



Cladding-Technology-Shanxi-Co.,-Ltd- CLADDING-MPS-015-Automated- Cladding-Layer-Process-Specification

自动化堆焊轨迹编程、参数优化与在线监测规范

文件编号：CLADDING-MPS-015

版本号：A/0

生效日期：2025 年 01 月 01 日

编制部门：工艺技术部

批准人：总经理

1 目的

为规范科雷丁技术（山西）有限公司自动化堆焊系统的轨迹编程、工艺参数优化及在线监测管理，确保法兰堆焊、管件堆焊、钢管堆焊、轴套管堆焊及模具堆焊修复等业务的工艺质量稳定可控，实现增材制造与精密堆焊技术的标准化、数字化管理，特制定本规范。

2 适用范围

本规范适用于公司所有自动化堆焊设备（含 TIG 堆焊工作站、MIG 堆焊工作站及电弧增材制造系统）的轨迹编程、参数优化与在线监测管理，涵盖以下业务范围：

- 法兰密封面堆焊及强化层制备



- 管件内壁及外壁堆焊修复
- 钢管纵向及环向堆焊
- 轴套管表面强化与再制造
- 模具型腔及型面堆焊修复
- 梯度材料增材制造

3 职责

部门/岗位	职责内容
工艺技术部	负责轨迹编程标准制定、参数优化方案审批、在线监测系统维护
生产部	负责按规范执行轨迹编程、参数设置及在线监测数据记录
质量部	负责在线监测数据审核、异常数据分析及质量追溯
设备部	负责自动化设备维护、传感器校准及监测系统硬件保障
技术总监	负责重大工艺参数变更审批及技术方案评审

4 管理内容与程序

4.1 轨迹编程管理

4.1.1 编程前准备

操作人员进行轨迹编程前，须完成以下准备工作：

- 确认工件图纸、技术要求及堆焊层数、层厚等工艺要求
- 检查工件基准面、定位孔及装夹方式，确保定位精度满足 $\pm 0.05\text{mm}$ 要求
- 确认工件材质、表面状态及预热温度要求
- 加载工件三维模型至编程系统，完成坐标系建立与原点设定

4.1.2 轨迹规划原则

轨迹编程应遵循以下原则：

- **分层堆焊原则：**根据堆焊层厚要求，合理划分单层轨迹，TIG 堆焊单层厚度控制在 2-4mm，MIG 堆焊单层厚度控制在 4-6mm



- **搭接率控制：**相邻焊道搭接率控制在 20%-30%，确保堆焊层表面平整度及熔合质量
- **起收弧管理：**起弧点应避开关键密封面区域，收弧处设置回火坑填充程序，防止弧坑裂纹
- **方向一致性：**同一层内焊道方向保持一致，相邻层焊道方向交错 90°，降低残余应力集中

4.1.3 典型工件轨迹编程要求

法兰堆焊轨迹编程：

- 密封面堆焊采用螺旋轨迹或同心圆轨迹，轨迹间距根据焊枪直径及搭接率计算确定
- 法兰端面堆焊采用往复直线轨迹，起收弧点设置在法兰外缘非工作区域
- 多层堆焊时，每层轨迹起点错开 1/3 周长，避免层间缺陷叠加

管件/钢管堆焊轨迹编程：

- 内壁堆焊采用螺旋轨迹，螺距根据管径及焊枪直径确定，确保内壁覆盖均匀
- 外壁堆焊采用环向轨迹，每圈轨迹搭接率不低于 25%
- 长管段堆焊时，设置中间停顿点，便于清渣及层间检测

轴套管堆焊轨迹编程：

- 采用螺旋轨迹或往复轨迹，根据轴套管长度及直径选择最优方案
- 轴端过渡区域设置减速程序，避免堆焊层厚度突变
- 多道焊时，各道次轨迹中心线间距误差控制在 $\pm 0.2\text{mm}$ 以内

模具堆焊修复轨迹编程：

- 根据模具型面特征，采用自适应轨迹规划，确保复杂曲面覆盖完整
- 型腔堆焊时，轨迹方向应垂直于型腔深度方向，保证堆焊层均匀性
- 修复区域与母材过渡区设置渐变程序，避免硬度突变

4.1.4 程序验证与备份

- 轨迹程序编制完成后，须进行空运行验证，检查轨迹路径、焊枪姿态及碰撞风险
- 程序验证通过后，由工艺技术部审核确认，方可下发生产使用
- 所有正式程序须备份至服务器，备份文件名包含工件编号、程序版本及日期信息

4.2 工艺参数优化管理

4.2.1 参数设定依据

工艺参数设定应综合考虑以下因素：

- 工件材质及堆焊材料匹配性
- 堆焊层性能要求（硬度、耐磨性、耐腐蚀性等）
- 设备能力范围及焊枪配置
- 母材稀释率控制要求



4.2.2 TIG 堆焊参数优化

TIG 堆焊适用于低稀释率、精密成型场景，参数优化重点如下：

参数项目	推荐范围	优化目标
焊接电流	80-160A	控制熔深及稀释率
电弧电压	12-18V	调节熔池宽度
焊接速度	100-400mm/min	平衡熔敷效率与成型质量
送丝速度	200-500mm/min	匹配熔敷量与焊接速度
保护气流量	12-18L/min	确保保护效果
脉冲频率	50-200Hz	改善熔池稳定性
基值/峰值电流比	0.3-0.6	控制热输入及稀释率

