导致材料破

坏^[11]。微/纳米复合涂层之所以能有效抗冲蚀磨损,其主要原因是微/纳米抗磨蚀橡胶层中的聚氨酯弹性体能有效缓冲冲击作用。另外,研究结果表明,在聚氨酯弹性体中加入微/纳米颗粒后形成了较强的键合作用,能有效传递应力和吸收冲击能^[12,13]。

从图7可以看出,在磨粒的冲击和微切削作用下,刷镀层产生了与冲蚀方向一致的短程犁沟,呈现出波浪似的折皱,其中伴有微坑。其冲蚀磨损机理主要为犁沟切削,但磨损比较严重。

3 结论

(1)根据流体机械过流部件的抗冲蚀磨损机理,优选微/纳米填料对有机复合弹性涂层的黏性底层和抗冲蚀橡胶层进行优化设计,提高了该涂层抗冲蚀磨损性能。

(2)通过与其他表面处理方法试件进行35h的冲蚀对比实验,采用失重法得到冲蚀过程的质量变化规律,结果表明微/纳米复合材料试样的抗冲蚀磨损性能最佳,堆焊WC管状焊条试样与刷镀试样次之,而渗碳、淬火和胎体粉试样的抗冲蚀磨损性能最差。

(3)通过扫描电镜结果发现,微/纳米抗磨蚀橡胶层中的聚氨酯弹性体能有效缓冲磨粒的冲击作用,因此耐冲蚀磨损性能最好,而其他几种表面处理方法的磨损均比较严重。

参考文献

- [1] 李赫亮,刘敬福,张伟强. 环氧胶粘纳米涂层冲蚀磨损性能研究[J]. 中国胶粘剂, 2006, 15(5): 25-27.
LI H L, LIU J F, ZHANG W Q. Study on erosion resistant nano epoxy adhesive coating[J]. China Adhesives, 2006, 15(5): 25-27.
- [2] ANTONOV M, HUSSAINOVA I, SERGEJEV F, et al. Assessment of gradient and nano gradient PVD coatings behaviour under erosive, abrasive and impact wear conditions[J]. Wear, 2009, 267(5-8): 898-906.
- [3] BOLELLI G, CANNILLO V, LUSVARGHI L, et al. Wear behaviour of thermally sprayed ceramic oxide coatings[J]. Wear, 2006, 261(11-12): 1298-1315.
- [4] JOHNSTON R E, EVANS W J. Freestanding abradable coating manufacture and tensile test development[J]. Surface & Coatings Technology, 2007, 202(4-7): 725-729.
- [5] PAUL G C, JOHN C S. Dimensionless correlation for sand erosion of families of polymers[J]. Wear, 2007, 262(3-4): 316-319.
- [6] 何莉萍,张微,唐绍裘. 胶粘耐磨涂层的制备与抗冲蚀磨损性能研究[J]. 涂料工业, 2005, 35(2): 22-25.
HE L P, ZHANG W, JANG S Q. Study on preparation of adhesive abrasion resistant coatings and its washout resistance[J]. Paint & Coatings Industry, 2005, 35(2): 22-25.
- [7] 马海华,李志章,袁训. 耐磨复合材料涂料研究与发展[J]. 材料科学与工程, 1995, 13(2): 34-37.
MA H H, LI Z Z, YUAN X. Research and development of abrasion-resistant composite coatings[J]. Materials Science and Engineering, 1995, 13(2): 34-37.
- [8] 张微,龙军峰. 水力机械胶粘耐磨涂层的制备及性能研究[J]. 材料保护, 2004, 37(6): 46-47, 56.
ZHANG W, LONG J F. Preparation and properties of wear resistant bonding coatings for hydraulic engines[J]. Materials Protection, 2004, 37(6): 46-47, 56.
- [9] 胡少坤,于晶,邓春华. 纳米填料/液体橡胶/环氧树脂复合涂层剪切及冲蚀性能研究[J]. 粘接, 2009, 29(3): 46-48.
HU S K, YU J, DENG C H. Study on erosion abrasion behavior and shear resistance of nano filler modified liquid rubber/epoxy resin composite coating layer[J]. Adhesion in China, 2009, 29(3): 46-48.
- [10] 庞佑霞,刘厚才,郭源君. 有机复合弹性涂层材料的抗磨蚀试验研究[J]. 湘潭矿业学院学报, 2002, 17(4): 24-26.
PANG Y X, LIU H C, GUO Y J. Study on erosion-resistance of the flexible organic coating composite[J]. Journal of Xiangtan Mining Institute, 2002, 17(4): 24-26.
- [11] HASSANI S, KLEMBERG-SAPIEHA J E, BIELAWSKI M, et al. Design of hard coating architecture for the optimization of erosion resistance[J]. Wear, 2008, 265(5-6): 879-887.
- [12] HADAD M, HITZEK R, BUERGLER P, et al. Wear performance of sandwich structured WC-Co-Cr thermally sprayed coatings using different intermediate layers[J]. Wear, 2007, 263(1-6): 691-699.
- [13] 陈名华,葛文军,夏成宝. 环氧树脂/蒙脱土涂层耐磨性研究及应用[J]. 表面技术, 2007, 36(4): 76-78.
CHEN M H, GE W J, XIA C B. Study on erosion wear properties of epoxy resin/montmorillonite coating and its application[J]. Surface Technology, 2007, 36(4): 76-78.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50975032);湖南省教育厅重点项目(10A009);湖南省“十二五”重点建设学科资助项目(2012)

收稿日期:2012-04-23;**修订日期:**2013-07-04

作者简介:庞佑霞(1959-),女,教授,主要从事流体机械抗磨损材料的研究工作,联系地址:湖南省长沙市开福区洪山路98号长沙学院机电工程系(410022),E-mail: pyoux2002@sohu.com

通讯作者:许焰(1976-),男,博士,副教授,主要从事流体机械抗磨损材料的研究工作,联系地址:湖南省长沙市开福区洪山路98号长沙学院机电工程系(410022),E-mail: x_y616@163.com