

For citation: Zhu Hongwei, Burial Lygdenov. Analysis of the current status of chemical plating Ni-P-SiC // Grand Altai Research & Education — Issue 1 (24)'2025 (DOI: 10.25712/ASTU.2410-485X.2025.01) — EDN: <https://elibrary.ru/CIMRKV>

UDK 66

ANALYSIS OF THE CURRENT STATUS OF CHEMICAL PLATING Ni-P-SiC

Zhu Hongwei¹, Burial Lygdenov^{1,2}

1 Hubei Digital Textile Equipment Key Laboratory, Wuhan Textile University, Wuhan, 430073, China

2 Zhejiang Xinchang Sanxiong Bearing Co., Ltd, Zhejiang Xinchang, 312500, China

E-mail: 1012638251@qq.com

Abstract. With the rapid development of various high-tech industries, a huge market has been provided for chemical plating technology. With the increasing demand for material hardness, wear resistance, corrosion resistance and other properties in different fields, chemical plating technology is constantly innovating, and Ni-P-SiC composite coating is one of them. This article introduces the basic principles of electroless Ni-P-SiC plating, the basic composition of the plating solution, and analyzes and introduces some current research progress, hoping to provide effective assistance for further research on Ni-P-SiC.

Keywords: Chemical plating Ni-P-SiC; Plating solution; application

化学镀 Ni-P-SiC 的现状分析

朱宏伟¹, 雷格德诺夫 布利亚尔^{1,2}

1 武汉纺织大学, 湖北省数字化纺织装备重点实验室, 中国, 武汉, 430073

2 浙江新昌三雄轴承有限公司, 浙江新昌, 312500

E-mail: 1012638251@qq.com

摘要: 随着各种高科技产业的迅速发展, 为化学镀技术提供了巨大的市场, 伴随着不同领域对材料硬度, 耐磨性, 耐腐蚀性等需求的提升, 化学镀技术也在不断推陈出新, Ni-P-SiC 复合镀层就是其中之一. 本文介绍了化学镀 Ni-P-SiC 的基本原理, 镀液的基本组成等, 对目前的一些研究进展进行了分析与介绍, 希望能够对 Ni-P-SiC 的进一步研究提供有效的帮助.

关键词: 化学镀 Ni-P-SiC; 镀液; 应用

引言

为了满足工业上对材料高硬度, 高耐磨性, 耐腐蚀性和耐高温性能的需求, 一般的金属材料和高分子材料很难符合现在行业中的需求, 比如陶瓷材料有着优异的性能和独特的水润滑低摩擦特性, 但是陶瓷材料往往质脆且抗震性差, 这时就需要另辟蹊径, 而化学镀的方法就可以提升很多材料的性能 [1]. 同时, 化学镀技术对于沉积零件的几何形状无限制, 具有优异的适形性和良好的均镀能力, 不需要外加电流, 工艺和设备简单且成本较低 [2], 并且因为不需要使用电能, 所以与传统的电镀工艺相比, 更加环保. 近年来, Ni-P-SiC 复合镀层因其优异的综合性能, 在航空航天, 汽车制造, 电子等领域得到了广泛应用, 面对不同的恶劣环境条件下, 对零件所需要的性能也不同, 比如在汽车制造领域中, 高负载与高速摩擦就严格限制了材料所需要的硬度与耐磨性. 本文旨在通过分析 Ni-P-SiC 复

合镀层的发展现状, 为 Ni-P-SiC 复合镀层的进一步开发与应用提供有价值的参考和启示.

1 化学镀 Ni-P-SiC 的原理

首先介绍化学镀液, 镀液的组成是保证镀层质量的重要影响因素, 其中包括主盐, 还原剂, 络合剂, 缓冲剂, 加速剂等. 其中主盐和还原剂浓度有利于提高镀速, 但不是浓度越高越好. 镀液中络合剂的作用是形成镍的络合物, 降低溶液中游离的镍离子浓度, 抑制亚磷酸镍的沉淀析出, 稳定镀液, 延长镀液寿命. 而稳定剂是起到稳定镀液的作用, 保证化学镀过程中镍只在工件表面沉积, 而不在渡槽或其他位置上沉积. 稳定剂添加浓度要求严格, 添加量少起不到稳定效果; 添加过多则会降低镀速 [3;4].