参数优化程序：

- 针对新工件或新材料组合，须进行参数试验，每组参数至少完成 3 道试焊
- 试焊后检测堆焊层外观、稀释率、硬度及金相组织
- 根据检测结果调整参数，直至满足技术要求
- 优化后的参数经工艺技术部确认后，纳入工艺参数数据库

4.2.3 MIG 堆焊参数优化

MIG 堆焊适用于高效熔敷、自动化适配场景，参数优化重点如下：

参数项目	推荐范围	优化目标
焊接电流	180-350A	提高熔敷效率
电弧电压	22-32V	控制飞溅及熔宽
焊接速度	300-800mm/min	匹配生产节拍
送丝速度	4-8m/min	保证熔敷量稳定
保护气流量	15-25L/min	防止氧化及气孔
焊丝伸出长度	15-25mm	影响熔深及飞溅
摆动参数	频率 2-8Hz，幅度 2-6mm	改善焊缝成型

参数优化程序：



- 根据工件厚度及堆焊层数，选择合适焊丝直径（1.2mm/1.6mm/2.0mm）
- 通过试焊确定电流-电压匹配关系，确保稳定短路过渡或射流过渡
- 优化摆动参数，确保焊道宽度均匀、余高适中
- 多道焊时，优化道间温度控制，防止层间过热

4.2.4 参数变更管理

- 工艺参数变更须填写《工艺参数变更申请单》，说明变更原因及预期效果
- 变更涉及关键质量特性的，须进行工艺验证试验
- 验证通过后，由技术总监审批，更新工艺参数数据库
- 变更后的参数须重新进行首件验证，确认合格后批量使用

4.3 在线监测管理

4.3.1 监测系统配置

自动化堆焊设备应配置以下在线监测功能：

- **焊接电流/电压监测**：实时采集焊接电流、电压信号，采样频率不低于 100Hz
- **送丝速度监测**：实时监测送丝速度，偏差超过设定值 $\pm 5\%$ 时报警
- **熔池视觉监测**：通过工业相机实时采集熔池图像，监测熔池尺寸及稳定性
- **焊缝跟踪监测**：采用激光或视觉传感器实时跟踪焊缝位置，补偿工件偏差
- **温度监测**：在工件关键位置布置热电偶，监测层间温度及预热温度
- **保护气流量监测**：实时监测保护气流量，流量异常时自动停机

4.3.2 监测数据采集与记录

- 在线监测系统应连续记录焊接过程数据，数据保存时间不少于 3 年
- 数据记录应包含：时间戳、工件编号、程序版本、工艺参数、监测数据
- 数据文件格式统一为 CSV 或数据库格式，便于后续分析
- 每批次生产结束后，生产部将监测数据导出并归档

4.3.3 监测数据判定标准

监测项目	正常范围	报警阈值	停机阈值
焊接电流偏差	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 15\%$
电弧电压偏差	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 15\%$
送丝速度偏差	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 15\%$
保护气流量偏差	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$	$\pm 30\%$
层间温度	按工艺要求	超上限 10°C	超上限 30°C



焊缝跟踪偏差	$\pm 0.5\text{mm}$	$\pm 1.0\text{mm}$	$\pm 2.0\text{mm}$
--------	--------------------	--------------------	--------------------

4.3.4 异常处理程序

- 监测系统发出报警时，操作人员应立即暂停焊接，检查报警原因
- 报警原因查明并排除后，方可恢复焊接，恢复前须确认焊缝质量
- 监测系统发出停机信号时，设备自动停止，操作人员须上报工艺技术部
- 工艺技术部分析停机原因，必要时调整工艺参数或维修设备
- 异常处理过程须记录在《在线监测异常处理记录表》中

4.3.5 监测数据应用

- 质量部定期分析监测数据，识别工艺波动趋势，提出改进建议
- 工艺技术部利用监测数据进行工艺参数优化，提升堆焊质量稳定性
- 设备部利用监测数据评估设备状态，制定预防性维护计划
- 客户有特殊要求时，可提供监测数据报告作为质量证明

5 监督考核

5.1 监督检查

- 工艺技术部每月对轨迹编程、参数优化及在线监测执行情况进行检查
- 质量部每季度对在线监测数据完整性及异常处理记录进行抽查
- 检查发现的问题纳入纠正预防措施管理，跟踪整改闭环

5.2 考核指标

考核项目	目标值	考核周期
轨迹程序一次验证通过率	$\geq 95\%$	月度
工艺参数优化按时完成率	100%	月度
在线监测数据完整率	$\geq 99\%$	月度
监测异常及时处理率	100%	月度
因编程/参数问题导致的质量事故	0 次	年度



5.3 奖惩措施

- 对严格执行本规范、工艺质量稳定的个人或班组给予表彰奖励
- 对违反本规范、造成质量事故的个人或班组按公司奖惩制度处理

6 附则

6.1 相关文件

- CLADDING-MPS-001 增材制造与堆焊工艺管理程序
- CLADDING-MPS-010 自动化设备操作规程
- CLADDING-MPS-012 焊接工艺评定管理程序
- CLADDING-MPS-018 在线监测系统维护规程

6.2 相关记录

- 《轨迹程序编制记录表》
- 《工艺参数试验记录表》
- 《工艺参数变更申请单》
- 《在线监测异常处理记录表》
- 《监测数据审核记录表》

6.3 修订记录

版本	修订日期	修订内容	修订人	批准人
A/0	2025-01-01	首次发布	工艺技术部	总经理

文件受控状态： 受控

分发范围： 工艺技术部、生产部、质量部、设备部、技术总监

本文件为科雷丁技术（山西）有限公司受控文件，未经授权不得复制或外传。