



Cladding-Technology-Shanxi-Co.,-Ltd- CLADDING-MPS-023-Laser-Cladding- Layer-Process-Specification

激光堆焊工艺参数控制管理程序

Laser Cladding Process Parameter Control Management Procedure

文件编号 Document No.: CLADDING-MPS-023

版本号 Version: A/0

生效日期 Effective Date: 2025 年 1 月 1 日

编制 Prepared by: 工艺技术部

审核 Reviewed by: 质量部

批准 Approved by: 总经理

1. 目的 Purpose

本程序旨在规范科雷丁技术（山西）有限公司激光堆焊工艺中功率密度、扫描速度与保护气体的控制要求，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产品的堆焊质量稳定可控，满足客户技术协议及行业标准要求。

This procedure aims to standardize the control requirements for power density, scanning speed and shielding gas in laser cladding processes of CLADDING-Technology-Shanxi-Co.,Ltd, ensuring stable and controllable cladding quality for flange cladding, pipe fitting cladding, steel pipe cladding,



shaft sleeve cladding and mold cladding repair products, meeting customer technical agreements and industry standard requirements.

2. 适用范围 Scope

本程序适用于公司所有激光堆焊生产活动，包括但不限于：

This procedure applies to all laser cladding production activities of the company, including but not limited to:

- 法兰密封面激光堆焊强化
- Flange sealing surface laser cladding strengthening
- 管件内壁激光堆焊修复
- Pipe fitting inner wall laser cladding repair
- 钢管外壁激光堆焊耐磨层制备
- Steel pipe outer wall laser cladding wear-resistant layer preparation
- 轴套管激光堆焊再制造
- Shaft sleeve laser cladding remanufacturing
- 模具型腔激光堆焊修复
- Mold cavity laser cladding repair

3. 职责 Responsibilities

3.1 工艺技术部 Process Technology Department

- 制定激光堆焊工艺参数标准及作业指导书
- Establish laser cladding process parameter standards and work instructions
- 负责功率密度、扫描速度、保护气体控制参数的工艺验证
- Responsible for process verification of power density, scanning speed and shielding gas control parameters
- 编制焊接工艺规程（WPS）及焊接工艺评定（PQR）
- Prepare Welding Procedure Specifications (WPS) and Procedure Qualification Records (PQR)

3.2 生产部 Production Department

- 按照工艺文件执行激光堆焊作业
- Execute laser cladding operations according to process documents
- 实时监控并记录工艺参数
- Monitor and record process parameters in real time
- 发现参数异常及时上报并处置



- Report and handle parameter abnormalities promptly

3.3 质量部 Quality Department

- 监督工艺参数执行情况
- Supervise the implementation of process parameters
- 对堆焊质量进行检验与评定
- Inspect and evaluate cladding quality
- 审核工艺参数变更申请
- Review process parameter change applications

3.4 设备部 Equipment Department

- 负责激光堆焊设备的维护保养
- Responsible for maintenance of laser cladding equipment
- 确保激光器功率输出稳定性
- Ensure stability of laser power output
- 校验保护气体流量控制装置
- Calibrate shielding gas flow control devices

4. 管理内容与程序 Management Content and Procedures

4.1 功率密度控制 Power Density Control

4.1.1 功率密度定义与计算

功率密度是激光堆焊工艺的核心参数，直接影响熔池形态、稀释率及堆焊层组织性能。功率密度计算公式如下：

Power density is the core parameter of laser cladding process, directly affecting molten pool morphology, dilution rate and cladding layer microstructure properties. The power density calculation formula is as follows:

$$P_d = \frac{P}{A}$$

式中：

- P_d — 功率密度 (W/mm²)
- P — 激光功率 (W)
- A — 光斑面积 (mm²)

Where:

- P_d — Power density (W/mm²)
- P — Laser power (W)



- \$A\$ — Spot area (mm²)

4.1.2 功率密度控制标准

工件类型	材料	功率密度范围	推荐值	备注
法兰堆焊	碳钢/合金钢	15000-25000 W/mm ²	20000 W/mm ²	密封面强化
管件堆焊	不锈钢	12000-20000 W/mm ²	16000 W/mm ²	内壁修复
钢管堆焊	低合金钢	18000-28000 W/mm ²	22000 W/mm ²	外壁耐磨层
轴套管堆焊	合金钢	16000-24000 W/mm ²	20000 W/mm ²	再制造修复
模具堆焊	工具钢	14000-22000 W/mm ²	18000 W/mm ²	型腔修复