氢原子理论 (Atomic hydrogen theory) 认为, 当基体被浸入镀液中, 次磷酸与水反应生成原子氢, 部分原子氢与镍离子和磷离子结合还原成镍磷合金, 而 SiC 粒子被沉积的 Ni-P 合金镀层埋没其中, 少量原子氢结合形成氢气作为副产物逸出, 如图1 所示, 反应方程式如下 [5] ("ad" 表示原子氢吸附在基质的作用势上):

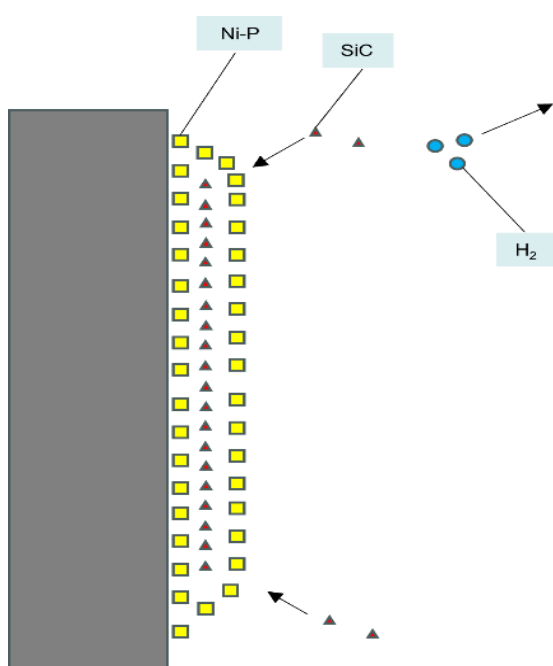
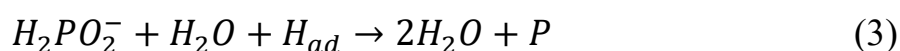
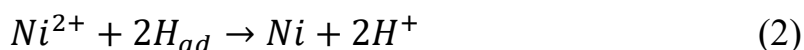
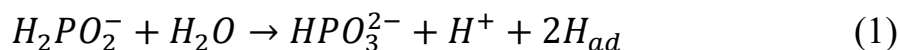


图1 化学镀原理
Figure 1. Principle of chemical plating

化学镀的实验装置示意图如图2 所示.

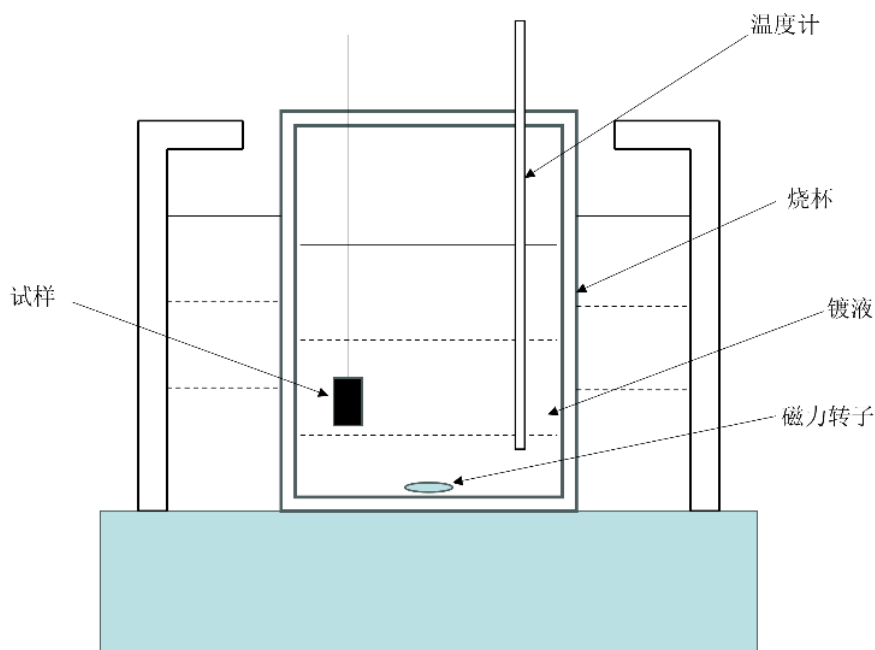


图2 化学镀实验装置

Figure 2. Chemical Plating Experimental Equipment

其中实验的过程基本上是准备试样→打磨试样→清洗试样→碱洗除油→酸洗活化→化学镀→清洗试样. 其中:

打磨试样: 用砂纸进行打磨, 清除基体表面上的杂质或氧化膜等, 打磨至表面光滑, 呈现无划痕镜面. 同时因为增加了表面的粗糙度, 可以使得镀层与基体结合的更加牢固.

