

doi: 10.3969/j.issn.1001-3849.2023.03.004

基于驱动桥壳半轴套管再制造的镀层性能分析与研究

沈晔超*, 葛勇

(安徽机电职业技术学院 电气工程学院, 安徽 芜湖 241002)

摘要: 为了研究驱动桥壳再制造沉积镀层的工艺性能, 在40Mn基材的半轴套管表面采用电刷镀方法形成再制造修复层, 选用线切割技术制备镀层和基体试样, 分别利用金相显微镜观测了镀层和基体的微观形貌、采用硬度测试计验证了镀层和基体的硬度分布、使用X射线衍射仪进行了试样的物相分析。结果表明: 在再制造沉积层的最大可镀范围内, 镀层和基体结合可靠、镀层硬度优于基体、沉积镀层中未引入过多其它杂质元素, 镀层性能可以满足再制造的使用性能要求。

关键词: 驱动桥壳; 半轴套管; 镀层沉积; 镀层性能; 再制造

中图分类号: TQ153 **文献标识码:** A

Analysis and research on coating performance based on remanufacture of drive axle housing half shaft sleeve

Shen Yechao*, Ge Yong

(School of Electrical and Mechanical Engineering, Anhui Technical College of Mechanical and Electrical Engineering, Wuhu 241002, China)

Abstract: In order to study the process performance of the remanufactured deposited coating of the drive axle housing, the remanufactured repair layer was formed by brush plating on the surface of the half shaft sleeve of 40Mn substrate. The coating and substrate samples were prepared by wire cutting technology. The micro-morphology of the coating and substrate samples were observed by metallographic microscope, the hardness distribution of the samples was verified by hardness tester, and the phase analysis of the samples was carried out by X-ray diffractometer. The results show that within the maximum plating range of the remanufactured deposition layer, the combination of the coating and the substrate is reliable, the hardness of the coating is better than that of the substrate, and there are not too many other impurities in the deposited coating. The performance of the coating can meet the performance requirements of remanufacture.

Keywords: drive axle housing; half shaft sleeve; coating deposition; coating performance; remanufacture

驱动桥壳是汽车重要的承重基础件^[1], 位于驱动桥壳两端的半轴套管^[2]在使用一段时间后,

收稿日期: 2022-07-29 修回日期: 2022-09-03

作者简介: 沈晔超(1987—), 男, 硕士, 讲师, 研究方向为机电产品绿色设计与制造、工业机器人技术, email: shenyechao2006@126.com

基金项目: 安徽省高校科学研究项目(KJ2020A1106), 安徽省高等学校省级质量工程项目(2020jyxm0306); 职业教育提质培优行动计划(2020tzpy46-5), 安徽省高校优秀青年人才支持计划项目(gxyq2022275)

可能出现损伤、锈蚀等现象。电刷镀是通过电化学反应,将镀液中离子快速沉积在待修复区域表面^[3],形成耐磨结合力好^[4-5]的再制造修复层的工艺技术。近年来,国内外许多专家学者对于电刷镀工艺及镀层的性能进行了研究,文献[6-9]分别研究了电极间隙中电解液的流速和流线的分布、阳极和阴极工具反向旋转、吸力电极电解加工多物理场耦合、超声波空化效应的解团聚和搅拌作用,分析了电刷镀工艺过程和参数对镀层沉积过程的影响,文献[10-13]分别通过X射线衍射评估、全光谱椭圆偏振观测、扫描电镜(SEM)、光学显微镜以及液体喷砂机试验,验证了不同电刷镀层的工艺性能差异,文献[14-16]分别采用纳米颗粒融入、搅拌速度的提升、相对运动速度的增加、喷射电压的变化探讨了复合镀层工艺优化的路径,文献[17-20]分别运用去离子水电解加工、超声振动集成阵列电极、双环电化学动电位再活化、纳秒脉冲激光掩蔽探索了电化学新技术在未来制造业中的前进方向,但目前针对面向驱动桥壳半轴套管的沉积镀层性能研究还比较少见。

以40Mn材料的半轴套管为基体,使用脉冲电刷镀工艺在半轴套管表面依次沉积底层、中间层和工作层,选用线切割方法制备再制造修复层试样,分别采用金相显微镜、维氏硬度仪、X射线衍射仪进行微观形貌观测、显微硬度测量和物相分析,验证了镀

