

增材制造含铜钛合金的抗亚稳点蚀作用机制研究

生命健康问题成为我国现阶段面临的严峻挑战，《“十四五”规划纲要》已将“高性能医疗器械”列为亟需发展的核心技术。以激光粉床熔融（LPBF）为代表的增材制造技术成功制造满足个性化需求的金属植入器械，已应用于骨科及牙科领域。然而，LPBF 钛合金的组织以 α' 马氏体为主，容易腐蚀形成明显的亚稳态凹坑，增加植入物失效风险。这项工作基于晶界工程策略，成功制备出高性能增材制造含铜钛合金（LPBF-Ti-5Cu、LPBF-Ti6Al4V-5Cu）。如图 1 所示，实验发现 5wt.%Cu 的添加能够明显细化马氏体板条，平均晶粒尺寸由 $0.97 \mu\text{m}$ 降至 $0.36 \mu\text{m}$ ，有利于促进合金钝化膜中稳定氧化物（如 TiO_2 、 Al_2O_3 ）的形成，降低钝化膜中氧空位浓度。此外，前期研究证实含铜钛合金的钝化膜中 Cu 以间隙物($\text{Cu}_{\text{Tt}}^{\text{x}}$)的形式存在，在此基础上，本研究进一步结合点缺陷模型，如图 2 所示，进一步证实 $\text{Cu}_{\text{Tt}}^{\text{x}}$ 能够消耗钝化膜中的阳离子空位，有效地抑制亚稳点蚀的形核与发展，进而 Cu 的添加能够显著提高增材制造钛合金在 3.5%NaCl 溶液中的抗亚稳点蚀的能力。该工作阐明了 Cu 的添加对增材制造钛合金的显微组织、亚稳点蚀行为的影响机制，为高性能增材制造钛合金植入物的开发提供了新思路。该研究结果以“Metastable pitting corrosion behavior of laser powder bed fusion produced Ti6Al4V-Cu in 3.5% NaCl solution”发表于 Corrosion Science (2023, 223, 111452, <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2023.111452>)。

