

不锈钢材料的性能提升与家电产品耐用性研究

高天元

广东美的暖通设备有限公司, 广东 佛山 528000

DOI: 10.61369/ME.2024070002

摘要： 不锈钢材料因其优异的耐腐蚀性和力学性能，在家电制造领域具有重要应用价值。随着家电行业向高端化、智能化、绿色化转型，不锈钢性能的优化技术（如合金化调控、表面改性及智能制造工艺）成为提升家电产品耐用性的关键。本文探讨了不锈钢性能提升的关键技术及其对家电耐用性的影响机制，分析了新型不锈钢材料的研发方向和智能制造技术的应用前景，旨在为家电行业提供高效、可持续的解决方案。

关键词： 不锈钢；家电耐用性；性能提升

Research on the Performance Improvement of Stainless Steel Materials and the Durability of Home Appliances

Gao Tianyuan

Guangdong Midea Warm Air Conditioning Equipment Co., Ltd. Foshan, Guangdong 528000

Abstract： Stainless steel materials are highly valued in the home appliance manufacturing field due to their excellent corrosion resistance and mechanical properties. As the home appliance industry transitions towards high-end, intelligent, and green development, the optimization technologies of stainless steel performance (such as alloying control, surface modification, and intelligent manufacturing processes) have become crucial for enhancing the durability of home appliances. This paper explores the key technologies for improving stainless steel performance and their impact mechanisms on the durability of home appliances, analyzes the development directions of new types of stainless steel materials and the application prospects of intelligent manufacturing technologies, and aims to provide efficient and sustainable solutions for the home appliance industry.

Keywords： stainless steel; appliance durability; performance enhancement

引言

不锈钢材料因其优异的耐腐蚀性、力学性能和美观性，已成为家电制造领域的关键材料，直接影响产品的耐用性和市场竞争力。2024年7月，国家发展改革委、财政部颁布《关于加力支持大规模设备更新和消费品以旧换新的若干措施》，统筹安排3000亿元左右超长期特别国债资金，进一步推动家电行业向高端化、智能化、绿色化转型，刺激不锈钢需求增长。在该政策推动下，预计2025年家电领域不锈钢消费量将提升9.96%至337.92万吨。当前，不锈钢性能优化技术（如合金化调控、表面改性及智能制造工艺）的进步显著提升了家电产品的使用寿命，而高熵合金、环保不锈钢等新型材料的研发则为行业可持续发展提供了新方向。与此同时，消费者对家电耐久性和健康属性的需求升级，促使企业采用更高性能的不锈钢材料，如316L不锈钢在高端厨电中的应用比例持续上升。在此背景下，研究不锈钢性能提升与家电耐用性的关联机制，对推动产业升级、响应政策导向具有重要现实意义。

一、不锈钢材料的基本特性与家电应用现状

（一）不锈钢材料的分类与基本性能

不锈钢根据其微观组织和合金成分可分为奥氏体、铁素体和马氏体三大类。奥氏体不锈钢（如304、316）以高铬镍成分为主，具有优异的耐腐蚀性、良好的塑性和焊接性，适用于高湿、高盐环境；铁素体不锈钢（如430）含铬量高但镍含量低，耐氯化物应力腐蚀性能较好，但韧性较低，多用于低载荷部件；马氏体

不锈钢（如410）通过热处理可调整硬度和强度，但耐蚀性相对较差，适用于耐磨性要求较高的场景^[1]。力学性能方面，奥氏体不锈钢表现出较高的延展性和韧性，而马氏体不锈钢则可通过淬火和回火获得较高硬度和抗拉强度。耐腐蚀性主要取决于铬含量及表面钝化膜的形成能力，其中钼元素的添加可显著提升抗点蚀性能。