层质量、镀层硬度、镀层沉积质量是否符合半轴套管再制造的要求,对于验证使用电刷镀工艺进行半轴套管再制造工艺技术的可靠性提供了技术依据。

1 半轴套管损伤情况分析

结合某车桥生产厂商近年来驱动桥壳返修故障件拆解后的损伤特征进行统计分析,半轴套管轴承配合面损伤、半轴套管表面锈蚀、半轴套管油封处损伤、轴颈配合面损伤在半轴套管的损伤形式中占有较大比重,其故障统计如图1所示。

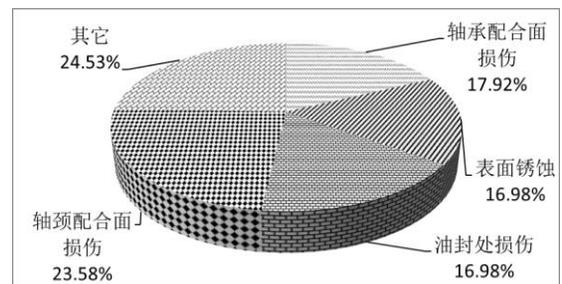


图1 半轴套管损伤形式分布

Fig.1 Damage form and distribution of half shaft sleeve

结合返修件的实际损伤形貌,半轴套管的表面损伤可能造成配合面的失效,伴随润滑油液的渗漏,继而进一步诱发驱动桥壳其它严重故障的产生。典型的半轴套管表面损伤形貌如图2所示。

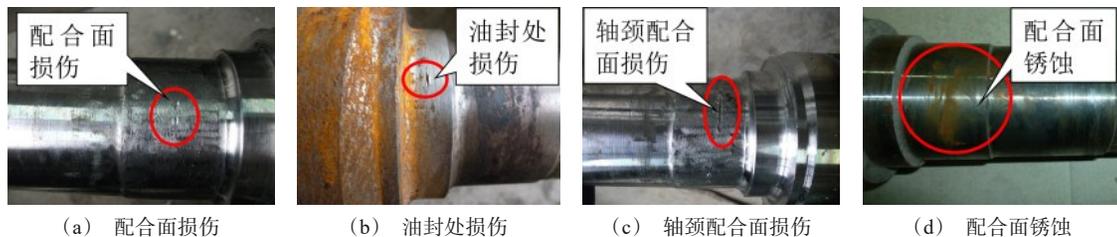


图2 四种常见的半轴套管损伤形式

Fig.2 Four common damage forms of half shaft sleeve

为了在驱动桥壳再制造过程中实现半轴套管性能的恢复与提升,针对半轴套管的常见失效形式,局部性和差异化的特征,选用电刷镀的方法进行再制造工艺探究。

2 再制造电刷镀修复层的沉积与试样制备

电刷镀源于传统的电镀技术,基于电化学反应过程中的沉积原理,在待镀区域根据工艺需要形成

特定的保护修复层,其原理如图3所示。电刷镀在工作状态时,专用电源的正负极分别与镀笔和工件相接。镀笔外侧浸满镀液的包套在一定正压力的作用下,与待镀工件产生相对运动。包套和工件直接接触的部位,金属离子得电还原生成原子附着在工件待镀区域表面形成结晶镀层,增长和恢复待镀区域的尺寸精度,提升综合机械性能。

针对半轴套管的电刷镀修复试验,选用40Mn

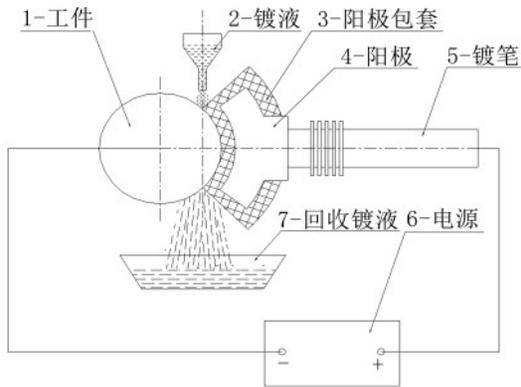


图3 电刷镀原理示意图

Fig.3 Schematic diagram of brush plating principle

为母材的半轴套管毛坯,进行实验试样的制备。实验前,利用JK-250DB超声波清洗机配合进行前处理,选用如下表1所示自制清洗剂浓缩液1:15纯水配置的水基绿色清洗剂溶液,实现表面油污的有效预处理。