清洗试样: 彻底清洗基体表面上的残留物.

碱洗除油: 去除金属表面的油脂, 污垢和其他有机物. 除了用碱性化学试剂外还有超声波清洗等方式.

酸洗活化: 祛除金属表面的氧化层等产物, 裸露出金属本体, 形成不被二次氧化的过度层.

2 化学镀 Ni-P-SiC 的近期研究

最近, 很多人通过化学镀在 SiCp/Al 复合材料上稳定地制备 Ni-P-SiC 镀层, 但主要集中在基体的耐磨性和耐腐蚀性研究, 而 Gui-Wu Liu [6] 等人采用复合镀工艺在 Ni-P 镀层中引入不同含量的 SiC 颗粒, 研究了热处理对 Ni-P-SiC 涂层 HVF (70 vol%) SiCp/Al 复合材料的组织结构, 镀层相组成, 力学性能和热性能的影响. 如图3 显示了 HFC SiCp/Al 复合材料上 Ni-P-SiC 复合镀层 400°C 热处理 2h 后的表面显微图片, a-d 图是不同 SiC 颗粒含量的 Ni-P-SiC 镀层的表面形貌. 可以观察到 Ni-P-SiC 镀层的胞状结构边界模糊, 且形成少量絮状沉淀物, 这些沉淀物被鉴定为 Ni₃P.