（二）不锈钢在家电产品中的应用现状

不锈钢因其耐腐蚀、易清洁和美观等特点，广泛应用于冰

箱、洗衣机、厨具等家电产品^[2]。在冰箱制造中，304不锈钢常用于内胆和门板，其耐酸碱和抗微生物特性可延长食品储存安全性；洗衣机滚筒多采用430不锈钢，兼顾耐水腐蚀和成本效益；高端厨具（如抽油烟机、燃气灶）则倾向于采用316不锈钢，以抵抗高温油烟的氧化和腐蚀。不锈钢的耐用性直接影响家电产品的生命周期，例如，奥氏体不锈钢的耐蚀性可减少冰箱内胆的锈蚀风险，而马氏体不锈钢的高硬度可确保刀具和搅拌机部件的长期耐磨性^[3]。随着消费者对家电品质要求的提升，高性能不锈钢的应用比例正逐步扩大。

二、不锈钢材料性能提升的关键技术

（一）合金化与微观结构优化

不锈钢性能的优化主要依赖合金化与微观结构调控。铬（Cr）作为核心元素，含量提升可增强钝化膜稳定性，显著提高耐蚀性；镍（Ni）的加入促进奥氏体相形成，改善低温韧性和加工性能；钼（Mo）的引入则有效抑制点蚀和缝隙腐蚀，尤其适用于高氯环境^[4]。热处理工艺通过调控晶界碳化物析出行为优化材料性能，如固溶处理可消除晶界贫铬区，提高耐晶间腐蚀能力；时效处理则用于马氏体不锈钢，通过析出强化相提升强度与硬度。晶粒细化技术（如控轧控冷）能够同时提高材料的强度和韧性，减少应力腐蚀开裂倾向。

（二）表面处理技术

表面改性技术是提升不锈钢耐磨与耐蚀性能的关键手段。电化学抛光通过选择性溶解表面微观凸起，降低粗糙度并形成均匀钝化膜，减少腐蚀起始点；物理气相沉积（PVD）和化学气相沉积（CVD）技术可在表面制备氮化钛、类金刚石碳等硬质涂层，显著提高耐磨性并阻隔腐蚀介质渗透^[5]。钝化处理利用硝酸或柠檬酸溶液去除表面游离铁并富集铬氧化物层，增强钝化膜致密性。激光表面重熔、微弧氧化等新兴技术通过快速凝固形成非晶或纳米晶表层，进一步优化耐蚀与抗疲劳性能，适用于高端家电部件的长寿命需求。

三、不锈钢性能提升对家电耐用性的影响机制

（一）耐腐蚀性能的提升与家电寿命的关系

1. 盐雾腐蚀与家电使用环境分析

家电产品的服役环境显著影响不锈钢的腐蚀行为。厨房环境中的高温高湿、油烟及酸性清洁剂加速不锈钢表面钝化膜的破坏，导致局部点蚀；沿海地区的高盐雾环境促进氯离子吸附，引发应力腐蚀开裂。洗衣机长期接触含氯洗涤剂，内筒焊缝处易发生缝隙腐蚀；冰箱门封处冷凝水积聚则可能诱发电化学腐蚀。不同环境下的腐蚀机制差异要求不锈钢材料具备针对性防护能力，如厨房电器需更高钼含量的奥氏体不锈钢，而沿海地区家电则需优化表面处理工艺以增强耐氯离子渗透性^[6]。

2. 耐蚀性优化策略的实证研究

对比304、316不锈钢及经PVD涂层处理的430不锈钢在盐雾

试验中的表现，316不锈钢因钼元素添加腐蚀速率降低40%；PVD氮化钛涂层使430不锈钢耐蚀性接近304水平。电化学测试表明，经激光重熔处理的马氏体不锈钢点蚀电位提升200mV，显著延长刀具使用寿命。加速老化实验显示，钝化处理后的冰箱内胆在模拟厨房环境下服役寿命延长3-5年。微观分析证实，晶界工程处理可减少50%的晶间腐蚀倾向，验证了微观结构优化对家电长期可靠性的关键作用^[7]。