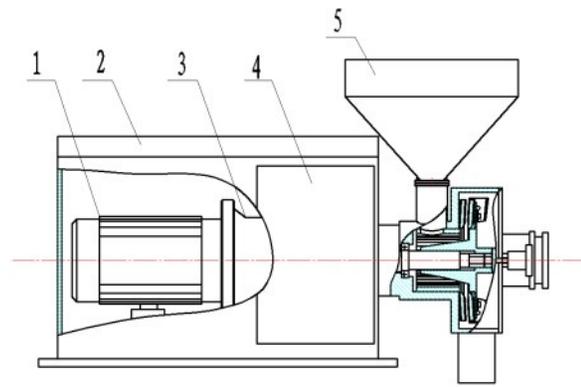
表1 水基绿色清洗剂成分

Tab.1 Composition of water-based green cleaning agent

序号	成分	含量/%
1	碳酸钠	5
2	AEQ-9(聚氧乙烯脂肪醇醚)	10
3	三乙醇胺	5
4	消泡剂	5
5	乙二醇丁脂	5
6	正己烷	6
7	纯水	余量

电刷镀实验平台选用NBD-150逆变脉冲电源,配合定制EURA F1500—G Series变频器的数控车床CQ6128A。如图4所示,可调速电机(1)由变频器控制通过参数的改变可以实现20~240 r/min的无极调速,便于半轴套管类回转体零件实现镀层在在径向上的均匀同步增长,设备承重结构(2)确保电镀平台的稳定可靠,线路连接通道(3)的设置使脉冲逆变电源的线路整齐规范,实验平台还预留镀液收纳系统(4)和镀液补给系统(5),在工件与镀笔形成相对运动的同时能够实现镀液的增补和回收。

镀层沉积前,打磨抛光去除表面毛刺,待镀区域交界面做好隔离防护,开启刷镀电源,调节电源频率约900 HZ,占空比70%,顺序进行电净、电化学除锈和弱活化后,依次进行特殊镍、碱铜和快速镍的沉积,镀层变更的交界面上可以视情打磨平整,以利于



1-可调速电动机;2-设备承台结构;3-线路连接通道;4-镀液收纳系统;5-镀液补给系统图

4 电刷镀自动分液补给示意图

Fig.4 Schematic diagram of brush plating automatic liquid separation and replenishment

后续镀层的有效附着沉积,镀层沉积的主要过程如图5所示,其中图5(a)~5(c)为电刷镀前处理,图5(d)~5(f)为电刷镀镀层沉积。

根据不同的损伤特征,可以沉积生成不同厚度的再制造修复层,为了更好的进行镀层性能分析及可靠可行判断,使用线切割方法,将镀层沉积区制成20 mm×20 mm×10 mm的测试试样,为了在制作金相试样的过程中保护镀层沉积面,避免其边缘被磨平,将试样镶嵌在牙托粉中后再进行打磨抛光,选用3%硝酸酒精液腐蚀观测面,如图6所示。

3 镀层结构与性能

使用MM6金相显微镜观测分别对试样的基体、界面、镀层沉积面进行观测。其中,40Mn基体由铁素体和珠光体的混合相组合而成,成网状分布,调质态组织中出现回火索氏体,基体材料有较好的塑性韧性,综合机械性能良好,如图7(a)所示。

