

不锈钢覆面制作工艺研究

常兴龙

上海核工程研究设计院股份有限公司陆丰项目部 上海 200071

摘要：不锈钢覆面凭借优异的耐蚀性与美观性，在工业与建筑领域广泛应用。其制作工艺涵盖电火花表面熔覆、激光熔覆等多种技术，但在实际应用中，存在结合强度不足、生产成本高及质量稳定性欠佳等问题。通过深入分析各工艺特性，针对性提出改进结合技术、降低成本、优化质量管控等策略，为提升不锈钢覆面制作工艺水平、推动行业发展提供理论与实践参考，助力其在更多领域实现高效应用。

关键词：不锈钢覆面；制作工艺；策略

引言

随着现代工业与建筑行业的快速发展，不锈钢覆面因兼具良好的机械性能、耐腐蚀性及装饰性，成为众多领域的首选材料。目前，电火花表面熔覆、激光熔覆等多种工艺应用于不锈钢覆面制作，但在实际生产中，结合强度、成本控制及质量稳定性等问题制约着其进一步推广。本文基于行业需求与技术发展现状，系统梳理不锈钢覆面制作工艺要点，深入剖析现存问题，提出优化策略，以期为相关技术革新与产业升级提供理论支撑。

1 不锈钢覆面概述

不锈钢覆面是一种以不锈钢材料作为表面覆盖层，通过特定工艺与基层材料结合形成的复合结构。其核心原理在于利用不锈钢优异的耐腐蚀性、高强度及美观性，对基层设备或结构形成保护性覆盖，从而提升整体使用寿命与性能表现。不锈钢覆面技术通过热压、冷弯、切割、焊接等工艺实现与基层的冶金结合，既保留不锈钢的物理特性，又可适配碳钢等基层材料的力学性能。该技术广泛应用于能源、化工、食品及建筑领域。在核电站建设中，不锈钢覆面用于压力容器、控制室屏蔽门等关键设备，通过涂胶粘贴或激光焊接形成耐腐蚀保护层，显著降低设备腐蚀风险；在食品工业中，覆面技术应用于生产设备表面，可有效预防因焊缝缺陷导致的污染风险，确保食品安全；建筑领域则利用其耐候性与装饰性，在大型幕墙、雷达塔体等场景中实现功能与美学的统一。不锈钢覆面的技术优势体现在多方面：通过选择304、316L等不同牌号材料，可定制化满足耐酸碱、抗氯离子腐蚀等特殊工况需求；采用脉冲涡流热成像等无损检测技术，可精准识别覆面焊缝的微小缺陷，确保结构完整性；复合结构通过优化基层与覆层厚度配比，实现强度与成本的平衡。随着材料科学与加工技术的进步，不锈钢覆面正朝着更高精度、更智能化方向演

进，为极端环境下的工业应用提供可靠保障。

2 不锈钢覆面制作工艺要点

2.1 电火花表面熔覆工艺

电火花表面熔覆工艺基于高频脉冲放电原理，在工具电极与工件表面之间产生瞬时高温高压放电通道，促使不锈钢电极材料瞬间熔化并渗入基层表面，形成冶金结合的覆层结构。该工艺通过精确控制脉冲电源的电压、频率及放电时间，可实现对覆层厚度、组织形态及性能的有效调控。当脉冲能量较低时，能形成致密且均匀的纳米晶组织，显著提升表面硬度与耐磨性；增大脉冲参数则可增加熔覆层厚度，适用于修复尺寸超差的工件表面。在冶金行业的轧辊表面处理中，利用电火花熔覆不锈钢材料，可使轧辊表面硬度达到HV800以上，耐磨性能提升3倍以上，有效延长设备使用寿命。其独特的微区加热特性，使热影响区局限在微米级范围内，避免基层材料因高温产生变形或性能劣化，特别适合精密零件的表面改性处理。通过调整电极材料成分，可在基层表面制备出具有特殊性能的复合涂层，如添加碳化钨颗粒形成耐磨抗蚀复合层，满足不同工况下的使用需求^[1]。

2.2 激光熔覆工艺

激光熔覆工艺利用高能量密度激光束快速加热并熔化不锈钢粉末与基层材料表面薄层，在快速凝固过程中形成与基体呈冶金结合的覆层。激光束聚焦光斑直径可精确控制在0.1-2mm之间，能量密度高达104-107W/cm²，使熔覆过程在极短时间内完成，有效抑制元素扩散与稀释率，获得成分均匀、组织细小的覆层结构。该工艺通过调节激光功率、扫描速度及送粉速率等参数，可实现单层熔覆厚度0.1-3mm的连续控制，满足不同工程需求。在航空发动机叶片修复领域，采用激光熔覆316L不锈钢材料，可在受损叶片表面形成致密的耐腐蚀覆层，结合强度超过800MPa，使叶片疲劳寿命提升40%以上。激光

熔覆过程中，惰性气体保护系统可有效隔绝空气，避免覆层氧化及气孔缺陷产生，保证涂层质量稳定性。其非接触式加工特性使其适用于复杂曲面及异形零件的表面处理，通过五轴联动数控系统，可实现三维空间的精准熔覆，为高端装备制造提供可靠的表面强化解决方案。