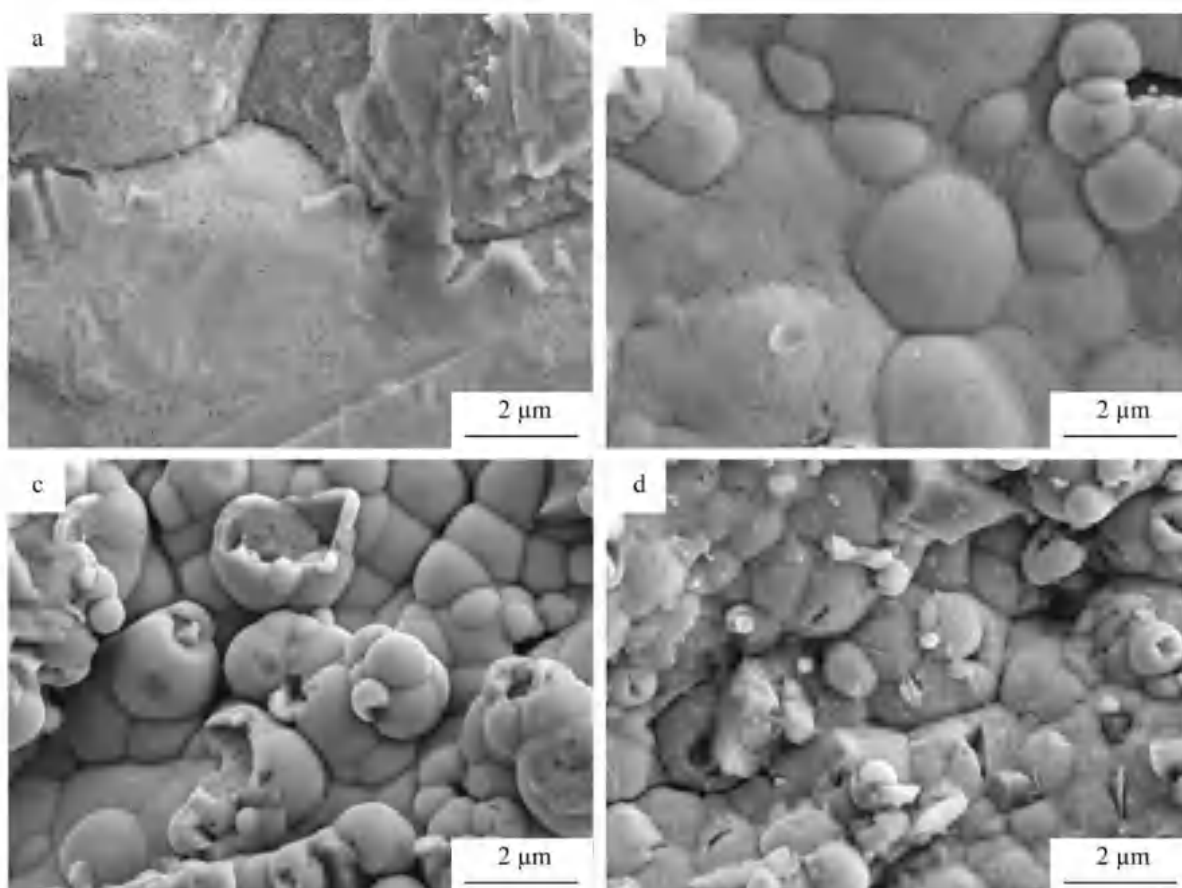


图3 SiC 含量为: a) $0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$; b) $3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$; c) $6 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$; 和 d) $9 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 Ni-P-SiC 包覆 HFC SiCP/Al 复合材料在 400°C 热处理 2h 后的 SEM 图像 [6]

Figure 3. SEM images of Ni-P-SiC-coated HFC SiCP/Al composites with SiC contents of: a) $0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$; b) $3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$; c) $6 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$; and d) $9 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ after heat treatment at 400°C for 2h [6]

相比在不同基体的研究,通过激光处理也能提升 Ni-P-SiC 镀层的性能,例如 Sayed Hamid Hashemi [7] 等人发现低功率激光处理可使 Ni-P-SiC 复合镀层形成稳定的磷化镍相,元素分布更加均匀, SiC 颗粒与基体的结合力增强,从而提高镀层的耐蚀性,同时提高镀层的耐磨性和耐蚀性. Sayed Hamid Hashemi [8] 等人还在 Al356 基体上共沉积了含 SiC 颗粒的 Ni-P 化学镀层,对比了未经过激光处理和经过不同功率激光处理后的 EN-SiC 镀层的硬度,如图4 所示,未经过激光处理的涂层表面硬度为 580 HV0.1,而经过激光处理后可达到 740 HV0.1. 激光处理后在 EN-SiC 沉积层基体中形成的高硬度 Ni-P 晶相可通过细晶强化和分散强化促进镀层的硬化,结果表明,随着激光功率的增加,复合镀层的硬度不断提高.

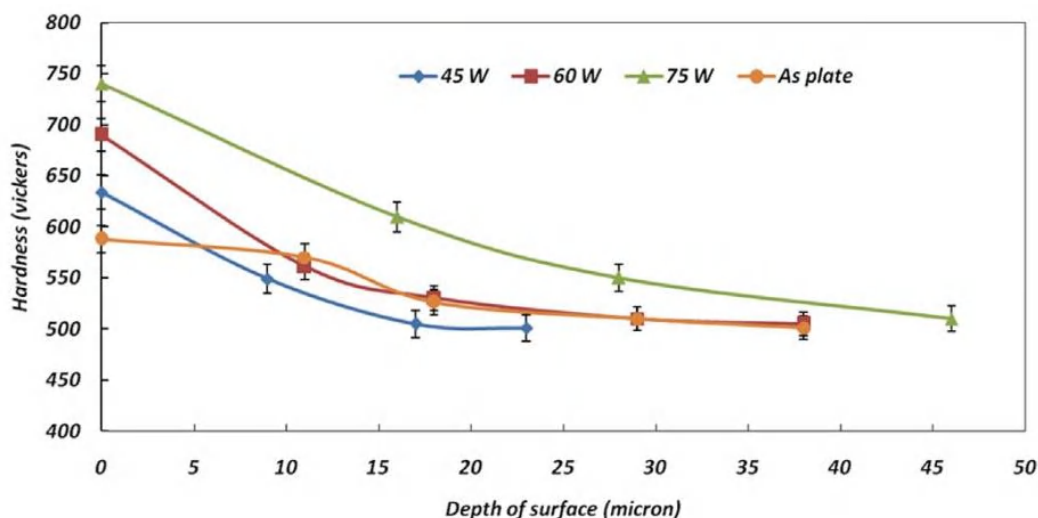


图4 在 5mm/sec 的激光扫描速度和不同激光功率条件下, 未处理 EN-SiC 和激光表面处理 EN-SiC 的显微硬度曲线 [8]

Figure 4. Microhardness curves of untreated EN-SiC and laser surface-treated EN-SiC at 5 mm/sec laser scanning speed and different laser power conditions

