

ICS 77.140.75

CCS H 48



团 体 标 准

T/CEATEC XXX—2025

双金属复合管生产工艺规范

Specification for manufacturing process of bimetallic composite pipe

2025-X-XX 发布

2025-X-XX 实施

中国欧洲经济技术合作协会 发布

目 次

| | |
|---------------------|----|
| 前言 | II |
| 1 范围 | 3 |
| 2 规范性引用文件 | 3 |
| 3 术语和定义 | 3 |
| 4 一般要求 | 4 |
| 4.1 材料要求 | 4 |
| 4.2 环境要求 | 4 |
| 4.3 生产设备要求 | 5 |
| 5 工艺流程 | 6 |
| 5.1 机械胀接复合工艺 | 6 |
| 5.2 液压复合工艺 | 6 |
| 5.3 爆炸复合工艺 | 6 |
| 5.4 热滚压冶金复合工艺 | 6 |
| 6 工艺概述 | 6 |
| 6.1 机械胀接复合工艺 | 6 |
| 6.2 液压复合工艺 | 7 |
| 6.3 爆炸复合工艺 | 7 |
| 6.4 热滚压冶金复合工艺 | 8 |
| 7 技术要求 | 8 |
| 7.1 机械胀接复合工艺 | 8 |
| 7.2 液压复合工艺 | 9 |
| 7.3 爆炸复合工艺 | 9 |
| 7.4 热滚压冶金复合工艺 | 10 |
| 8 试验方法 | 10 |
| 8.1 机械胀接复合工艺 | 10 |
| 8.2 液压复合工艺 | 11 |
| 8.3 爆炸复合工艺 | 11 |
| 8.4 热滚压冶金复合工艺 | 12 |
| 9 成品要求 | 12 |

前言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国欧洲经济技术合作协会提出并归口。

本文件主要起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件为首次编制。

双金属复合管生产工艺规范

1 范围

本文件规定了双金属复合管生产过程中的一般要求、工艺流程、工艺概述、技术要求、试验方法、成品要求等内容。

本文件适用于采用机械胀接复合、液压复合、爆炸复合、热滚压冶金复合四种工艺生产的双金属复合管。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 230.1 金属材料 洛氏硬度试验 第1部分：试验方法
- GB/T 241 金属管 液压试验方法
- GB/T 531.1 硫化橡胶或热塑性橡胶 压入硬度试验方法 第1部分：邵氏硬度计法（邵尔硬度）
- GB/T 983 不锈钢焊条
- GB/T 985.1 气焊、焊条电弧焊、气体保护焊和高能束焊的推荐坡口
- GB/T 1031 产品几何技术规范(GPS) 表面结构 轮廓法 表面粗糙度参数及其数值
- GB/T 3089 不锈钢极薄壁无缝钢管
- GB/T 5130 石油裂化用无缝钢管
- GB/T 5720 O形橡胶密封圈试验方法
- GB/T 6920 水质 pH值的测定 玻璃电极法
- GB/T 7939 液压软管总成 试验方法
- GB/T 8163 输送流体用无缝钢管
- GB/T 8923.1 涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第1部分：未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级
- GB/T 13927 工业阀门 压力试验
- GB/T 17853 不锈钢药芯焊丝
- GB 18095 民用爆炸物品 术语
- GB/T 20801.1 压力管道规范 工业管道 第1部分：总则
- SY/T 6623 双金属复合管