2.3 热轧复合工艺

热轧复合工艺通过高温高压条件下的金属塑性变形，使不锈钢覆层与基层材料实现原子级别的冶金结合。在轧制过程中，将表面清洁处理后的不锈钢板与基层钢板加热至800-1100℃的高温区间，利用轧机强大的轧制力使两层金属紧密贴合，通过界面原子的相互扩散形成牢固的结合层。该工艺可根据不同使用要求，灵活调整覆层与基层的厚度比例，常见的覆层厚度范围为0.5-5mm。在石油化工领域的储罐制造中，采用热轧复合工艺制备的不锈钢复合板，覆层与基层的剪切强度可达300MPa以上，有效抵抗介质腐蚀与压力作用。轧制过程中，通过控制轧制温度、压下率及冷却速度等参数，可优化覆层与基层的组织性能，使复合板兼具不锈钢的耐腐蚀性与基层材料的高强度特性。热轧复合工艺生产效率高，适合大规模工业化生产，通过连续轧制生产线，可实现复合板的高速生产，大幅降低制造成本，同时保证产品质量的一致性与稳定性。

2.4 覆膜工艺

覆膜工艺采用粘结剂或机械固定方式，将不锈钢薄膜紧密贴合于基层表面形成覆面结构。通过选择不同类型的粘结剂，如环氧树脂胶、丙烯酸酯胶等，可实现对多种基层材料的有效粘结，粘结强度可达15-30MPa。在工艺实施过程中，基层表面需进行打磨、清洁及底涂处理，以增强粘结效果，确保薄膜与基层之间无气泡、无空隙。对于大型建筑幕墙装饰，采用预涂胶的不锈钢薄膜，通过真空吸附与滚压工艺，可实现快速、均匀的覆膜操作，有效提升施工效率。覆膜工艺可根据设计需求，对不锈钢薄膜进行表面处理，如拉丝、镜面、彩色涂层等，赋予其丰富的装饰效果。该工艺施工简便，无需大型专业设备，适合现场安装与改造工程。覆膜层可通过更换薄膜实现表面更新，延长基层使用寿命，在食品加工设备、医疗器械等对表面清洁度要求较高的领域，覆膜工艺凭借其易清洁、可更换的特性，得到广泛应用^[2]。

3 不锈钢覆面制作工艺现存问题

3.1 结合强度不足

在不锈钢覆面制作过程中，结合强度不足是较为突出的问题。电火花表面熔覆工艺虽通过脉冲放电促使材料渗入基层，但放电参数若控制不当，易使覆层与基层

形成的冶金结合存在微观缺陷，如局部未熔合区域，导致结合界面在应力作用下出现分离。激光熔覆工艺中，若激光功率与扫描速度匹配不佳，会造成熔池内液态金属流动不均匀，致使覆层与基层元素扩散不充分，降低界面结合强度。热轧复合工艺下，若轧制温度和压下率未能精准调控，界面原子扩散不充分，难以形成牢固的冶金结合，在后续使用中易因外力作用出现分层现象。覆膜工艺依赖粘结剂实现结合，粘结剂的性能、基层表面处理质量以及施工环境温湿度等因素，均会影响粘结效果，若粘结剂固化不完全或基层表面残留杂质，将导致粘结强度下降，使得不锈钢薄膜与基层易发生脱离，无法有效发挥覆面的防护与装饰功能。

3.2 生产成本过高

不锈钢覆面生产成本居高不下，主要体现在多个方面。材料成本方面，优质不锈钢材料本身价格较高，如在激光熔覆工艺中，为保证覆层性能需使用特定牌号的不锈钢粉末，其采购成本显著增加；热轧复合工艺中，基层与覆层材料的组合也会因不锈钢板的选用使成本提升。设备与能耗成本不容忽视，激光熔覆设备价格昂贵，且运行过程中需要消耗大量电能以维持高能量激光束的输出；热轧复合生产线的建设与维护成本巨大，高温轧制过程中能源消耗极高。工艺成本同样影响着生产成本，电火花表面熔覆工艺对脉冲电源等设备的精度要求高，设备维护与升级成本较大；覆膜工艺虽施工简便，但频繁更换薄膜也会增加材料消耗，且部分高性能粘结剂价格不菲，使得整体生产成本难以降低，制约了不锈钢覆面在更多领域的广泛应用^[3]。

3.3 质量稳定性欠佳

不锈钢覆面质量稳定性欠佳严重影响其产品质量与应用效果。电火花表面熔覆工艺中，脉冲电源的稳定性对覆层质量影响显著，电源参数的微小波动会导致熔覆层厚度不均、组织形态不一致，从而影响表面硬度与耐磨性等性能。激光熔覆过程中，送粉系统的稳定性及惰性气体保护效果若存在差异，易造成覆层出现气孔、氧化等缺陷，不同批次的不锈钢粉末成分波动也会导致覆层性能不稳定。热轧复合工艺里，轧制设备的精度与稳定性、温度和压力控制的准确性，都会影响复合板的质量，若生产过程中参数发生偏移，可能导致覆层与基层结合不良、板材厚度不均等问题。覆膜工艺中，粘结剂的质量波动、基层表面处理效果的差异以及施工人员操作水平的不同，均会使覆膜质量参差不齐，部分区域可能出现粘结不牢、薄膜起皱等现象，难以保证产品质量的一致性与可靠性。

