



Cladding-Technology-Shanxi-Co.,-Ltd- CLADDING-MPS-022-Plasma-Cladding- Layer-Process-Specification

等离子堆焊工艺参数控制程序

Plasma Cladding Process Parameter Control Procedure

| 文件编号 | Document No. | CLADDING-MPS-022 |

| 版本号 | Version | A/0 |

| 生效日期 | Effective Date | 2024 年 1 月 1 日 |

| 编制部门 | Prepared By | 工艺技术部 |

| 批准人 | Approved By | 技术总监 |

1. 目的 Purpose

本程序旨在规范科雷丁技术（山西）有限公司等离子堆焊工艺中等离子气流量、转移弧参数与熔深控制的技术要求，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层质量稳定可靠，满足客户对表面强化与再制造修复的技术指标要求。

This procedure is designed to standardize the technical requirements for plasma gas flow rate, transferred arc parameters and penetration depth control in plasma cladding processes of Cladding-Technology-Shanxi-Co.,-Ltd, ensuring stable and reliable quality of cladding layers for flange



cladding, pipe fitting cladding, steel pipe cladding, shaft sleeve cladding and mold cladding repair products, meeting customer technical requirements for surface strengthening and remanufacturing repair.

2. 适用范围 Scope

本程序适用于公司所有采用等离子堆焊工艺进行的金属零部件表面强化、再制造修复及增材制造项目，包括但不限于以下产品：

This procedure applies to all metal component surface strengthening, remanufacturing repair and additive manufacturing projects using plasma cladding process in the company, including but not limited to the following products:

- 法兰堆焊（Flange Cladding）
- 管件堆焊（Pipe Fitting Cladding）
- 钢管堆焊（Steel Pipe Cladding）
- 轴套管堆焊（Shaft Sleeve Cladding）
- 模具堆焊修复（Mold Cladding Repair）
- 梯度材料制备（Gradient Material Preparation）

3. 职责 Responsibilities

3.1 工艺技术部 Technical Process Department

- 负责制定等离子堆焊工艺参数标准（Responsible for establishing plasma cladding process parameter standards）
- 负责工艺参数的验证与优化（Responsible for verification and optimization of process parameters）
- 负责编制工艺卡片与作业指导书（Responsible for preparing process cards and work instructions）
- 负责新工艺参数的试验与评估（Responsible for testing and evaluation of new process parameters）

3.2 生产部 Production Department

- 负责按工艺参数要求执行堆焊作业（Responsible for executing cladding operations according to process parameter requirements）
- 负责设备日常维护与参数校准（Responsible for daily equipment maintenance and parameter calibration）
- 负责生产过程中的参数记录（Responsible for parameter recording during production）



3.3 质量部 Quality Department

- 负责堆焊层质量检验与评定（Responsible for cladding layer quality inspection and evaluation）
- 负责熔深检测与数据分析（Responsible for penetration depth testing and data analysis）
- 负责不合格品的处理与追溯（Responsible for handling and traceability of non-conforming products）

3.4 设备部 Equipment Department

- 负责等离子堆焊设备的维护与保养（Responsible for maintenance of plasma cladding equipment）
- 负责气体流量控制系统的校准（Responsible for calibration of gas flow control）
- 负责设备故障的排除与修复（Responsible for troubleshooting and repair of equipment failures）

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

4.1 等离子气流量控制 Plasma Gas Flow Rate Control

4.1.1 气体系统组成 Gas Composition

等离子堆焊气体系统由以下部分组成：

The plasma cladding gas consists of the following components:

| 气体类型 | Gas Type | 用途 | Purpose | 流量范围 | Flow Range |

| 等离子气 | Plasma Gas | 形成等离子弧 | Form plasma arc | 1.5-12 L/min |

| 保护气 | Shielding Gas | 保护熔池 | Protect molten pool | 8-25 L/min |

| 冷却气 | Cooling Gas | 喷嘴冷却 | Nozzle cooling | 15-30 L/min |

4.1.2 等离子气流量设定 Plasma Gas Flow Rate Setting

等离子气流量是决定等离子弧能量密度和熔深的关键参数，应根据以下因素进行设定：

Plasma gas flow rate is a key parameter that determines plasma arc energy density and penetration depth, and should be set according to the following factors:

基材厚度与材质 Base Material Thickness and Material

| 基材厚度 | Base Thickness | 等离子气流量 | Plasma Gas Flow | 适用产品 | Applicable Products |

| 3-6mm | 3-6mm | 2-4 L/min | 2-4 L/min | 薄壁管件 | Thin-walled pipes |



6-15mm	6-15mm	4-7 L/min	4-7 L/min	法兰、轴套管	Flanges, shaft sleeves
15-30mm	15-30mm	7-10 L/min	7-10 L/min	厚壁钢管	Thick-walled steel pipes
>30mm	>30mm	10-12 L/min	10-12 L/min	大型模具	Large molds

堆焊层厚度要求 Cladding Layer Thickness Requirement

- 薄层堆焊（0.5-2mm）：采用低流量等离子气（Low-flow plasma gas for thin cladding）
- 中层堆焊（2-5mm）：采用中等流量等离子气（Medium-flow plasma gas for medium cladding）
- 厚层堆焊（>5mm）：采用高流量等离子气并配合多层堆焊（High-flow plasma gas with multi-pass cladding for thick cladding）

4.1.3 保护气流量控制 Shielding Gas Flow Rate Control

保护气流量直接影响堆焊层的保护效果，应根据喷嘴直径和焊接速度进行调整：

Shielding gas flow rate directly affects the protection effect of cladding layer and should be adjusted according to nozzle diameter and welding speed:

喷嘴孔径	Nozzle Orifice	焊接速度	Welding Speed	保护气流量	Shielding Gas Flow
1.5mm	1.5mm	<200mm/min	<200mm/min	10-15 L/min	
1.5mm	1.5mm	200-400mm/min	200-400mm/min	15-20 L/min	
2.0mm	2.0mm	<200mm/min	<200mm/min	15-20 L/min	
2.0mm	2.0mm	200-400mm/min	200-400mm/min	20-25 L/min	

4.2 转移弧参数控制 Transferred Arc Parameter Control

4.2.1 转移弧电流 Transferred Arc Current

转移弧电流是控制熔深和熔敷速率的核心参数：

Transferred arc current is the core parameter for controlling penetration depth and deposition rate:

产品类型	Product Type	电流范围	Current Range	熔深范围	Penetration Range
法兰堆焊	Flange Cladding	80-150A	80-150A	0.3-1.5mm	
管件堆焊	Pipe Fitting Cladding	60-120A	60-120A	0.2-1.2mm	
钢管堆焊	Steel Pipe Cladding	100-200A	100-200A	0.5-2.0mm	
轴套管堆焊	Shaft Sleeve Cladding	70-130A	70-130A	0.3-1.3mm	
模具堆焊修复	Mold Cladding Repair	90-180A	90-180A	0.4-1.8mm	



4.2.2 转移弧电压 Transferred Arc Voltage

转移弧电压与弧长成正比，影响熔池形态和稀释率：

Transferred arc voltage is proportional to arc length and affects molten pool shape and dilution rate:

- 低电压（18-22V）：短弧焊接，低稀释率，适用于精密堆焊（Low voltage: short arc welding, low dilution rate, suitable for precision cladding）
- 中电压（22-26V）：标准弧长，中等稀释率，适用于常规堆焊（Medium voltage: standard arc length, medium dilution rate, suitable for regular cladding）
- 高电压（26-30V）：长弧焊接，高稀释率，适用于深熔堆焊（High voltage: long arc welding, high dilution rate, suitable for deep penetration cladding）

