

氧乙炔堆焊与感应熔覆制备的 Co119 合金涂层的组织性能比较

时海芳, 王红蕾

(辽宁工程技术大学材料科学与工程学院, 辽宁 阜新 123000)

[摘要] 为了改善钻头牙轮牙爪在生产过程中的环境条件以及其止推面上耐磨涂层的性能,可以使用感应熔覆的方法代替传统的氧乙炔堆焊制备耐磨涂层,以此增加牙轮钻头的使用寿命,目前此类研究较少。使用 HR-BP-120 型感应加热设备、HRC-150 洛氏硬度计、倒置显微镜、ML-10 型磨料磨损试验机等设备,对比了 2 种涂层的硬度、显微组织及耐磨性能。结果表明:同氧乙炔堆焊相比,制备相同成分的合金涂层,感应熔覆同样可以使涂层有完全的冶金结合,在此基础上其硬度值波动小,比氧乙炔堆焊硬度提高了 3.8 HRC,可达 61.8 HRC,组织也更加细小均匀,耐磨性能提高了 28.8%,同时感应熔覆的方法更为清洁。

[关键词] 感应熔覆; 氧乙炔堆焊; Co119 合金涂层; 耐磨性能

[中图分类号] TG174.44 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1001-1560(2021)08-0158-04

Comparison of Microstructure and Properties of Co119 Alloy Coating Prepared by Oxyacetylene Surfacing and Induction Cladding

SHI Hai-fang, WANG Hong-lei

(College of Materials Science and Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China)

Abstract: In order to improve the environmental conditions during the bit cones and jaws' production and the performance of the wear-resistant coating on the thrust surface, induction cladding could be used to replace the traditionally produced oxyacetylene surfacing to prepare the wear-resistant coating to increase the service life of roller cone bits. However, there are few such studies presently. Using HR-BP-120 induction heating equipment, HRC-150 Rockwell hardness tester, inverted microscope, and ML-10 abrasive wear testing machine, hardness, microstructure and wear resistance of the two coatings were compared. Result showed that compared with oxyacetylene surfacing, alloy coatings with the same composition prepared by induction cladding could also make fully metallurgical bonding. On this basis, the hardness value fluctuated less, which was 3.8 HRC higher than that of oxyacetylene surfacing, up to 61.8 HRC. Also, the microstructure was more fine and uniform, and the wear resistance was improved by 28.8%. Meanwhile, the method of induction cladding was cleaner.

Key words: induction cladding; oxyacetylene surfacing; Co119 alloy coating; wear resistance

0 前言

三牙轮钻头在钻岩过程中的失效通常是由于其轴承系统磨损而导致的,为了提高轴承系统的耐磨性,其牙轮的轴承跑道采用渗碳淬火,一道和二道止推面通常采用氧乙炔堆焊钴基合金的方法,且一般常用的钴基合金为 Co119 合金^[1-5]。对于三牙轮钻头国内外都有研究,但是目前的研究成果中,大多着眼于钻头的设

计和材料成分使用方面^[6-12]。本研究从止推面上涂层的制备方法入手,意图延缓钻头失效。传统生产中,氧乙炔堆焊时,为了保证堆焊层的硬度,要求采用弱碳化焰^[13]。同时在生产过程中,由于需要人工操作,受工人技术水平的影响,会造成一些缺陷,如:涂层表面硬度过低且表面硬度值波动大;易产生未熔合现象,从而使涂层表面早期磨损甚至是脱落,导致钻头的早期失效^[14]。针对以上问题,可以采用感应熔覆代替氧乙炔

[收稿日期] 2021-03-21

[通信作者] 王红蕾(1996-), 硕士,研究方向为材料表面工程,电话:18342831043, E-mail:814458766@qq.com

堆焊制备合金涂层。一方面,感应熔覆可以实现自动化生产,无需对工人的技术水平和操作有所要求,减少了人工操作造成的缺陷,提高了生产率^[15,16];另一方面,感应熔覆制备出的合金涂层稀释率较低,可以保证合金涂层的优良性能,同时热影响区小、氧化损伤小,还能保留基体材料原有的韧性,可以改良涂层的性能^[17-19]。本工作对比了2种方法制备的Co119耐磨涂层组织与性能的优劣,以获取更优的涂层制备方法。