工作层快镍的金相显微组织,工作层快速镍均匀、细小、呈包状晶结构,光洁度较高、孔隙率较低,如图7(b)所示。

底层特殊镍以连续方式生长,尺寸层和底层接触充分,组织均匀连续,未见孔洞裂纹等缺陷存在,结合处的过渡镀层较薄,镀层致密生长,结合强度较好,如图7(c)所示。

底层特殊镍连续并与基材和碱铜尺寸层充分接触,组织均匀,连续,底层没有孔洞裂纹等缺陷的存在,镀层生长方向比较致密,结合处仅有很薄的一层

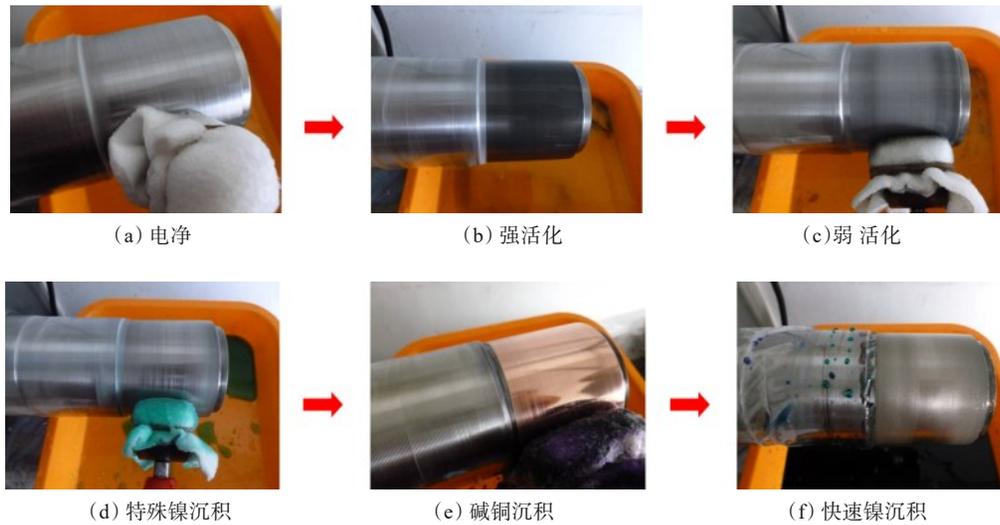


图5 半轴套管镀层沉积主要步骤

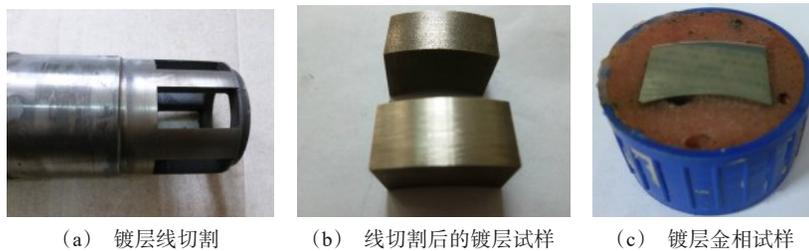


图6 电刷镀沉积层的试样制备

Fig.6 Sample preparation of brush plating deposit

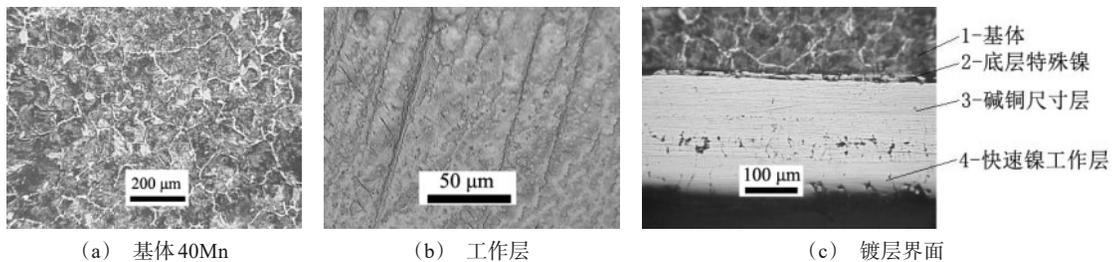


图7 试样基体、工作层和镀层界面金相显微组织

Fig.7 Metallographic microstructure of the sample matrix, working layer and coating interface

过渡层,底层微观组织性能良好,有较高的结合强度。

通过显微硬度计的目镜标尺读数,金相试样中的碱铜尺寸层厚度约 130 μm ,靠近基体的方向比较致密,未见气孔裂纹等缺陷,外层特殊镍硬度较高,存在一定程度的脆性。在制备金相试样的过程中导致少量区域出现剥落的情况,靠近外侧区域,厚度逐渐增大,内应力不断增加,裂纹和气孔等缺陷呈现出

逐步上升的趋势。因此,电刷镀的沉积层在满足再制造工艺的前提下,应控制最大沉积厚度。

半轴套管配合使用过程中的磨损性与其表面硬度息息相关,轴承内孔和其配合轴径表面的作用力直接作用在镀层沉积面上,对再制造后的电刷镀沉积镀层进行硬度评价十分必要。选用数字硬度计均布测量半轴套管母材和电刷镀再制造修复层的硬度,由于镀层厚度很小,为了避免基体硬度对镀层硬

度测试造成影响,镀层硬度测试一般采用显微硬度计测试镀层表面显微硬度。将线切割好的镀层试样置于显微硬度计上,在镀层上均匀选择五点进行硬度测试。如图8所示,基体的硬度在268 HV附近波动,而镀层的硬度平均值接近458 HV,工作镀层硬度高于基体且波动幅度相对较小,能够满足半轴套管再制造的工艺要求。