3 术语和定义

SY/T 6623界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

机械胀接复合 mechanical expansion composite

将复层管套装于基管内部后，通过机械胀头的径向扩张力使复层管发生塑性变形、基管发生弹性变形，利用基管回弹产生的抱紧力实现基管与复层管机械嵌合的复合工艺。

3.2

液压复合 hydraulic composite

将装配好的双层管组件两端密封后，向管间环缝注入高压液体介质，利用静水压力使复管贴合并发生微量塑性变形，泄压后依靠过盈配合实现机械结合的复合工艺。

3.3

爆炸复合 explosive composite

利用炸药爆炸产生的高速冲击波能量驱动内层复管向外层基管瞬态碰撞，在碰撞点产生射流清除金属表面氧化膜，并在高压下实现冶金结合的复合工艺。

3.4

热滚压冶金复合 hot rolling metallurgical composite

将内外层金属管坯加热至复层再结晶温度以上、基层 Ac_3 以下，通过旋转滚压使两层金属在高温高压下产生塑性变形和原子扩散，形成冶金结合的复合工艺。

4 一般要求

4.1 材料要求

4.1.1 基管

基管作为复合管的承载层，应满足以下要求：

- a) 材质要求：可选用低碳钢或低合金高强度钢，严禁使用存在氢脆倾向或层状撕裂敏感性的材质；
- b) 合格检测：基管需拥有材质合格证明、力学性能检测报告及无损检测报告，其中无损检测需符合 GB/T 20801.1中对压力管道用管材的要求；
- c) 尺寸偏差：基管的尺寸偏差需满足 SY/T 6623 要求；
- d) 表面质量：基管内外表面不得存在裂纹、折叠、结疤、分层、夹杂等有害缺陷，若存在局部划痕，深度需 $\leq 0.2\text{mm}$ 且不得超过壁厚公差范围，划痕宽度 $\leq 0.5\text{mm}$ ；
- e) 锈蚀程度：基管内表面锈蚀等级 \leq GB/T 8923.1中的B级，外表面涂层（若有）需均匀连续，无起皮、脱落现象。

4.1.2 复层管

复层管作为复合管的功能层，其耐蚀性、成型性及表面质量需满足以下要求：

- a) 材质要求：可选用奥氏体不锈钢或镍基合金，确保复合成型过程中无开裂；
- b) 合格检测：复层管需拥有材质证明书、晶间腐蚀检测报告及无损检测报告，其中超声探伤等级需大于或等于GB/T 5130中的II级；
- c) 尺寸偏差：复层管的尺寸偏差需符合 SY/T 6623 要求；
- d) 表面质量：复层管内壁钝化膜需完整、均匀，端部切口需平整，无毛刺、卷边，内壁表面粗糙度需符合 GB/T 1031要求；
- e) 锈蚀程度：外壁表面无氧化皮、油污、锈蚀，锈蚀等级 \leq GB/T 8923.1中的A等级。

4.1.3 辅助材料

辅助材料要求如下：

- a) 脱脂剂：需符合 HG/T 2387中“碱性脱脂剂（A型）”要求；
- b) 焊接材料：不锈钢焊条应符合GB/T 983的要求；不锈钢焊丝应符合GB/T 17853的要求；
- c) 炸药：炸药为爆炸复合工艺专用辅助材料，需符合 GB 18095中“岩石乳化炸药（II型）”要求；
- d) 防锈剂：防锈剂可隔绝腐蚀介质，防止管体锈蚀，需符合 SH/T 0692中“硬膜防锈油（I类）”要求。

4.2 环境要求

4.2.1 车间温湿度

车间温湿度要求如下：

- a) 装配区：温度 $15^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 $\leq 75\%$ ，环境温度低于 10°C 时，应对碳钢基材采取预热措施，确保表面干燥；
- b) 焊接区：温度 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 $\leq 60\%$ ，埋弧焊区域可适当放宽湿度要求，但焊剂使用前必须严格烘干；
- c) 热处理区：温度 $10^{\circ}\text{C}\sim 35^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 $\leq 80\%$ ，避免剧烈的温度波动，炉体周边不得有积水或蒸汽泄漏。

4.2.2 洁净度要求

洁净度要求如下：

- a) 装配清洁区应达到ISO Class 100,000；
- b) 车间应配备通风除尘设施，确保空气中粉尘浓度和镍、铬等有害物浓度符合职业健康标准；
- c) 酸洗钝化区域应独立设置，与装配区保持足够的距离或物理隔离，酸洗后的冲洗应使用清洁水源，避免二次污染。

4.2.3 通风与防尘要求

通风与防尘要求如下：

- a) 焊接及热处理区域应设置强制机械通风，确保有害气体和烟尘及时排出；
- b) 车间内使用氮气、氢气等保护气体时，应设置泄漏报警装置，确保气体浓度在安全范围内；
- c) 排风口应远离进风口和人员作业区，防止污染物回流；
- d) 高噪声设备应采取隔声降噪措施。