4.2.3 弧长控制 Arc Length Control

弧长控制对堆焊质量有重要影响：

Arc length control has important impact on cladding quality:

弧长范围	Arc Length Range	稀释率	Dilution Rate	适用场景	Application Scenario
1.0-1.5mm	1.0-1.5mm	5-10%	5-10%	精密堆焊、薄层修复	Precision cladding, thin layer repair
1.5-2.0mm	1.5-2.0mm	10-15%	10-15%	常规堆焊	Regular cladding
2.0-2.5mm	2.0-2.5mm	15-25%	15-25%	深熔堆焊、再制造	Deep penetration cladding, remanufacturing

4.3 熔深控制 Penetration Depth Control

4.3.1 熔深影响因素 Factors Affecting Penetration Depth

熔深受以下因素综合影响：

Penetration depth is affected by the following factors:

影响因素	Influencing Factor	影响程度	Impact Level	控制方法	Control Method
等离子气流量	Plasma Gas Flow	高	High	精确调节流量计	Precise flow meter adjustment
转移弧电流	Transferred Arc Current	高	High	电流稳定控制	Current stabilization control
焊接速度	Welding Speed	中	Medium	自动送进控制	Automatic feed control
喷嘴高度	Nozzle Height	中	Medium	高度传感器控制	Height sensor control
基材导热性	Base Material Conductivity	中	Medium	预热处理	Preheating treatment



4.3.2 熔深检测方法 Penetration Depth Detection Methods

检测方法	Detection Method	精度	Accuracy	适用阶段	Applicable Stage
金相分析	Metallographic Analysis	$\pm 0.05\text{mm}$	$\pm 0.05\text{mm}$	工艺验证	Process verification
超声波检测	Ultrasonic Testing	$\pm 0.1\text{mm}$	$\pm 0.1\text{mm}$	在线检测	Online inspection
渗透检测	Penetrant Testing	定性	Qualitative	缺陷检测	Defect detection
硬度测试	Hardness Testing	间接	Indirect	质量评价	Quality evaluation

4.3.3 熔深控制标准 Penetration Depth Control Standards

产品类别	Product Category	目标熔深	Target Penetration	允许偏差	Allowable Deviation
法兰堆焊	Flange Cladding	0.5-1.0mm	0.5-1.0mm	$\pm 0.1\text{mm}$	
管件堆焊	Pipe Fitting Cladding	0.3-0.8mm	0.3-0.8mm	$\pm 0.1\text{mm}$	
钢管堆焊	Steel Pipe Cladding	0.8-1.5mm	0.8-1.5mm	$\pm 0.15\text{mm}$	
轴套管堆焊	Shaft Sleeve Cladding	0.4-1.0mm	0.4-1.0mm	$\pm 0.1\text{mm}$	
模具堆焊修复	Mold Cladding Repair	0.6-1.2mm	0.6-1.2mm	$\pm 0.1\text{mm}$	

4.4 工艺参数匹配表 Process Parameter Matching Table

4.4.1 法兰堆焊工艺参数 Flange Cladding Process Parameters

参数项目	Parameter Item	推荐值	Recommended Value	备注	Remarks
等离子气流量	Plasma Gas Flow	5-8 L/min	5-8 L/min	根据法兰厚度调整	Adjust according to flange thickness
保护气流量	Shielding Gas Flow	15-20 L/min	15-20 L/min	Ar 气	Argon gas
转移弧电流	Transferred Arc Current	100-140A	100-140A	DCEN	DCEN
转移弧电压	Transferred Arc Voltage	22-25V	22-25V	弧长 1.5-2.0mm	Arc length 1.5-2.0mm
焊接速度	Welding Speed	150-250mm/min	150-250mm/min	自动送进	Automatic feed
目标熔深	Target Penetration	0.6-1.0mm	0.6-1.0mm	稀释率 10-15%	Dilution rate 10-15%