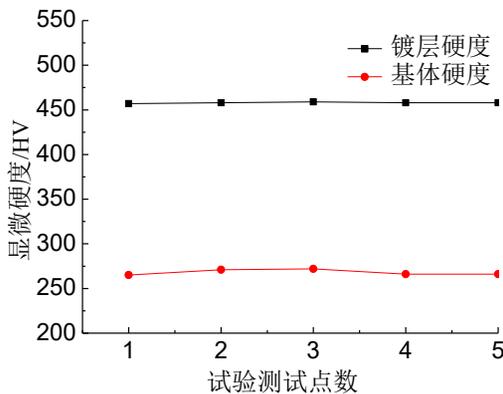


图8 镀层和基体的硬度分析

Fig.8 Hardness analysis of coating and substrate

实际再制造的过程中,镀层的硬度受到多种因素影响。在刷镀过程中,电压和电流大小、刷镀镀笔运行速度、镀液温度、镀液类型等均影响镀层硬度。因此,严格控制再制造过程中的电刷镀工艺对于沉积层的可靠性判定至关重要。

选用X射线衍射物仪(D/MAX2500V)对制备的电刷镀层试样进行检测,将X射线衍射谱二进制格式数据文件导入Jade软件中,选用ICDD PDF卡片索引,利用Search/Match(S/M)工具实施物项检索进行物相分析。结果显示,试样中主要由Ni和Ni的固溶体组成,这与选用快速镍作为工作层的情况相匹配,说明电刷镀层再制造沉积过程中,工艺规程执行较好,杂质成分引入较少。启动寻峰工具,Jade根据“二阶导数”是否为0的原则,判断谱线谱线上的峰值存在,为避免局部起伏被误判为“峰”,可在寻峰前通过做一次平滑,降低Jade误判的潜在风险。

寻峰报告中显示出峰曲线的峰位角度、背景线高度、峰高等参数,其中半高宽可以通过FMWH列中的数据读出。取X射线衍射图谱中的(111)面的衍射峰宽度 β ,最后得到镀层X射线衍射图谱,如图9所示。

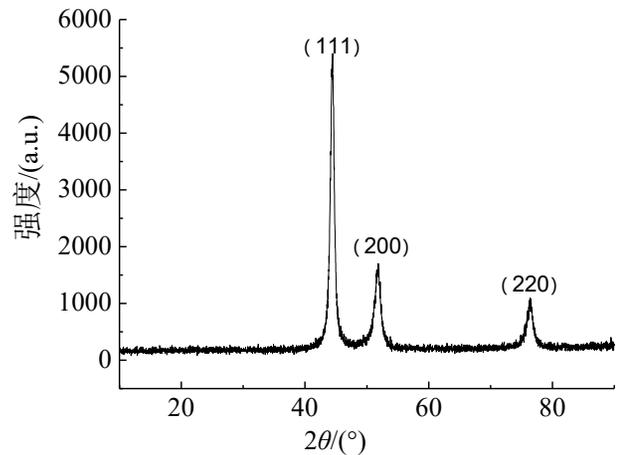


图9 镀层X射线衍射图谱

Fig.9 X-ray diffraction pattern of coating

利用谢乐方程可以计算镀层试样晶粒尺寸的大小,约为15 nm左右,相比直流电刷镀20 nm以上的晶粒尺寸,半轴套管再制造镀层沉积过程中使用的占空比约为70%的脉冲电刷镀,有效抑制了晶粒的过度生长,具有一定的细晶强化作用,对提高镀层的抗磨损性能具有一定的效果。

4 结论

通过对驱动桥壳使用过程中半轴套管常见的损伤形式进行分析,针对性地制定了符合半轴套管再制造需求的电刷镀再制造工艺,运用制定的电刷镀工艺进行再制造修复层的有效沉积并制备镀层试样,利用金相显微镜观测了微观组织形貌,使用硬度仪器检测了镀层的硬度指标,利用XRD测试分析了试样物相,计算了晶粒尺寸大小,得出如下结论:

(1)使用特殊镍、碱铜、快速镍构成的修复层及沉积工艺能够满足再制造的性能使用要求,具有一定的实用价值。

(2)贴进基体的部分镀层较为致密,随着镀层厚度的增长,镀层孔隙率提升,因此在满足尺寸恢复的前提下,还应控制镀层的最大厚度,实际使用过程中的最大净修复尺寸可取 $\phi 0.7$ mm