4.3 生产设备要求

4.3.1 加热设备

加热设备要求如下：

- a) 环形加热炉用于热轧复合前的管坯加热，应具备足够的有效加热区长度和良好的温度均匀性，炉体分区控温，各区独立调节；
- b) 电磁感应加热装置适用于局部快速加热，加热效率应高且温度可精确调控；
- c) 固溶热处理炉应采用连续式结构，配备高精度的温度仪表和记录装置，加热后的淬火冷却系统应保证足够的冷却能力和合适的冷却速率；
- d) 所有加热设备的热电偶、测温仪表应定期检定，确保测量准确。

4.3.2 成型设备

成型设备要求如下：

- a) 锥形穿孔机是热轧复合的关键设备，轧辊倾角应可调，顶头材质应耐高温磨损，主电机应具备足够的功率和调速范围；
- b) PQF连轧机组应采用三辊式结构，各机架配置液压压下系统，实现精确的壁厚控制；
- c) 张力减径机应具备足够的机架数量和减径能力，各机架单独传动；
- d) 三辊定心装置应沿生产线合理布置，支撑芯棒并保证管材对中；
- e) JCOE成形机用于卷焊复合管，压力机吨位和模具调整精度应满足大口径管成形要求；
- f) 所有成型设备的机械刚度、调整精度和自动化水平应满足高质量、高效率生产的需求。

4.3.3 焊接设备

焊接设备要求如下：

- a) 内外埋弧焊机应采用多丝串列式布局，焊接电流和电压应稳定可调，焊剂输送应均匀，焊枪应配备跟踪系统；
- b) 等离子封焊设备用于管端密封，等离子气和保护气流量应精确可控；
- c) 电渣焊设备适用于厚壁管端部封焊，应具备足够的电流容量，熔嘴伸出长度和渣池深度应可调控；
- d) 焊接设备的选择应与产品规格、材料特性相匹配。

4.3.4 辅助设备

辅助设备要求如下：

- a) 高压水除鳞系统用于热轧前去除氧化皮，工作压力和流量应满足除鳞效果要求，水质应清洁并循环使用，芯棒循环系统应实现芯棒的预热、冷却和润滑，冷却水流量应充足，石墨润滑应均匀；

- b) 在线检测设备包括超声波探伤仪、涡流探伤仪等，检测频率和灵敏度应能有效识别缺陷；
c) 所有辅助设备应与主线设备协调匹配，确保生产流程顺畅。

5 工艺流程

5.1 机械胀接复合工艺

机械胀接复合工艺流程图，如图1所示。



图1 机械胀接复合工艺流程图

5.2 液压复合工艺

液压复合工艺流程图，如图2所示。



图2 液压复合工艺流程图

5.3 爆炸复合工艺

爆炸复合工艺流程图，如图3所示。

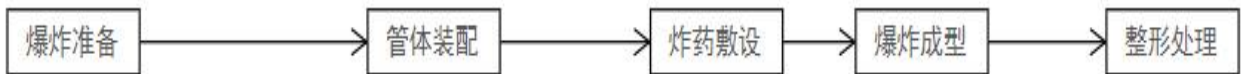


图3 爆炸复合工艺流程图

5.4 热滚压冶金复合工艺

热滚压冶金复合工艺流程图，如图4所示。



图4 热滚压冶金复合工艺流程图

6 工艺概述

6.1 机械胀接复合工艺

6.1.1 基管预处理

对基管内外表面采用碱性脱脂剂进行脱脂清洗，清水清洗后进行抛丸或喷砂除锈。

6.1.2 复管层预处理

复管层预处理步骤如下：

a) 酸洗：采用 HNO_3 15%~25%+HF2%~4%混合酸液对复层管进行酸洗钝化处理，去除表面氧化膜并露出新鲜金属表面，酸洗后用清水冲洗；

b) 烘干：用压缩空气吹干或在烘箱中烘干。

6.1.3 同轴装配

使用三爪自定心卡盘或专用对中工装进行定心对中，复管两端伸出基管50mm~80mm并用点焊临时固定。

6.1.4 胀接成型

根据管径选择圆柱形或锥形胀头,小口径管($DN \leq 300$)采用拉杆式机械胀管机,推进速度 $50\text{mm}/\text{min} \sim 100\text{mm}/\text{min}$,大口径管采用旋转胀头,转速 $20\text{r}/\text{min} \sim 30\text{r}/\text{min}$ 。