4.1.3 功率密度调整原则

- 基体材料导热系数高时，适当提高功率密度
- When base material has high thermal conductivity, appropriately increase power density
- 堆焊层厚度要求大时，采用较高功率密度
- When greater cladding layer thickness is required, use higher power density
- 精密成型要求高时，采用较低功率密度
- When high precision forming is required, use lower power density
- 稀释率要求低时，适当降低功率密度
- When low dilution rate is required, appropriately reduce power density

4.1.4 功率密度监控要求

- 激光功率输出稳定性应控制在±3%以内
- Laser power output stability shall be controlled within ±3%
- 光斑直径偏差应控制在±0.1mm 以内
- Spot diameter deviation shall be controlled within ±0.1mm
- 每班次开机前进行功率密度校准
- Calibrate power density before each shift start
- 连续生产超过 4 小时应重新校准
- Recalibrate after continuous production exceeding 4 hours



4.2 扫描速度控制 Scanning Speed Control

4.2.1 扫描速度定义与影响

扫描速度是指激光光斑在工件表面移动的线速度，直接影响堆焊层厚度、宽度及成型质量。

Scanning speed refers to the linear speed of laser spot moving on the workpiece surface, directly affecting cladding layer thickness, width and forming quality.

4.2.2 扫描速度控制标准

工件类型	堆焊层厚度	扫描速度范围	推荐值	备注
法兰堆焊	0.5-1.0mm	300-600 mm/min	450 mm/min	单层堆焊
管件堆焊	0.3-0.8mm	400-800 mm/min	600 mm/min	内壁修复
钢管堆焊	1.0-2.0mm	200-500 mm/min	350 mm/min	多层堆焊
轴套管堆焊	0.8-1.5mm	250-550 mm/min	400 mm/min	再制造
模具堆焊	0.3-0.6mm	500-900 mm/min	700 mm/min	精密修复

4.2.3 扫描速度与功率匹配

- 高功率密度配合较高扫描速度，实现低稀释率堆焊
- High power density combined with higher scanning speed achieves low dilution cladding
- 低功率密度配合较低扫描速度，实现大熔深堆焊
- Low power density combined with lower scanning speed achieves deep penetration cladding
- 扫描速度与送粉速度应协调匹配
- Scanning speed shall be coordinated with powder feeding speed

4.2.4 扫描路径规划

- 环形工件采用螺旋扫描路径
- Spiral scanning path for ring-shaped workpieces
- 平面工件采用往复扫描路径
- Reciprocating scanning path for flat workpieces
- 复杂曲面采用五轴联动扫描
- Five-axis linkage scanning for complex curved surfaces
- 搭接率控制在 15%-30%
- Overlap rate controlled at 15%-30%



4.3 保护气体控制 Shielding Gas Control

4.3.1 保护气体选择

工件材料	保护气体	纯度要求	流量范围	备注
碳钢/合金钢	氩气 Ar	≥99.99%	15-25 L/min	常规堆焊
不锈钢	氩气 Ar	≥99.99%	18-30 L/min	防氧化
镍基合金	氩气 Ar	≥99.995%	20-35 L/min	高要求
钛合金	氩气 Ar	≥99.999%	25-40 L/min	高活性
模具钢	氩气 Ar	≥99.99%	15-25 L/min	精密修复

4.3.2 保护气体流量控制

- 气体流量应通过质量流量计精确控制
- Gas flow shall be precisely controlled by mass flow meter
- 流量波动应控制在设定值的±5%以内
- Flow fluctuation shall be controlled within ±5% of set value
- 多层堆焊时，每层开始前检查气体流量
- Check gas flow before starting each layer in multi-layer cladding
- 保护气体应提前开启，滞后关闭
- Shielding gas shall be turned on in advance and turned off with delay

4.3.3 保护气体纯度监控

- 每批次气体使用前进行纯度检测
- Conduct purity test before using each batch of gas
- 纯度不合格的气体不得使用
- Gas with unqualified purity shall not be used
- 气体瓶压力低于 0.5MPa 时应更换
- Replace gas cylinder when pressure is below 0.5MPa
- 定期检测管路密封性
- Regularly test pipeline sealing