1 试验

氧乙炔堆焊是将乙炔作为可燃气体,将氧气作为助燃气体,二者混合燃烧生成的火焰为热源。本试验的氧乙炔堆焊试样取自于工厂,为KX84-310牙爪的一部分。为了防止Co119合金在堆焊过程中产生氧化脱碳而导致涂层硬度降低,熔覆过程使用碳化焰,且堆焊使用Co119铸条进行。堆焊结束后,需将涂层表面进行些许切削或打磨,以去除氧化皮。感应熔覆试样的基体取自工厂未进行氧乙炔堆焊前的牙爪,其尺寸见图1。基体材料为20CrMo,其化学成分为(质量分数,%):0.170 0~0.240 0 C,0.170 0~0.370 0 Si,0.400 0~0.700 0 Mn,0.800 0~1.100 0 Cr,0.150 0~0.250 0 Mn, $\leq 0.003 5$ S, $\leq 0.003 5$ P, $\leq 0.030 0$ Ni, $\leq 0.030 0$ Cu。图中凹槽部分即为牙轮牙爪的二道止推面,也是熔覆合金涂层的位置。在进行感应熔覆之前,先将基体试样表面用无水乙醇及丙酮清洗,以除油除锈,清洗后晾干备用。

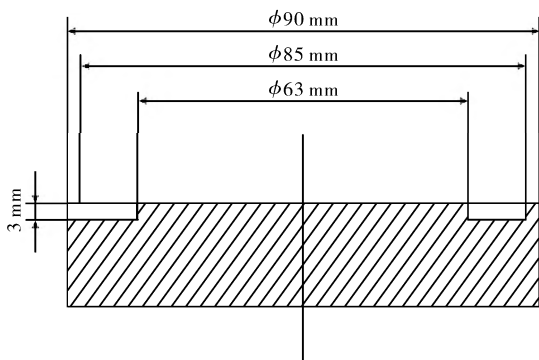


图1 感应熔覆试样尺寸示意

堆焊及熔覆粉末选择与氧乙炔堆焊铸条成分相同的Co119合金粉,其化学成分为(质量分数,%):3.30 C,0.90 Si, ≤ 1.00 Mn, ≤ 1.00 Mo,26.00 Cr,14.00 W, ≤ 1.00 Ni, ≤ 2.50 Fe,余量Co。将粉末均匀平铺压在试样的凹槽内,烘干后进行感应熔覆。感应熔覆采用HR-BP-120型感应加热设备,试验选用的感应加热时间为30 s,感应间隙为5 mm,电流200 A,功率30 kW。

试验后将试样冷却至室温。

将2种方法得到的试样用角磨机去除表面氧化皮,再运用电火花切割技术将其切割成7 mm宽的条形试样和8 mm×8 mm的方形试样备用;用HRC-150洛氏硬度计测试试样表面硬度;用HV-50维氏硬度计测试其截面硬度;使用XRD-6100型衍射仪测试材料物相,测试条件为:Cu靶K α 辐射,扫描步长0.02°,扫描速度5(°)/min。用倒置金相显微镜观察试样金相组织;用ML-10型磨料磨损试验机测试其耐磨性能,与Co119合金涂层对磨的材料选择80目的刚玉砂布,载荷设定为10 N,磨损时间设定为2,4,6 min。其中磨粒磨损试验用8 mm×8 mm的方形试样测试,其余测试内容由7 mm宽的条形试样完成。

2 结果及分析

2.1 涂层物相及组织的对比

图2是2种涂层试样的XRD谱。从图2可以看出氧乙炔堆焊和感应熔覆试样主要由 γ -Co、Cr₂₃C₆和WC物相等组成。两者衍射峰的位置和高度基本相同,说明制备方法的改变并没有对涂层的物相组成造成影响。

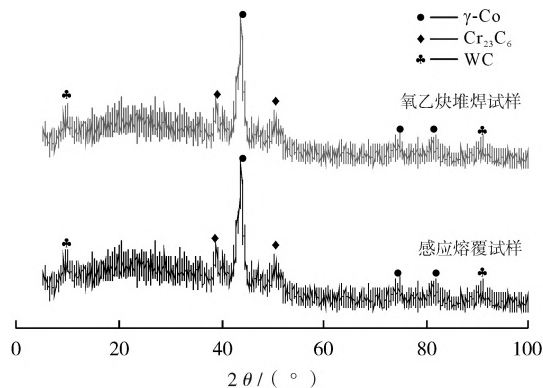
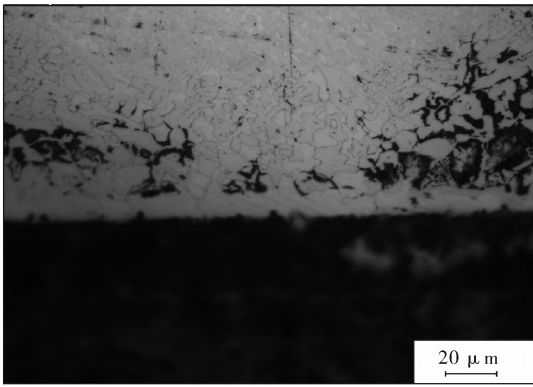