6.1.5 整形处理

整形处理步骤如下:

a) 矫直:在斜辊矫直机上进行矫直,用带锯或等离子切割机切除两端多余复管,对表面进行抛光处理;

b) 表面清理:在基管和复管端部加工V型坡口,清理坡口及两侧 20mm 范围内表面,去除氧化皮和杂质;采用TIG焊在端部进行封焊,防止介质进入间隙层。

6.2 液压复合工艺

6.2.1 基管预处理

对基管内外表面采用碱性脱脂剂进行脱脂,清水清洗后进行抛丸或喷砂除锈。

6.2.2 复管层预处理

复管层预处理步骤如下:

a) 酸洗:采用 $\text{HNO}_3 15\% \sim 25\% + \text{HF} 2\% \sim 4\%$ 混合酸液对复层管进行酸洗钝化处理,去除表面氧化膜并露出新鲜金属表面,酸洗后用清水冲洗;

b) 干燥:用压缩空气吹干或在烘箱中烘干。

6.2.3 密封装夹

密封装夹预处理步骤如下:

a) 材料:采用耐高压组合密封圈(丁腈橡胶+聚四氟乙烯)进行端部密封;

b) 密封:一端固定封头焊接在基管上,另一端采用可拆卸液压密封头,密封头与复管间用O型圈径向密封;

c) 气密性:装配后先用低压(5MPa)进行气密性试验,确保气密性良好。

6.2.4 液压成型

液压成型处理步骤如下:

a) 液压升压:向环缝内注入抗磨液压油(46#)或水基乳化液,采用分级升压模式,工作压力按 $P = \sigma_s \cdot t/r$ 公式计算;

b) 保压成型:达到工作压力后保压,保压时间根据管径确定。

6.2.5 泄压脱模

控制泄压时间,防止快速卸压导致复管回弹过大,压力降至零后拆除密封头,检查复管表面有无划伤、压痕。

6.2.6 整形处理

整形处理步骤如下:

a) 矫直:在六辊矫直机上进行矫直,用带锯或等离子切割机切除两端多余复管,对表面进行抛光处理,去除可能存在的轻微压痕;

b) 表面清理:在基管和复管端部加工V型坡口,清理坡口及两侧 20mm 范围内表面,去除氧化皮和杂质;采用TIG焊在端部进行封焊,防止介质进入间隙层。

6.3 爆炸复合工艺

6.3.1 基管预处理

对基管内外表面采用碱性脱脂剂进行脱脂,清水清洗后进行抛丸或喷砂除锈。

6.3.2 复管层预处理

复管层预处理步骤如下:

a) 酸洗:采用 $\text{HNO}_3 15\% \sim 25\% + \text{HF} 2\% \sim 4\%$ 混合酸液对复层管进行酸洗钝化处理,去除表面氧化膜并露出新鲜金属表面,酸洗后用清水冲洗;

b) 干燥:用压缩空气吹干或在烘箱中烘干。

6.3.3 爆炸准备

选择远离居民区的专用爆炸场,设置防爆墙和掩体,操作人员撤离至安全区,通过远程电起爆系统操作,起爆前检查气象条件。

6.3.4 管体装配

将基管和复管进行同轴装配，在管体两端和中部设置多点支撑，防止爆炸时失稳。

6.3.5 炸药敷设

选用低爆速炸药（铵油炸药或乳化炸药），将炸药制成连续药条，用胶带或尼龙绳固定在复管中心位置。

6.3.6 爆炸成型

爆炸成型步骤如下：

- a) 起爆：采用8#电雷管起爆，引爆前用起爆器进行导通检测；
- b) 冷却：起爆后管体需自然冷却 $\geq 2\text{h}$ ；用红外测温仪监测管体温度，降至 50°C 以下方可接近作业。