(3)试样的镀层平均硬度约为458 HV,比基体硬度高约71%,通过电刷镀再制造的镀层沉积,获得了高于基体的维氏硬度。

(4)镀层构成主要是镍及其固溶体,镀层的晶粒尺寸小于常规直流电刷工艺,综合机械抗磨性有所提升。

参考文献

- [1] 王雪梅, 薛振国, 刘玲玲. 基于有限单元法重载车辆驱动桥壳优化设计[J]. 机械设计与制造, 2021(1): 240-244, 249.
- [2] 李攀, 罗建国, 朱鑫锴, 等. 重型载重车半轴套管精确挤压成形过程参数优化[J]. 塑性工程学报, 2020, 27(7): 79-85.
- [3] 金国, 丁小龙, 胡振峰, 等. 电刷镀Ni-石墨烯复合镀层的耐腐蚀性能[J]. 稀有金属材料与工程, 2019, 48(6): 2002-2008.
- [4] 丁浩, 李志宏, 朱世根. 电刷镀超厚镍/铜组合镀层及其组织结构[J]. 电镀与涂饰, 2020, 39(5): 245-248.
- [5] 李长春, 姜新华, 肖祥定, 等. Ni-P-WC和Ni-P-SiC复合镀层的耐磨和耐蚀性能比较[J]. 材料保护, 2021, 54(9): 59-62.
- [6] Rastorguev D A, Semenov K O, Dema R R, et al. Influence of the hydrodynamics of electrolyte flow on the surface quality in electrochemical machining[J]. Russian Engineering Research, 2022, 41(12): 1169-1174.
- [7] Wang D Y, Ren Z Y, Le H Y, et al. Improvement on the periodic dissolution behavior of titanium alloy in counter-rotating electrochemical machining[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2021, 116: 877-887.
- [8] Sun G R, Ying Y, Dong J T, et al. Research on electrochemical machining technology of deep small hole using suction electrode[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2021, 1948(1): 1-6.
- [9] Daniel N R, Marcelo P S, José B C, et al. Kinetics of conversion of brushite coatings to hydroxyapatite in alkaline solution[J]. Journal of Materials Research and Technology, 2018, 7(4): 479-486.
- [10] 孙垂康, 贾卫平, 周绍安, 等. 超声辅助脉冲电沉积Ni-TiN复合镀层的结合力和耐蚀性[J]. 材料保护, 2021, 54(4): 80-85.
- [11] Kostruba A, Stetsyshyn Y, Mayevska S, et al. Composition, thickness and properties of grafted copolymer brush coatings determined by ellipsometry: calculation and prediction[J]. Soft Matter, 2018, 14(6): 1016-1025.
- [12] 张春杰, 应丽霞, 吴云龙, 等. 热处理温度对Ni-P/Al₂O₃/石墨烯复合刷镀层性能的影响[J]. 材料热处理学报, 2021, 42(4): 153-159.
- [13] 杨惠良. 硫酸盐镀液中紫铜电沉积Ni-Co/WC复合镀层的工艺条件优化[J]. 电镀与精饰, 2021, 43(6): 30-34.
- [14] 詹中伟, 葛玉麟, 田礼熙, 等. 搅拌速度和颗粒尺寸对复合电沉积Ni-cBN复合量的影响及机理分析[J]. 电镀与精饰, 2022, 44(1): 1-5.
- [15] 吕鏢, 胡振峰, 汪笑鹤, 等. 相对运动速度对柔性摩擦辅助电沉积镍镀层结构的影响[J]. 材料研究学报, 2014, 28(4): 255-261.
- [16] 李恒征, 康敏, 张银, 等. 喷射参数对Ni-Co-BN(h)纳米复合镀层结构及耐磨性的影响[J]. 中国表面工程, 2018, 31(2): 103-112.
- [17] Hsue A W J, Huang Z Y. Deionized water electrochemical machining hybridized with alumina powder polishing for microcavity of m-333 mold steel[J]. Processes, 2022, 10(1): 152.
- [18] Shen Z Y, Tsui H P. An investigation of ultrasonic-assisted electrochemical machining of micro-hole array [J]. Processes, 2021, 9(9): 1615.
- [19] 钟强, 钱炯, 周宇宾, 等. 双环电化学动电位再活化法评价UNS N08811的晶间腐蚀敏感性[J]. 材料保护, 2021, 54(3): 23-27, 45.
- [20] Kaewsaard P, Zhu H, Qi H, et al. Laser surface masking of stainless steel for electrochemical machining process [J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2021, 116(3-4): 1141-1150.