3 Ni-P-SiC 镀层在金属表面的应用

3.1 钢化学镀 Ni-P-SiC

为了提高轴颈的耐磨性能和使用寿命, 刘李 [1] 等人以 45 钢为基底材料, 通过电泳 – 化学镀两步法工艺制备 Ni-P-SiC 复合镀层, 随后对热处理前后镀层的物相结构, 显微硬度, 干摩擦性能与水润滑特性进行研究, 结果表明, 镀态与热处理后的 Ni-P-SiC 复合镀层均能达到水润滑低摩擦状态, 经过磨合后的摩擦系数能低至 0.015. 例如晁爽 [2] 等人利用电火花切割机, 以 42CrMo 作为基体, 通过将 SiCP 浸润到浸润液中, 改变 SiC 微粒表面的张力, 使 SiCP 分散的更加均匀并且对不了不同粒度和浓度下的 Ni-P-SiC 复合镀层的各种参数与性能. 当添加 0.5 μm 的 SiC 时, Ni-P-SiCP 复合镀层的表面更为致密平整, 沉积速率下降趋势也较为缓慢, 且当 SiC 浓度为 5g/L 时, Ni-P-SiCP 复合镀层的硬度最大, 约为 753HV. Zhechen Zhang [9] 等人提出了一种在低碳钢基体上电泳沉积 SiC 颗粒层, 然后再化学镀 Ni-P 的两步法制备高颗粒含量 Ni-P-SiC 镀层. 重点研究了 Ni-P-SiC 复合镀层在水中的摩擦学行为, 并对 Ni-P-SiC 复合镀层的耐磨性进行了研究, 通过水润滑试验, 发现 SiC 颗粒含量最高的试样可获得 0.015 的低摩擦系数, 光滑的表面和摩擦化学反应是两个基本要求, 主要磨损方式由高摩擦阶段的磨粒磨损转变为低摩擦阶段的摩擦化学磨损为主.

3.2 镁合金和黄铜片化学镀 Ni-P-SiC

张磊 [10] 等人以 AZ31B 镁合金为基材, 在碱性环境下化学镀 Ni-P-SiC, 并通过正交试验得到最佳配方, 该镀层的沉积速率较快, 可达 86.83g/(m²·h); 硬度较高, 可达 4102.9MPa. 宋振兴 [11] 等人采用黄铜片, 通过去氧化层, 水洗等预处

理, 在 89°C 的镀液中用铁钉引发化学镀. 镀层的硬度与耐磨性能测试表明, 随着镀液中 SiC 含量的增加, 复合镀层的硬度与耐磨性先升高后降低. 当镀液中 SiC 质量浓度为 10g/L 时, 镀层硬度及耐磨性最好, 热处理后的镀层硬度高达 1069 HV.

参考文献

- [1] 刘李, 张哲晨, 靳广虎, 等. Ni-P-SiC 镀层及其摩擦磨损特性研究 [J]. 金属功能材料, 2023, 30(05):123-129. DOI: 10.13228/j.boyuan.issn1005-8192.20230100.
- [2] 晁爽, 曹晶晶, 李河宗, 范磊, 杨军恒. 微纳 SiCP 粒度和浓度对化学镀 Ni-P-SiCP 复合镀层组织与性能影响 [J]. 电镀与精饰, 2025, (1).
- [3] 晁爽. 42CrMo 钢表面化学镀 Ni-P-SiCP 复合镀层制备工艺及性能研究 [D]. 河北工程大学, 2024. DOI: 10.27104/d.cnki.ghbjy.2024.000402.
- [4] 朱理北. Ni-P-SiC 复合化学镀的工艺与性能研究 [D]. 沈阳理工大学, 2015.
- [5] Shunqi Mei, Cong Zhou, Zekui Hu, Zhi Xiao, Quan Zheng, Xuhui Chai. Preparation of a Ni-P-nanoPTFE Composite Coating on the Surface of GCr15 Steel for Spinning Rings via a Defoamer and Transition Layer and Its Wear and Corrosion Resistance [J]. Materials (Basel, Switzerland), 2023, Vol.16(12): 4427.
- [6] Gui-Wu Liu, Wen-Qiang Luo, Xiang-Zhao Zhang, Hai-Cheng Shao, Tie-Zheng Pan, Guan-Jun Qiao. Microstructure, mechanical and thermal properties of Ni-P(-SiC) coating on high volume fraction SiCp/Al composite [J]. Rare Metals, 2023,42(2): 705-712.
- [7] Sayed Hamid Hashemi CA, Reza Shoja-Razavi, Ali Ashrafi, Mohammad Erfanmanesh, Sajjad Khalili. Evaluating the Effect of Laser Surface Modification on the Corrosion Behavior of Ni-P-SiC Electroless Coating Deposited on Al356 Alloy [J]. Transactions of the Indian Ceramic Society, 2023, Vol.82(1): 14-20.
- [8] Hashemi Sayed Hamid, Shoja-Razavi Reza, (Shoja_r@mut-es.ac.ir). Laser surface heat treatment of electroless Ni-P-SiC coating on Al356 alloy. [J]. Optics & Laser Technology, 2016, Vol.85: 1-6.
- [9] Zhechen Zhang, Chenbo Ma, Qinqwen Dai, Wei HuangCA1, Xiaolei Wang. A two-stage approach to Ni-P-SiC coatings and their friction against SiC in water [J]. Surface and Coatings Technology, 2023, Vol.457: 129268.
- [10] 张磊, 曾宪光, 陈红辉, 等. Ni-P-SiC 复合镀层性能的研究 [J]. 电镀与环保, 2017, 37(03):26-29.
- [11] 宋振兴, 姚素薇, 王宏智, 等. 化学镀 (Ni-P)-SiC 纳米复合镀层性能研究 [J]. 电镀与精饰, 2014, 36(12):1-5.