（二）力学性能优化与家电结构耐久性

1. 疲劳强度与抗冲击性能研究

家电结构件在长期循环载荷作用下易发生疲劳失效，如洗衣机滚筒的周期性转动和冰箱门铰链的反复开合。奥氏体不锈钢虽具良好韧性，但低周疲劳性能需通过晶粒细化和氮合金化提升；马氏体不锈钢经回火处理后疲劳极限提高15%-20%，适用于高应力部件。冲击测试表明，冷作硬化处理的304不锈钢夏比冲击功达100J以上，可满足洗衣机内筒抗变形需求。有限元分析显示，优化后的不锈钢支架在10万次循环载荷后应力集中系数降低30%，显著延长结构寿命^[8]。

2. 轻量化设计与材料性能平衡

高强度铁素体不锈钢（如445J2）屈服强度达450MPa以上，在保持相同承载能力时可减薄冰箱面板厚度20%。双相不锈钢（如2205）通过两相组织协同作用实现强度-韧性最佳匹配，使洗碗机内胆重量减轻15%而不影响抗水压性能。拓扑优化设计结合激光焊接技术，使油烟机不锈钢壳体在减重30%情况下，固有频率仍避开常见振动区间。纳米析出强化型不锈钢的开发为家电轻量化提供了新途径，其比强度较传统材料提升40%以上。

四、家电产品中不锈钢材料的未来发展趋势

（一）新型不锈钢材料的研发方向

1. 高熵合金不锈钢的潜力

高熵合金不锈钢凭借其多主元设计理念展现出卓越的综合性。由五种以上主元元素构成的CoCrFeNiMn系高熵合金，在800℃高温下仍保持稳定的奥氏体组织，抗氧化性能较传统304不锈钢提升2-3倍。其独特的晶格畸变效应使耐点蚀当量（PREN）值超过40，特别适用于高温高压环境下的烤箱内胆和蒸汽家电部件。高熵合金的加工硬化率显著高于常规不锈钢，制造的榨汁机刀具寿命延长50%以上。虽然目前成本较高，但随着制备工艺优化，其在高端家电领域的应用前景广阔^[9]。

2. 环保型不锈钢的开发

环保型不锈钢研发聚焦资源节约和环境友好特性。无镍奥氏体不锈钢采用锰氮复合替代镍元素，成本降低20%的同时维持相近的耐蚀性，已成功应用于洗衣机平衡环等非接触食品部件。超纯铁素体不锈钢通过将碳氮总量控制在150ppm以下，焊接性能改善30%，适用于整体式热水器内胆制造。氢能炼钢工艺生产的低碳不锈钢（碳足迹减少40%）正逐步应用于欧盟市场的厨电产品，符合ErP指令的生态设计要求。生物基不锈钢表面处理技术的开发进一步推动家电行业向循环经济模式转型^[10]。

（二）智能制造与不锈钢加工技术

1.3D打印技术在不锈钢家电部件中的应用

激光粉末床熔融（LPBF）技术可实现316L不锈钢复杂结构件的一次成型，孔隙率控制在0.5%以下，抗拉强度达传统锻造件的95%。拓扑优化设计的3D打印冰箱铰链，在减重25%前提下，疲劳寿命提升40%。选区激光熔化（SLM）成型的薄壁不锈钢热交换器，其流道表面粗糙度 $Ra \leq 6.3 \mu m$ ，换热效率提高15–20%。后处理热等静压（HIP）技术可消除内部缺陷，使打印件的耐腐蚀性能达到锻件标准。增材制造为个性化家电的不锈钢部件提供了新的解决方案。

