

环保型 MXene 复合涂层防护性能研究

王天歌, 曹怀杰*

上海电力大学环境与化学工程学院, 上海

上海市电力材料防护与新材料重点实验室, 上海

摘要:

二维(2D)材料在腐蚀性介质中的金属防腐方面显示出潜在的应用。二维 MXene 基复合涂层对特殊条件下的金属具有良好的防腐前景。然而,在复合涂层中二维纳米片的均匀分散、复杂功能化和结构控制方面仍然是一个挑战。在恶劣的条件下, MXene 的长期防腐能力和作用尚不清楚。通过一步电沉积工艺在铝合金表面构筑一种仿生分级结构的肉豆蔻酸(Myristic acid)+CaCl₂+MXene (MA+CaCl₂+MXene)复合涂层。在没有复杂功能化,分散和结构控制的情况下,通过电化学试验、微观结构表征、化学成分分析、原位试验等,研究了 MXene 复合涂层在酸性条件下(0.5M H₂SO₄+2ppmHF)的腐蚀防护性能,其腐蚀电流密度低至 $7.498 \times 10^{-8} \text{ A/cm}^2$,相比空白铝合金降低了约 5 个数量级,其保护效率达 99.9%。通过涂层摩擦磨损实验研究了涂层的耐磨性能,该涂层摩擦系数低至 0.07,具有更低的磨损率。结果表明,该复合涂层具有良好的耐磨性。通过原位生长和浸涂工艺在铝合金表面构筑 Ti₃C₂T_x/层状双氢氧化物(LDH)异质结构涂层。在没有复杂的功能化、分散和结构控制的情况下,通过电化学测试和微观结构表征证实异质结构涂层提供了更强的耐腐蚀性,抑制率高达 97.73%。结果表明,与空白铝合金相比,加入 MXene 可以将腐蚀电流密度降低约 40 倍,并将涂层电阻提高 54 倍。此外, Ti₃C₂T_x/LDH 涂层在 3.5wt% NaCl 溶液中浸泡 30 天后仍然表现出自修复能力,表明该涂层对铝合金提供 30 天的长期腐蚀保护。通过溶液法在铜上制备 Ti₃C₂T_x/3-巯基丙基三乙氧基硅烷复合涂层,而不对 Ti₃C₂T_x MXene 进行化学改性。通过电化学阻抗谱(EIS)和动电位极化对其防腐性能进行了表征。结果表明,与纯硅烷涂层相比,复合涂层在 10⁻² Hz 下的阻抗模量增加了 1.8 个数量级,电流密度降低了约 5 倍。此外,复合涂层在浸泡 16 天后显示出高阻抗模量,并且在浸泡 30 天后保持 98.55%的保护效率。通过以上方法制备的二维层状材料 MXene 防腐涂层的研究结果表明,二维材料复合涂层在金属表面涂层防护领域具有良好的应用前景,为金属防腐提供了低碳环保的新策略。

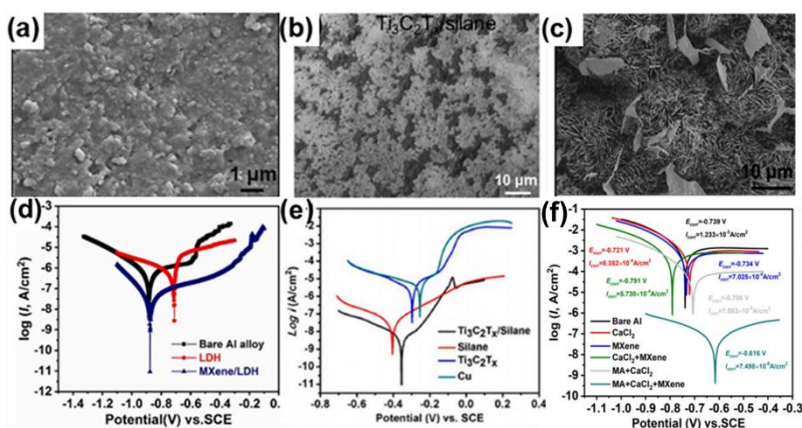


图 1 MXene 复合涂层形貌及腐蚀防护性能

关键词: Ti₃C₂T_x MXene; 涂层; 腐蚀防护

通讯作者简介: 曹怀杰, 讲师, 主要研究领域为金属腐蚀防护及功能复合涂层, 邮箱:hjcao0510@shiep.edu.cn)。