4 不锈钢覆面制作工艺优化策略

4.1 改进结合技术

(1) 针对电火花表面熔覆工艺, 开发自适应脉冲电源控制系统, 通过实时监测放电间隙与电流变化, 动态调整电压、频率及放电时间参数, 确保电极材料与基层在微观层面实现充分冶金结合。利用有限元模拟技术预先优化放电参数组合, 可有效减少局部未熔合缺陷, 提升界面结合强度。(2) 激光熔覆工艺中, 采用双光束协同控制技术, 通过调节主、辅激光束的能量配比与聚焦位置, 优化熔池内液态金属的流动状态, 促进元素均匀扩散。结合原位X射线衍射分析技术, 实时监测熔覆过程中的相转变与元素扩散行为, 精准控制覆层与基层的冶金结合过程, 提高结合强度。(3) 热轧复合工艺方面, 引入高精度温度与压力闭环控制系统, 利用红外测温仪与压力传感器对轧制过程进行实时反馈调节。开发新型界面处理技术, 如在基层表面预置纳米级过渡层, 促进原子扩散, 增强覆层与基层的结合力。优化轧制道次与压下率分配方案, 避免因变形不均导致的分层问题。

4.2 降低生产成本

(1) 材料层面, 开展不锈钢材料替代研究, 通过添加微量元素优化现有牌号性能, 在保证耐腐蚀与强度要求的前提下, 采用低成本不锈钢材料。在激光熔覆中, 研发新型粉末配方, 将高成本合金元素与廉价添加剂合理配比, 降低粉末采购成本的同时维持覆层性能。(2) 设备与能耗管理上, 研发高效节能型激光熔覆设备, 采用光纤激光器替代传统固体激光器, 提高电光转换效率, 降低运行能耗。对于热轧复合生产线, 应用余热回收技术, 将轧制过程中的高温余热用于预热环节, 减少能源消耗; 优化设备维护方案, 延长关键部件使用寿命, 降低维护成本。(3) 工艺优化方面, 改进电火花表面熔覆的电极结构设计, 采用可重复使用的模块化电极, 减少电极材料损耗。覆膜工艺中, 开发长效粘结剂与薄膜一体化解决方案, 延长薄膜使用寿命, 减少更换频率; 通过自动化覆膜设备提升施工效率, 降低人工成本与材料浪费。

4.3 提高质量稳定性

(1) 针对电火花表面熔覆, 构建脉冲电源参数智能调控模型。通过收集熔覆材料类型、工件材质、加工速度等多维度历史生产数据, 运用深度学习、遗传算法等机器学习算法, 深度挖掘参数与熔覆效果间的内在联系, 预测不同工况下的最优参数组合。利用实时监测数据, 自动补偿因设备老化或环境变化导致的参数波动, 确保熔覆层厚度与组织均匀性。(2) 激光熔覆过程中, 配备高精度送粉与气体保护系统, 采用质量流量计精确控制送粉速率与惰性气体流量, 建立粉末成分溯源管理体系, 严格把控原材料质量。通过在线红外热成像监测技术, 实时检测熔池温度场分布, 及时调整工艺参数, 避免气孔、氧化等缺陷产生。(3) 热轧复合生产时, 利用高精度辊缝自动控制系统与板形检测装置, 对轧制过程进行闭环控制, 确保板材厚度公差与板形精度。建立全流程质量追溯系统, 从原材料入库到成品出厂, 对关键工艺参数与质量数据进行实时采集与分析, 实现产品质量的全程可追溯与动态管控^[4]。

结语

综上所述, 不锈钢覆面制作工艺在提升材料性能方面发挥重要作用, 但结合强度、成本与质量等问题仍需攻克。通过改进结合技术、优化生产流程及完善质量管控体系, 可有效提升工艺水平。未来, 随着材料科学与制造技术的不断进步, 不锈钢覆面制作工艺有望实现绿色化、智能化升级, 进一步拓展其在高端装备制造、新能源等新兴领域的应用边界。

参考文献

- [1] 井国玺. 不锈钢覆面焊缝低温下的液体渗透检测[J]. 当代化工研究, 2022(10):19-21.
- [2] 杜佩佩. 某专项工程不锈钢覆面模拟件选型研究[J]. 装饰装修天地, 2022(19):115-117.
- [3] 肖占方, 彭浩, 王峰. 贮存水池不锈钢覆面的设计与安装[J]. 机械工程与自动化, 2021(3):217-218.
- [4] 罗东明, 舒磊. 堆水池不锈钢覆面焊接变形控制[J]. 商品与质量, 2020(8):91.