References

- [1] Liu Li, Zhang Zhechen, Jin Guanghu, et al. Ni-P-SiC coating and its friction and wear characteristics [J]. Metal Functional Materials, 2023, 30(05):123-129. DOI: 10.13228/j.boyuan.issn1005-8192.20230100.
- [2] Chao Shuang, Cao Jingjing, Li Hezong, Fan Lei, Yang Junheng. Effect of particle size and concentration of micronized SiCP on the organization and properties of chemically plated Ni-P-SiCP composite layers [J]. Plating and Finishing, 2025, (1).
- [3] Chao Shuang. Study on the preparation process and properties of chemically plated Ni-P-SiCP composite layer on 42CrMo steel surface [D]. Hebei University of Engineering, 2024. DOI: 10.27104/d.cnki.ghbjy.2024.000402.
- [4] Zhu Li-Bei. Research on the process and performance of Ni-P-SiC composite chemical plating [D]. Shenyang University of Technology, 2015.

- [5] Shunqi Mei, Cong Zhou, Zekui Hu, Zhi Xiao, Quan Zheng, Xuhui Chai. Preparation of a Ni-P-nanoPTFE Composite Coating on the Surface of GCr15 Steel for Spinning Rings via a Defoamer and Transition Layer and Its Wear and Corrosion Resistance [J]. Materials (Basel, Switzerland), 2023, Vol.16(12): 4427.
- [6] Gui-Wu Liu, Wen-Qiang Luo, Xiang-Zhao Zhang, Hai-Cheng Shao, Tie-Zheng Pan, Guan-Jun Qiao. Microstructure, mechanical and thermal properties of Ni-P(-SiC) coating on high volume fraction SiCp/Al composite [J]. Rare Metals, 2023,42(2): 705-712.
- [7] Sayed Hamid Hashemi CA, Reza Shoja-Razavi, Ali Ashrafi, Mohammad Erfanmanesh, Sajjad Khalili. Evaluating the Effect of Laser Surface Modification on the Corrosion Behavior of Ni-P-SiC Electroless Coating Deposited on Al356 Alloy [J]. Transactions of the Indian Ceramic Society, 2023, Vol.82(1): 14-20.
- [8] Hashemi Sayed Hamid, Shoja-Razavi Reza, (Shoja_r@mut-es.ac.ir). Laser surface heat treatment of electroless Ni-P-SiC coating on Al356 alloy. [J]. Optics & Laser Technology, 2016, Vol.85: 1-6.
- [9] Zhechen Zhang, Chenbo Ma, Qinqwen Dai, Wei HuangCA1, Xiaolei Wang. A two-stage approach to Ni-P-SiC coatings and their friction against SiC in water [J]. Surface and Coatings Technology, 2023, Vol.457: 129268.
- [10] Zhang Lei, Zeng Xinguang, Chen Honghui, et al. Study on the properties of Ni-P-SiC composite plating [J]. Electroplating and Environmental Protection, 2017, 37(03):26-29.
- [11] Song Zhenxing, Yao Suwei, Wang Hongzhi et al. Study on the properties of chemically plated (Ni-P)-SiC nanocomposite coatings [J]. Plating and Finishing, 2014, 36(12):1-5.