2.智能化表面检测与耐久性预测

基于深度学习的视觉检测系统可实现不锈钢表面缺陷的在线识别，对0.1mm以上划痕的检出率达99.7%。多传感器融合技术结合涡流检测和红外热成像，能实时监测不锈钢焊接接头的微裂纹扩展。机器学习算法通过分析服役环境参数（温度、湿度、应力）与材料性能退化数据，预测家电不锈钢部件的剩余寿命，准确度超过90%。数字孪生技术构建的虚拟样机可模拟不同使用场景下的材料性能演变，为产品设计优化提供数据支持。

（三）家电行业标准与不锈钢选材优化

1.国际标准对比与性能要求

国际标准体系对家电用不锈钢的性能要求存在显著差异。ISO 16143-1规定食品接触用不锈钢的铅、镉迁移量限值较 ASTM A240更为严格，欧盟 EN 10088-2额外要求铬释放量需低于 $0.1 \mu g/cm^2$ 。美国 NSF/ANSI 51标准对洗碗机用不锈钢的耐盐雾腐蚀时间要求达到500小时，高于中国 GB/T 3280的300小时标准。日本 JIS G4303特别强调不锈钢在高温高湿环境下的抗应力腐

蚀性能，规定特定 Cl^- 浓度下的开裂时间阈值。这些差异直接影响出口型家电产品的材料选择，需根据目标市场进行针对性合规设计。

2.成本效益分析与选材建议

家电不锈钢选材应建立全生命周期成本评估模型。经济型方案推荐430不锈钢用于洗衣机外筒等非关键部件，材料成本较304降低30%且满足基本耐蚀需求。中高端产品采用氮合金化节镍型不锈钢（如201Cu），在保持奥氏体特性的同时降低原料价格波动风险。关键承力部件优选双相不锈钢2205，虽然单价高40%，但使用寿命延长3倍以上。表面处理工艺的选择需平衡初始投入与维护成本，PVD涂层相比传统电镀可使抽油烟机面板的维修周期从3年延长至8年。

五、总结

不锈钢性能提升的关键技术，包括合金化优化、微观结构调控及先进表面处理，显著增强了家电产品的耐用性。高铬镍组成分设计结合晶界工程，提高了材料的耐蚀性和力学性能；PVD涂层、激光处理等表面改性技术进一步延长了关键部件的使用寿命。研究表明，通过材料–工艺协同优化，家电不锈钢部件的服役寿命可提升30%–50%。未来研究应聚焦材料–工艺–设计一体化策略，开发智能预测模型以优化选材方案，同时推动高熵合金、环保不锈钢等新型材料的产业化应用。智能制造技术与数字化寿命评估方法的结合，将为家电行业提供更高效、可持续的解决方案。

参考文献

- [1]王晴晴,王涵翰,李涛,等.不锈钢镀铬层结合力提升研究[J].长沙航空职业技术学院学报,2023,23(4):1–3.
- [2]张延娜,王立达,孙文,等.燃料电池不锈钢双极板 Ni/Cr–C 镀层的制备与性能研究[J].材料保护,2021,54(5):6.
- [3]吴洋.不锈钢应用及其表面处理技术分析[J].中国设备工程,2017(13):2.
- [4]王晴晴,王涵翰,李涛,等.不锈钢镀铬层结合力提升研究[J].长沙航空职业技术学院学报,2023,23(4):1–3.
- [5]管海陆.碳纤维/不锈钢极薄带复合材料抗冲击性能研究[D].太原理工大学,2023.
- [6]张肖飞.316LN奥氏体不锈钢耐腐蚀性能研究[D].安徽工业大学,2021.
- [7]刘志远,钱波.316L/碳化钎复合材料 SLM 成形性能强化研究[J].粉末冶金工业,2019,29(6):5.
- [8]马文远.双相不锈钢热变形开裂机制及影响因素研究[D].燕山大学,2021.
- [9]刘晓,王龙妹,陈雷,等.双相不锈钢475℃脆性及其形成特点对性能的影响[J].钢铁研究学报,2010,22(5):46–50.
- [10]黄敏.2012家电用高品质铁素体不锈钢应用研讨会召开[J].电器,2012(11):1.