4.3.4 保护效果验证

- 堆焊层表面应呈银白色或金属本色
- Cladding layer surface shall be silver-white or metallic color
- 不得出现明显氧化色（黄色、蓝色、黑色）



- No obvious oxidation color (yellow, blue, black) shall appear
- 发现氧化应立即检查保护气体系统
- Check shielding gas immediately upon discovering oxidation

4.4 工艺参数组合优化 Process Parameter Combination Optimization

4.4.1 典型工艺参数组合

应用场景	激光功率	光斑直径	功率密度	扫描速度	气体流量
法兰密封面强化	3000W	1.0mm	3820W/mm ²	450mm/min	20L/min
管件内壁修复	2000W	1.2mm	1770W/mm ²	600mm/min	25L/min
钢管外壁耐磨层	4000W	1.5mm	5660W/mm ²	350mm/min	22L/min
轴套管再制造	3500W	1.3mm	2630W/mm ²	400mm/min	20L/min
模具型腔修复	2500W	1.1mm	2630W/mm ²	700mm/min	18L/min

4.4.2 参数调整程序

1. 根据工件材料、尺寸及技术要求选择初始参数
Select initial parameters based on workpiece material, size and technical requirements
2. 进行试堆焊并检测堆焊层质量
Conduct trial cladding and inspect cladding layer quality
3. 根据检测结果调整功率密度、扫描速度或气体流量
Adjust power density, scanning speed or gas flow based on inspection results
4. 参数调整后重新试堆焊验证
Re-verify with trial cladding after parameter adjustment
5. 确认参数合格后形成工艺文件
Form process document after confirming qualified parameters

4.5 工艺参数记录与追溯 Process Parameter Recording and Traceability

4.5.1 记录要求

- 每批次产品应记录实际使用的工艺参数
- Record actual process parameters used for each batch of products
- 记录内容包括：激光功率、光斑直径、扫描速度、气体流量、送粉速度



- Record content includes: laser power, spot diameter, scanning speed, gas flow, powder feeding speed
- 记录应真实、准确、完整
- Records shall be authentic, accurate and complete

4.5.2 追溯要求

- 建立产品-工艺参数对应关系
- Establish product-process parameter correspondence
- 工艺参数记录保存期限不少于产品使用寿命
- Process parameter records shall be retained for no less than product service life
- 质量异常时应能快速追溯相关工艺参数
- Related process parameters shall be quickly traceable when quality abnormalities occur

5. 监督考核 Supervision and Assessment

5.1 监督检查

- 质量部每月对激光堆焊工艺参数执行情况进行检查
- Quality Department shall inspect laser cladding process parameter implementation monthly
- 检查内容包括参数记录完整性、参数执行符合性
- Inspection content includes parameter record completeness and parameter implementation compliance
- 发现违规操作应立即纠正并记录
- Correct violations immediately and record upon discovery

5.2 考核标准

考核项目	合格标准	扣分标准
参数记录完整性	100%记录	每缺一项扣 2 分
参数执行符合性	偏差 $\leq 5\%$	每超差一项扣 3 分
设备校准及时性	按时校准	每延迟一次扣 2 分
气体纯度检测	100%检测	每漏检一次扣 3 分

5.3 持续改进

- 定期分析工艺参数与产品质量的关联关系
- Regularly analyze the correlation between process parameters and product quality



- 根据分析结果优化工艺参数控制标准
- Optimize process parameter control standards based on analysis results
- 鼓励员工提出工艺参数优化建议
- Encourage employees to propose process parameter optimization suggestions

6. 附则 Supplementary Provisions

6.1 相关文件

- 《激光堆焊作业指导书》
- Laser Cladding Work Instruction
- 《焊接工艺规程管理程序》
- Welding Procedure Specification Management Procedure
- 《设备维护保养管理程序》
- Equipment Maintenance Management Procedure

6.2 记录表格

- 《激光堆焊工艺参数记录表》
- Laser Cladding Process Parameter Record Form
- 《工艺参数校准记录表》
- Process Parameter Calibration Record Form
- 《保护气体纯度检测记录表》
- Shielding Gas Purity Test Record Form

6.3 修订历史

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

编制：_____ 日期：_____

审核：_____ 日期：_____

批准：_____ 日期：_____