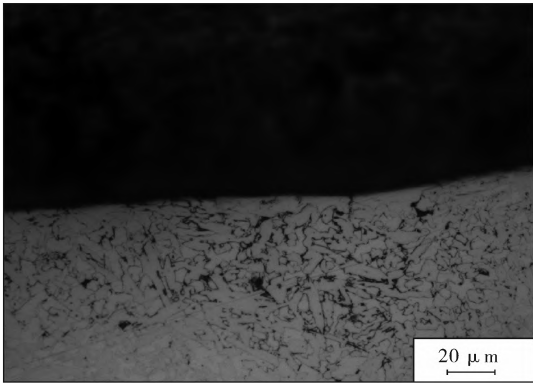
图2 2种涂层的XRD谱

图3是氧乙炔堆焊试样和感应熔覆试样截面过渡区域的金相组织形貌。图中上半部分为涂层,下半部分为基体,由于基体的耐腐蚀性能较差,所以呈现出过度腐蚀的黑色。对比2张金相图可以发现,2种涂层制备方法均未出现基体与涂层不熔合的现象,即感应熔覆同样可以实现基体与涂层的完全冶金结合。这也是感应熔覆是否可以代替氧乙炔堆焊制备耐磨涂层的先决条件之一。

图4是试样的表层金相组织形貌。由图4可以看出,感应熔覆所得涂层的组织更加的细小和均匀。相比于氧乙炔堆焊,感应熔覆为透入式加热,其加热区域更小、加热速度更快,所以基体熔化量更少,即熔池下

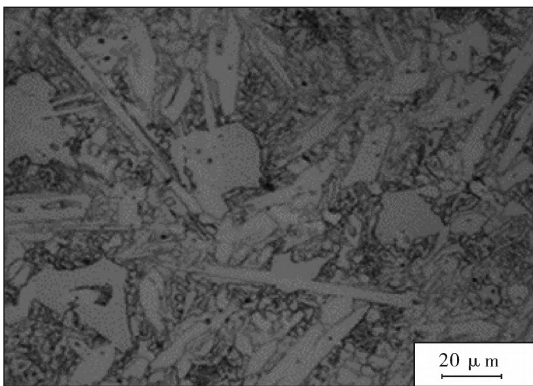


(a) 氧乙炔堆焊试样

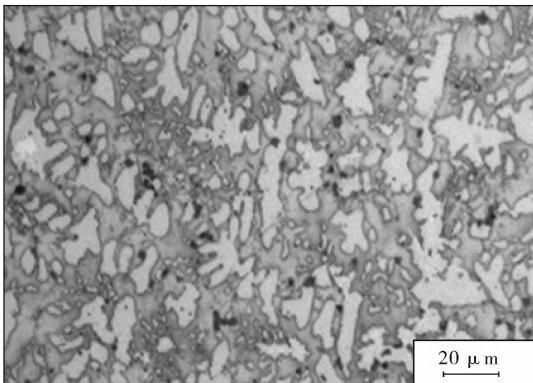


(b) 感应熔覆试样

图3 试样截面过渡区金相组织形貌



(a) 氧乙炔堆焊试样



(b) 感应熔覆试样

图4 试样表层金相组织形貌

度更大。在此情况下,晶粒的形核率和生长速率均会增大,但是晶粒的形核率增长得更快,从而抑制了晶粒的长大,得到的晶粒就更加细小。而组织更加均匀则是由于高温所致,氧乙炔堆焊温度不及感应熔覆,同时感应熔覆会产生集肤效应,将电流集聚于试样表面,使试样表面温度变得更高,从而使组织更均匀。