4.4.2 管件堆焊工艺参数 Pipe Fitting Cladding Process Parameters

| 参数项目 | Parameter Item | 推荐值 | Recommended Value | 备注 | Remarks |
| 等离子气流量 | Plasma Gas Flow | 3-6 L/min | 3-6 L/min | 薄壁管件用低流量 | Low flow for thin-walled pipes |



保护气流量	Shielding Gas Flow	12-18 L/min	12-18 L/min	Ar 气	Argon gas
转移弧电流	Transferred Arc Current	70-110A	70-110A	DCEN	DCEN
转移弧电压	Transferred Arc Voltage	20-23V	20-23V	弧长 1.2-1.8mm	Arc length 1.2-1.8mm
焊接速度	Welding Speed	200-350mm/min	200-350mm/min	自动送进	Automatic feed
目标熔深	Target Penetration	0.3-0.7mm	0.3-0.7mm	稀释率 8-12%	Dilution rate 8-12%

4.4.3 钢管堆焊工艺参数 Steel Pipe Cladding Process Parameters

参数项目	Parameter Item	推荐值	Recommended Value	备注	Remarks
等离子气流量	Plasma Gas Flow	7-10 L/min	7-10 L/min	厚壁钢管用高流量	High flow for thick-walled pipes
保护气流量	Shielding Gas Flow	18-25 L/min	18-25 L/min	Ar 气	Argon gas
转移弧电流	Transferred Arc Current	130-190A	130-190A	DCEN	DCEN
转移弧电压	Transferred Arc Voltage	24-28V	24-28V	弧长 1.8-2.3mm	Arc length 1.8-2.3mm
焊接速度	Welding Speed	120-200mm/min	120-200mm/min	自动送进	Automatic feed
目标熔深	Target Penetration	0.8-1.4mm	0.8-1.4mm	稀释率 12-18%	Dilution rate 12-18%

4.4.4 轴套管堆焊工艺参数 Shaft Sleeve Cladding Process Parameters

参数项目	Parameter Item	推荐值	Recommended Value	备注	Remarks
等离子气流量	Plasma Gas Flow	4-7 L/min	4-7 L/min	根据轴径调整	Adjust according to shaft diameter
保护气流量	Shielding Gas Flow	14-19 L/min	14-19 L/min	Ar 气	Argon gas
转移弧电流	Transferred Arc Current	80-125A	80-125A	DCEN	DCEN
转移弧电压	Transferred Arc Voltage	21-24V	21-24V	弧长 1.4-1.9mm	Arc length 1.4-1.9mm
焊接速度	Welding Speed	180-280mm/min	180-280mm/min	自动送进	Automatic feed
目标熔深	Target Penetration	0.4-0.9mm	0.4-0.9mm	稀释率 10-14%	Dilution rate 10-14%

4.4.5 模具堆焊修复工艺参数 Mold Cladding Repair Process Parameters

| 参数项目 | Parameter Item | 推荐值 | Recommended Value | 备注 | Remarks |



等离子气流量	Plasma Gas Flow	6-9 L/min	6-9 L/min	根据修复区域调整	Adjust according to repair area
保护气流量	Shielding Gas Flow	16-22 L/min	16-22 L/min	Ar 气	Argon gas
转移弧电流	Transferred Arc Current	100-170A	100-170A	DCEN	DCEN
转移弧电压	Transferred Arc Voltage	23-27V	23-27V	弧长 1.6-2.2mm	Arc length 1.6-2.2mm
焊接速度	Welding Speed	140-220mm/min	140-220mm/min	自动送进	Automatic feed
目标熔深	Target Penetration	0.6-1.1mm	0.6-1.1mm	稀释率 11-16%	Dilution rate 11-16%

4.5 工艺验证与调整 Process Verification and Adjustment

4.5.1 首件验证 First Article Verification

每批次生产前，必须进行首件验证：

Before each batch production, first article verification must be performed:

1. 按工艺参数进行试堆焊（Trial cladding according to process parameters）
2. 检测熔深是否符合要求（Check if penetration depth meets requirements）
3. 检查堆焊层外观质量（Check cladding layer appearance quality）
4. 必要时调整工艺参数（Adjust process parameters if necessary）
5. 记录验证结果（Record verification results）

4.5.2 过程监控 Process Monitoring

生产过程中应进行以下监控：

The following monitoring should be performed during production:

- 每 2 小时检查一次气体流量（Check gas flow rate every 2 hours）
- 每 4 小时检查一次弧参数（Check arc parameters every 4 hours）
- 每批次抽检熔深（Sample penetration depth for each batch）
- 记录异常情况及处理措施（Record abnormal situations and handling measures）

4.5.3 参数调整原则 Parameter Adjustment Principles

当熔深不符合要求时，按以下原则调整：

When penetration depth does not meet requirements, adjust according to the following principles:

熔深过大 Penetration Too Deep

- 降低等离子气流量（Reduce plasma gas flow rate）



- 降低转移弧电流（Reduce transferred arc current）
- 提高焊接速度（Increase welding speed）
- 增加弧长（Increase arc length）

熔深过小 Insufficient Penetration

- 提高等离子气流量（Increase plasma gas flow rate）
- 提高转移弧电流（Increase transferred arc current）
- 降低焊接速度（Decrease welding speed）
- 减小弧长（Decrease arc length）

5. 监督考核 Supervision and Assessment

5.1 工艺纪律检查 Process Discipline Inspection

质量部每月对等离子堆焊工艺参数执行情况进行检查，检查内容包括：

Quality Department shall inspect the implementation of plasma cladding process parameters monthly, including:

- 工艺参数记录完整性（Completeness of process parameter records）
- 参数执行符合性（Compliance of parameter execution）
- 设备校准状态（Equipment calibration status）
- 气体流量控制精度（Gas flow control accuracy）

5.2 质量考核指标 Quality Assessment Indicators

考核项目	Assessment Item	目标值	Target Value	权重	Weight
熔深合格率	Penetration Qualification Rate	≥95%	≥95%	40%	
参数执行率	Parameter Execution Rate	≥98%	≥98%	30%	
记录完整率	Record Completeness Rate	100%	100%	20%	
设备完好率	Equipment Availability Rate	≥95%	≥95%	10%	

5.3 持续改进 Continuous Improvement

工艺技术部每季度对等离子堆焊工艺参数进行评审，根据以下信息进行优化：

Technical Process Department shall review plasma cladding process parameters quarterly and optimize based on the following information:

- 产品质量数据分析（Product quality data analysis）
- 客户反馈信息（Customer feedback information）
- 设备运行状况（Equipment operating status）



- 新材料应用情况（New material application status）

6. 附则 Supplementary Provisions

6.1 相关文件 Related Documents

- 等离子堆焊设备操作规程（Plasma Cladding Equipment Operating Procedure）
- 堆焊层质量检验标准（Cladding Layer Quality Inspection Standard）
- 工艺参数记录表（Process Parameter Record Form）
- 设备维护保养规程（Equipment Maintenance Procedure）

6.2 记录表格 Record Forms

- 等离子堆焊工艺参数记录表（Plasma Cladding Process Parameter Record Form）
- 熔深检测报告（Penetration Depth Test Report）
- 工艺验证报告（Process Verification Report）
- 设备校准记录（Equipment Calibration Record）

6.3 修订记录 Revision History

版本	Version	修订日期	Revision Date	修订内容	Revision Content	修订人	Revised By
A/0	A/0	2024-01-01	2024-01-01	首次发布	Initial Release	工艺技术部	Technical Process Dept.

编制 Prepared by: 工艺技术部 Technical Process Department

审核 Reviewed by: 质量部 Quality Department

批准 Approved by: 技术总监 Technical Director

发布日期 Issue Date: 2024 年 1 月 1 日 January 1, 2024