

2024 年度中国腐蚀与防护学会科学技术奖申报公示材料

项目名称：高氮不锈钢钝化与腐蚀机理

主要完成人：李花兵、冯 浩、姜周华、杨 柯、乔岩欣、徐大可、吴欣强、张 涛
张树才、朱红春、路鹏冲、张彬彬、赵 阳、代 晶

主要完成单位：东北大学、中国科学院金属研究所、江苏科技大学

项目简介：高氮不锈钢是随着冶金科技进步出现的一种新型工程材料，具有优异的综合力学性能和耐蚀性能，在航空航天、石油化工、海洋工程、能源、医疗器械和军事等诸多领域应用前景广泛，作为我国高端装备制造业急需的关键材料，逐渐成为研发和应用的焦点。然而，氮及其与钢中合金元素的相互作用对耐蚀性能的影响机制仍不明晰，特别是超过常压溶解度的更高氮含量的有益作用尚需进一步深入挖掘。受加压冶金关键装备及技术的制约，关于更高氮含量对不锈钢耐蚀性能作用机制的研究鲜有报道。本项目在国家自然科学基金重点项目和钢铁联合重点项目等资助下，开展了高氮不锈钢钝化与腐蚀机理方面的研究工作，主要取得如下创新点：

(1) 从“溶解-电离-沉积”视角，首次定量描述了氮通过生成 $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ 消耗金属/溶液界面 H^+ ，加速钝化膜形核长大的动态过程，揭示了氮促进钝化膜形成，改善耐蚀性的本质；阐明了超过常压溶解度的更高氮增加钝化膜中铬含量、降低钝化膜缺陷密度，显著提高耐蚀性的作用机制，从而提出“利用加压冶金手段突破氮常压溶解度限制增氮”显著提升耐蚀性的方法。

(2) 阐明了增氮“提高固溶氮改善钝化膜并促进再钝化”与“析出氮化物诱发贫铬”影响高氮马氏体不锈钢耐蚀性的竞争机制。明晰了钼提高不锈钢组织稳定性，增加固溶氮并减少析出相，改善耐蚀性的新机制；与此同时，增加固溶氮强化了钼改善耐蚀性作用，首次揭示了“氮钼协同”提高马氏体不锈钢耐蚀性的机理，建立了以“碳氮调控”和“氮钼协同”为核心的合金设计方法。

(3) 揭示了氮对高氮无镍奥氏体不锈钢在模拟体液中电化学腐蚀行为和生物学性能的影响规律，阐明了氮对表面能、界面张力的影响机理并建立了其与血液相容性的关系，开发出新型高氮无镍医用不锈钢，颁布了外科植入用高氮无镍奥氏体不锈钢企业标准，并全球首次将该新材料用于心血管支架（获得 CE 认证）。

代表作目录:

1. Feng Hao, Li, Hua-Bing*, Dai Jing, Han Yu, Qu Jin-Dong, Jiang Zhou-Hua, Zhao Yang, Zhang Tao*. Why CoCrFeMnNi HEA could not passivate in chloride solution?-A novel strategy to significantly improve corrosion resistance of CoCrFeMnNi HEA by N-alloying, *Corrosion Science*, 2022, 204: 110396.
2. Fu Yao, Wu Xinqiang*, Han En-Hou, Ke Wei, Yang Ke, Jiang Zhouhua. Effects of cold work and sensitization treatment on the corrosion resistance of high nitrogen stainless steel in chloride solutions, *Electrochimica Acta*, 2009, 54(5): 1618-1629.
3. Feng Hao, Jiang Zhouhua, Li Huabing*, Lu Pengchong, Zhang Shucui, Zhu Hongchun, Zhang Binbin, Zhang Tao*, Xu Dake, Chen Zhigang. Influence of nitrogen on corrosion behaviour of high nitrogen martensitic stainless steels manufactured by pressurized metallurgy, *Corrosion Science*, 2018, 144: 288-300.
4. Qiao Yan-Xin, Zheng Yu-Gui*, Ke Wei, Okafor P. C. Electrochemical behaviour of high nitrogen stainless steel in acidic solutions, *Corrosion Science*, 2009, 51(5): 979-986.
5. Yang Ke*, Ren Yibin. Nickel-free austenitic stainless steels for medical applications, *Science and Technology of Advanced Materials*, 2010, 11(1): 014105.