2.2 涂层性能的对比

在试样表面任取5点,测定涂层表面硬度,其数值及平均值见表1。由表1可知,感应熔覆得到涂层的表面平均硬度值比氧乙炔堆焊的涂层高出了3.8 HRC,同时感应熔覆的涂层硬度分布更加均匀。结合2种涂层的金相组织分析,组织更均匀的是感应熔覆涂层,其硬度值波动幅度小,即硬度分布均匀;并且涂层的晶粒越细小,涂层硬度值就越高。这是由于晶粒越细小,单位体积中的晶粒数目就越多,承受同样大外力所产生的变形就会分散到更多的晶粒中去,从而使每个晶粒的变形均匀,宏观上就表现出了高的硬度,即起到了细晶强化的作用。

表1 试样表面硬度值

熔覆方法	涂层表面硬度					HRC 平均硬度
	点1	点2	点3	点4	点5	
氧乙炔堆焊	54.5	58.3	56.7	60.5	59.9	57.0
感应熔覆	60.8	62.3	61.2	61.8	62.7	61.8

图5是由截面硬度数据绘制成的试样截面硬度分布图。由图5可以看出,2种试样的截面硬度曲线走势大致相同,靠近基体部分的显微硬度更小。而经感应熔覆的试样截面硬度整体上更高,这也是细晶强化带来的效果。同时,由于Co119合金为共晶合金,其熔点较低,能够轻易地被熔化形成熔池,并与基体形成冶金结合,在此过程中,由于母材硬度相对Co119合金较低,熔覆过程中会对涂层产生稀释作用,使得过渡区域截面硬度有所降低,但感应熔覆涂层受基体的稀释作用影响明显更小,过渡区域硬度更高。原因是相比于氧乙炔堆焊,感应熔覆的加热速度快、加热区域小,基体被熔化的体积小,所以稀释率低;另外感应熔覆冷却速度更快,使得基体在涂层中来不及过多地扩散,即基体扩散量更小,稀释率低。由图5发现,感应熔覆的涂层过渡区更宽,这使得在相同工作环境下,能更有效地防止涂层的脱落。

表3为2种涂层分别在10 N载荷下试验2,4,6 min后的磨损失重数据。由表3可以看出,感应熔覆的选择可以使涂层的耐磨性能提高28.8%。

的冷铁体积更大,因此感应熔覆的冷却速度更快、过冷

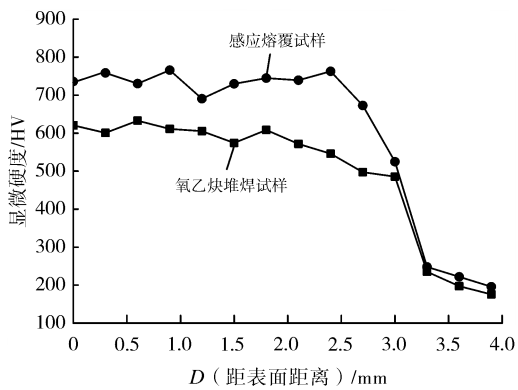
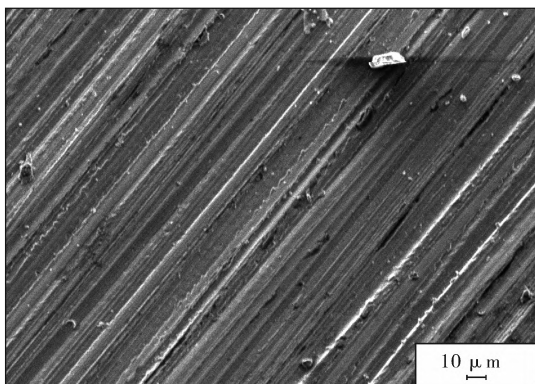


图5 试样截面硬度分布

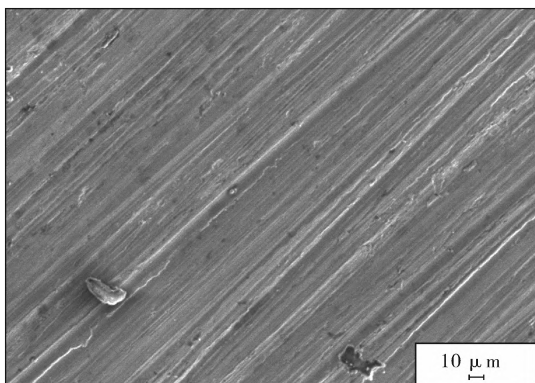
表3 涂层的磨损失重

熔覆方法	$\Delta M_2/g$	$\Delta M_4/g$	$\Delta M_6/g$	相对耐磨性
氧乙炔堆焊	0.004 3	0.007 2	0.008 5	1.000 0
感应熔覆	0.003 5	0.005 5	0.006 6	1.287 9