6.3.7 整形处理

整形处理步骤如下：

- a) 切除：冷却后用带锯或等离子切割机切除两端多余复管，对表面进行抛光处理；
- b) 修磨：用角磨机去除残留的炸药包装物和金属飞溅物，修磨端部毛刺。

6.4 热滚压冶金复合工艺

6.4.1 基管预处理

对基管内外表面采用碱性脱脂剂进行脱脂，清水清洗后进行抛丸或喷砂除锈。

6.4.2 复管层预处理

复管层预处理步骤如下：

- a) 酸洗：采用 HNO_3 15%~25%+HF2%~4%混合酸液对复层管进行酸洗钝化处理，去除表面氧化膜并露出新鲜金属表面，酸洗后用清水冲洗；
- b) 烘干：用压缩空气吹干或在烘箱中烘干。

6.4.3 管坯预热

在步进梁式加热炉或感应加热炉中加热，保温时间按壁厚计算。

6.4.4 滚压复合

采用三辊斜轧机组，辊面喷涂WC-Co涂层，压下量逐道次递增；使用玻璃润滑剂或石墨乳润滑。

6.4.5 固溶热处理

固溶热处理步骤如下：

- a) 加热：将滚压复合后的管坯迅速转入连续式辊底热处理炉，确保碳化物充分溶解、合金元素均匀化并消除加工硬化；
- b) 淬火：从炉内出炉后入水淬火，淬火后获得单一奥氏体组织并防止碳化物析出。

6.4.6 整形处理

整形处理步骤如下：

- a) 矫直：在六辊矫直机上矫直，对表面进行抛光处理，去除可能存在的轻微压痕；
- b) 修磨：用角磨机去除残留的炸药包装物和金属飞溅物，修磨端部毛刺。

7 技术要求

7.1 机械胀接复合工艺

机械胀接复合工艺技术要求见表1。

表1 机械胀接复合工艺技术要求

| 工序 | 关键参数 | 技术要求 |
|--------|---------|-----------------------------------|
| 基管预处理 | 椭圆度 | $\leq 0.3\%D$ |
| | 壁厚不均度 | $\leq 10\%S$ |
| 复层管预处理 | 烘干温度/时间 | $80^{\circ}\text{C}/30\text{min}$ |
| 同轴装配 | 装配间隙 | $0.5\text{mm}\sim 1.5\text{mm}$ |
| | 同轴度偏差 | $\leq 0.5\text{mm/m}$ |

| | | |
|------|--------|--------------------|
| 胀接成型 | 推进速度 | 50mm/min~100mm/min |
| | 旋转胀头转速 | 20r/min~30r/min |
| | 胀接比 | 1.5%~3.0% |
| | 胀接压力 | 80MPa~150MPa |
| 整形处理 | 坡口角度 | 45°~60° |
| | 钝边尺寸 | 1mm~2mm |
| | 氩气流量 | 8L/min~12L/min |
| | 矫直后直线度 | ≤0.5mm/m |

7.2 液压复合工艺

液压复合工艺技术要求见表2。

表2 液压复合工艺技术要求

| 工序 | 关键参数 | 技术要求 |
|--------|---------|--------------------------------------|
| 基管预处理 | 椭圆度 | ≤0.3%D |
| | 壁厚不均度 | ≤10%S |
| 复层管预处理 | 烘干温度/时间 | 80℃/30min |
| 密封装夹 | 密封圈耐压能力 | ≥100MPa |
| | 气密性试验压力 | 5MPa, 保压5min 降压≤0.5MPa |
| | O型圈硬度 | 邵氏 A70~80 |
| 液压成型 | 分级升压曲线 | 0→30MPa(2min)→60MPa(2min)→工作压力(1min) |
| | 保压时间 | DN100~200:30~60s; DN200~250:60~90s |
| 泄压脱模 | 泄压速率 | ≤15MPa/min |
| | 表面划伤深度 | ≤0.1mm(可修复) |
| 整形处理 | 坡口角度 | 45°~60° |
| | 钝边尺寸 | 1mm~2mm |
| | 氩气流量 | 8L/min~12L/min |
| | 矫直后直线度 | ≤0.5mm/m |