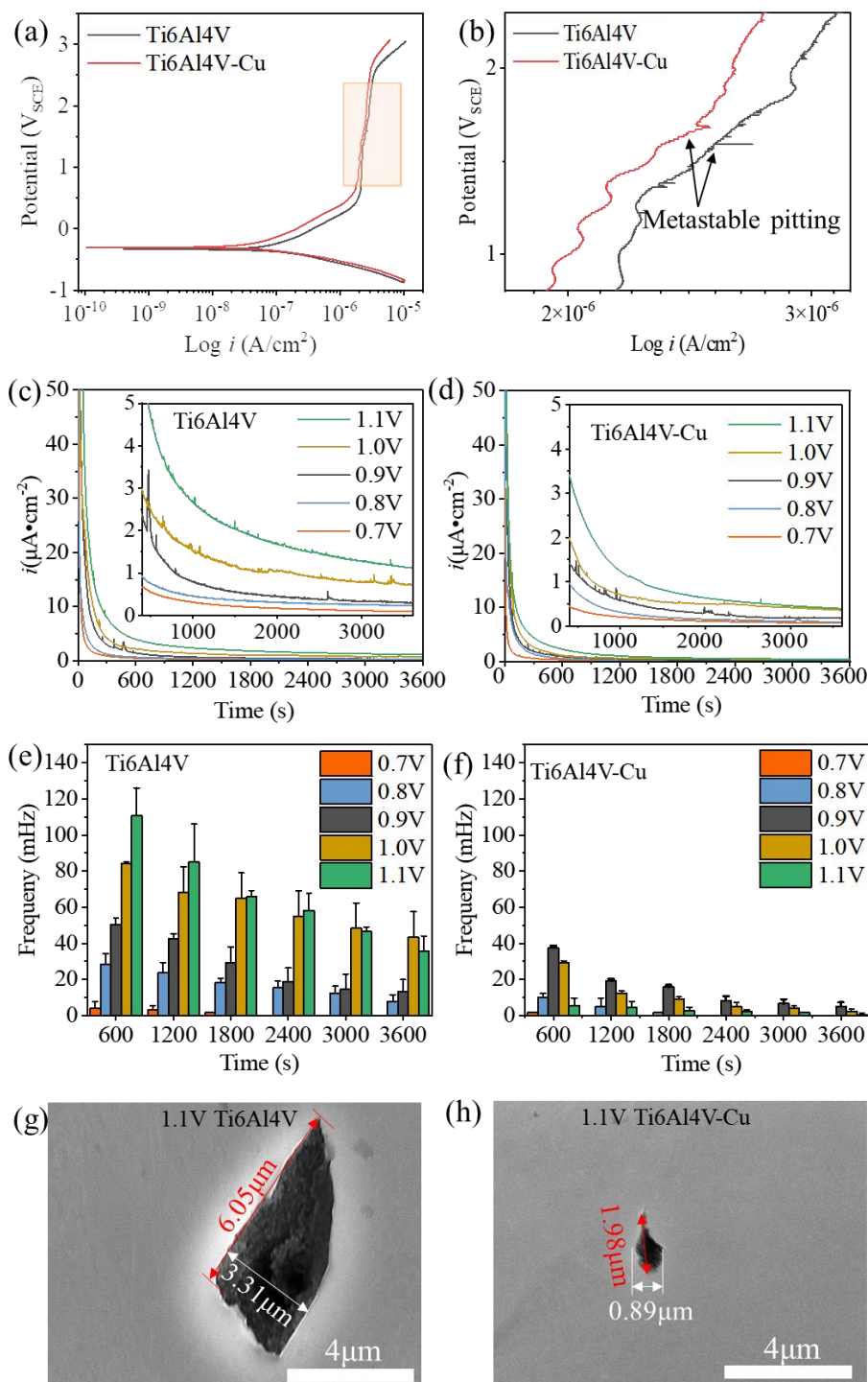


图 1.亚稳点蚀行为分析：LPBF 制备的 (a) Ti6Al4V 和 (b) Ti6Al4V-Cu 合金在 3.5%NaCl 溶液中动电位极化曲线；(c) 和 (d) 分别为两种合金经不同电位下的恒电位极化曲线；(e) 和 (f) 分别为两种合金的亚稳点蚀形核率统计结果；(g) 和 (h) 经 1.1V V_{SCE} 极化后的两种合金表面点蚀坑形貌

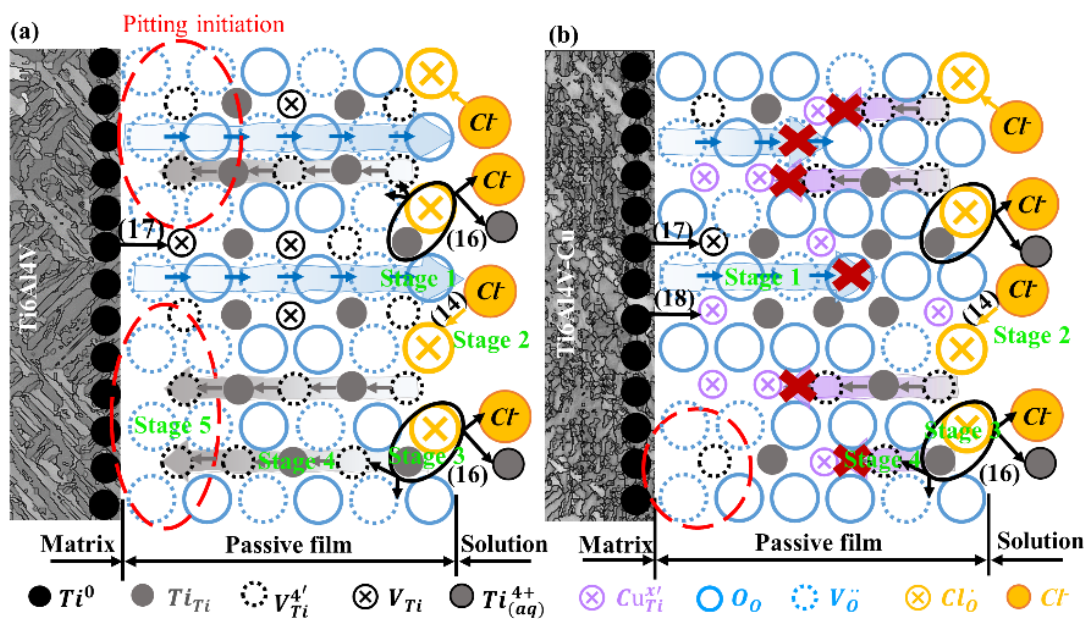


图 2. (a) Ti6Al4V 和 (b) Ti6Al4V-Cu 合金在 3.5%NaCl 溶液中的抗稳点蚀行为机制示意图