通过扫描电镜观察磨损试验进行 6 min 后的涂层表面划痕形貌见图 6。



(a) 氧乙炔试样



(b) 感应熔覆试样

图6 试样表面磨损形貌

结合表 3 数据可以发现,经过磨粒磨损试验后,2 种涂层均因硬颗粒对涂层表面的挤压以及其在涂层表面的相对运动而引起了切削,也因此产生了犁沟和磨削,发生了表面材料流失的现象,这表现为表 3 中的磨损失重。从图 6 可以看出,2 种涂层表面均形成平行的

犁沟,但经感应熔覆所得的试样磨痕较窄,犁沟较浅,磨损较轻,而氧乙炔堆焊试样则有大量大块的磨屑及剥落物。这说明感应熔覆技术的使用可以改善涂层的耐磨性能。结合硬度分析,涂层的耐磨性能好坏取决于涂层表面硬度的高低。硬度较高的感应熔覆试样,其耐磨损性能也较好。这是因为硬度本质上就是描述材料抵抗外界压陷和刻划等作用的能力,即衡量固体材料软硬程度的指标,所以在一定程度上也反映了耐磨性能的好坏。

3 结论

(1) 感应熔覆同氧乙炔堆焊相同,可以保证基体与涂层的完全冶金结合。同时,感应熔覆可以得到更加细小均匀的金相组织。

(2) 相比于氧乙炔堆焊,感应熔覆得到的涂层表面硬度波动小,表面硬度可达 61.8 HRC,截面硬度也更高。同时,感应熔覆的选择可以使涂层的耐磨性能提高 28.8%。

[参 考 文 献]

- [1] 李鑫. 牙轮钻头早期损坏的原因及解决办法分析[J]. 设备管理与维修, 2020(2):41-42.
- [2] Šporin J, MRVAR P, Petrič M, et al. The characterization of wear in roller cone drill bit by rock material - Sandstone [J]. Journal of Petroleum Science & Engineering, 2018, 173(2):1 355-1 367.
- [3] 沈桓宇. 三牙轮钻头轴承结构强度分析与参数研究[D]. 成都:西南石油大学, 2015:1-7.
- [4] 胡世菊, 时海芳. 热处理对 Co-Cr-W 耐磨堆焊层的影响[J]. 热加工工艺, 2008, 37(19):121-123.
- [5] KARASAWA H, OHNO T, MIYAZAKI K, et al. Experimental results on the effect of Bit wear on torque response [J]. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 2016, 84:1-9.
- [6] 丁燕鸿, 黄汉云. 20CrNiMo 牙轮牙爪锻造缺陷对力学性能的影响[J]. 锻压技术, 2006(3):13-15.
- [7] LIN Y. Analysis Design Performance of Tircone Bit[J]. Advanced Materials Research, 2012, 548:581-585.
- [8] 赵一帆. HJT517G 三牙轮钻头故障诊断实验研究[D]. 青岛:中国石油大学, 2010:3-5.
- [9] 刘兴富. 三牙轮钻头轴承环道位置检具的设计[J]. 金属加工(冷加工), 2008, 22:55-56.
- [10] 张烈华, 王晋春, 许林. 钢齿牙轮钻头表面敷焊材料的研究与应用[J]. 材料保护, 2016, 49(5):72-75.
- [11] 张祥. 基于磨损机理的牙轮钻头材料与结构优化研究[D]. 秦皇岛:燕山大学, 2019:2-8. (下转第 176 页)

液 2 相分配的原因,液滴的 pH 值会降低,叶片抵御腐蚀性阴离子的能力下降,汽水中因 CO_2 含量较小,腐蚀风险较小,腐蚀的主要原因是 Cl^- 和 SO_4^{2-} 等阴离子,会破坏叶片表面的钝化膜,形成点蚀坑。控制好机组精处理混床运行终点,可以有效避免汽轮机低压缸叶片的腐蚀问题。

[参 考 文 献]

- [1] 嵇安森.蒸汽品质与汽轮机叶片事故[J].电力设备,2005,6(10):53-55.
- [2] 张元,方毅,孟维歌,等.某电厂汽轮机叶片断裂失效分析[J].理化检测-物理分册,2019,55(7):474-478.
- [3] 黄兴德,游喆,赵泓,等.超临界汽轮机通流部位腐蚀沉积特征及对策[J].华东电力,2014,42(11):2451-2456.
- [4] 慕晓炜.某超临界机组汽轮机积垢和腐蚀原因分析[J].安徽电气工程职业技术学院学报,2019,24(9):104-107.
- [5] 姜涛,王晓放,王巍.超临界 $\text{H}_2\text{O}/\text{CO}_2$ 混合工质透平

初凝区酸腐蚀过程分析[J].汽轮机技术,2018,60(6):447-449.

- [6] 朱志平,黄可龙,周艺,等.汽轮机初凝区腐蚀机理分析[J].腐蚀科学与防护技术,2006,18(1):20-23.
- [7] 王锋涛,王娜娜,常亮,等.汽轮机叶片用 1Cr13 钢在初凝水中的腐蚀[J].腐蚀与防护,2018,39(7):489-493.
- [8] 吴仕宏(译).溶解在蒸汽中的杂质对汽轮机通流部位腐蚀性液相形成的影响[J].热能动力,1984(4):84-87.
- [9] 常亮,张小霓,王锋涛,等.600MW 机组汽轮机低压缸腐蚀原因分析与预防措施[J].材料保护,2019,52(3):134-137.
- [10] DL/T 1602-2016,发电厂纯水脱气氢电导率在线测量方法[S].
- [11] PALO A. Turbine steam, chemistry, corrosion[R]. California; Electric Power Research Institute,1994.
- [12] VALERIN S, ALEXANDER N T, ROMAN V A. Measurement of the conductivity of liquid films in the turbine flow path[J].Power Plant Chemistry,2002,4(1):13-17.
- [13] 洪新华.影响凝结水精处理混床出水氯离子的主要因素[J].清洗世界,2019,35(5):16-18. [编校:范宏义]

(上接第 161 页)

- [12] ZHI Q H, GANG L. Optimization of cone bit bearing seal based on failure analysis[J]. Advances in Mechanical Engineering, 2018, 10(3):1-12.
- [13] 马远路,朱蓉,姚婷,等.小孔径销孔氧-乙炔焊钴基合金堆焊工艺研究[J].科技创新与应用,2018(3):59-60.
- [14] 王建萍,唐菊,王灿,等.氧乙炔火焰喷焊制备自溶性合金涂层及其性能研究[J].表面技术,2018,47(2):117-122.
- [15] 黄本生,高钰泉,陈鹏,等.高频感应熔覆 TiN/Co 涂层组织及性能研究[J].材料导报,2018,32(13):2272-2277.
- [16] 毛彦辉,李成凯.感应熔覆控制工艺技术研究现状[J].现代制造技术与装备,2015(4):1-4.
- [17] 杨效田,王智平,李文生,等.感应熔覆制备表面涂层工艺及涂层组织特征[J].材料保护,2010,43(8):46-50.
- [18] 黄思语,王水波.感应熔覆制备镍基合金涂层的研究进展[J].表面技术,2017,46(9):39-47.
- [19] 许新军,封振山.热轧 45 钢表面 Ni60-WC 涂层的高频感应熔覆及其电接触强化前后的性能[J].材料保护,2015,48(2):44-46.

[编校:王宇]

(上接第 171 页)

- [8] ZHANG X, XIAO G Y, JIANG C C et al. Influence of process parameters on microstructure and corrosion properties of hopeite coating on stainless steel[J]. Corrosion Science,2015,94:428-437.
- [9] 孙海静,崔可秀. Mg-Gd-Y-Zr 镁合金表面锰系磷化膜的制备工艺及性能研究[J].腐蚀科学与防护技术,2018,30(3):222-228.
- [10] 龚兵兵,刘刚,白勇,等.7075 铝合金无铬磷化成膜动力学过程及其性能[J].材料保护,2019,52(1):51-54.
- [11] 闫大海,严建华,池涌,等.废轮胎回转窑中试热解炭中 O、S、N、Zn 的 X 射线光电子能谱(XPS)分析[J].环境科学学报,2005,25(8):1058-1065.
- [12] 袁欢欢,欧阳健明.X 射线光电子能谱在配合物研究中的应用及其研究进展[J].光谱学与光谱分析,2007,27(2):395-399.
- [13] 刘芬,陈紫.含铁化合物的 Fe2p 和 Fe3s 电子能谱研究[J].分析测试技术与仪器,2001,7(3):166-169.
- [14] CUI G D, YANG C, GAO G Q. The surface morphology and structure of two-pole sputtered iron nitrogen oxide thin films[J]. Functional Materials, 2005,36(5):783-785.

[编校:范宏义]