7.3 爆炸复合工艺

爆炸复合工艺技术要求见表3。

表3 爆炸复合工艺技术要求

| 工序 | 关键参数 | 技术要求 |
|--------|---------|------------|
| 基管预处理 | 椭圆度 | ≤0.3%D |
| | 壁厚不均度 | ≤10%S |
| 复层管预处理 | 烘干温度/时间 | 80℃/30min |
| 场地安全准备 | 土壤电阻率 | ≤10Ω·m |
| | 雷管电阻 | 2Ω~4Ω |
| 管体装配 | 支撑点间距 | ≤4m(L>6m时) |
| | 支撑材料 | 硬木或聚氨酯垫块 |

| | | |
|------|---------|----------------|
| 炸药敷设 | 药条密度均匀性 | ±5% |
| 起爆成型 | 雷管安装位置 | 药条几何中心 |
| | 冷却时间 | ≥2h |
| 整形处理 | 坡口角度 | 45° ~ 60° |
| | 钝边尺寸 | 1mm~2mm |
| | 氩气流量 | 8L/min~12L/min |
| | 矫直后直线度 | ≤0.5mm/m |

7.4 热滚压冶金复合工艺

热滚压冶金复合工艺技术要求见表4。

表4 热滚压冶金复合工艺技术要求

| 工序 | 关键参数 | 技术要求 |
|--------|----------|----------------|
| 基管预处理 | 椭圆度 | ≤0.3%D |
| | 壁厚不均度 | ≤10%S |
| 复层管预处理 | 烘干温度/时间 | 80℃/30min |
| 管坯预热 | 管坯旋转速度 | 1r/min~2r/min |
| 滚压复合 | 轧辊硬度 | HRC≥58 |
| | 轧制速度 | 0.3m/s~0.8m/s |
| 固溶热处理 | 淬火水 pH 值 | 6.5~8.5 |
| | 水淬转移时间 | ≤25s |
| 整形处理 | 坡口角度 | 45° ~ 60° |
| | 钝边尺寸 | 1mm~2mm |
| | 氩气流量 | 8L/min~12L/min |
| | 矫直后直线度 | ≤0.5mm/m |

8 试验方法

8.1 机械胀接复合工艺

机械胀接复合工艺试验方法见表5。

表5 机械胀接复合工艺试验方法

| 工序 | 关键参数 | 试验方法 |
|--------|---------|------------------------------------|
| 基管预处理 | 椭圆度 | GB/T 3089 |
| | 壁厚不均度 | GB/T 8163 |
| 复层管预处理 | 烘干温度/时间 | 工艺温度计测量 |
| 同轴装配 | 装配间隙 | GB/T 1958 |
| | 同轴度偏差 | GB/T 1958 |
| 胀接成型 | 推进速度 | 速度传感器测量 |
| | 旋转胀头转速 | 转速表或变频器测量 |
| | 胀接比 | 采用公式计算： $(d-D_0)/D_0 \times 100\%$ |
| | 胀接压力 | GB/T 241 |
| 整形处理 | 坡口角度 | GB/T 985.1 |

| | | |
|--|--------|------------|
| | 钝边尺寸 | GB/T 985.1 |
| | 氩气流量 | 转子流量计测量 |
| | 矫直后直线度 | GB/T 3089 |

8.2 液压复合工艺

液压复合工艺试验方法见表6。

表6 液压复合工艺试验方法

| 工序 | 关键参数 | 试验方法 |
|--------|---------|----------------|
| 基管预处理 | 椭圆度 | GB/T 3089 |
| | 壁厚不均度 | GB/T 8163 |
| 复层管预处理 | 烘干温度/时间 | 工艺温度计测量 |
| 密封装夹 | 密封圈耐压能力 | GB/T 5720 |
| | 气密性试验压力 | GB/T 13927 |
| | O型圈硬度 | GB/T 531.1 |
| 液压成型 | 分级升压曲线 | 压力记录仪测量 |
| | 保压时间 | GB/T 7939 |
| 泄压脱模 | 泄压速率 | 减压阀调节, 压力曲线记录仪 |
| | 表面划伤深度 | GB/T 1031 |
| 整形处理 | 坡口角度 | GB/T 985.1 |
| | 钝边尺寸 | GB/T 985.1 |
| | 氩气流量 | 转子流量计测量 |
| | 矫直后直线度 | GB/T 3089 |

8.3 爆炸复合工艺

爆炸复合工艺试验方法见表7。

表7 爆炸复合工艺试验方法

| 工序 | 关键参数 | 试验方法 |
|--------|----------|--------------------|
| 基管预处理 | 椭圆度 | GB/T 3089 |
| | 壁厚不均度 | GB/T 8163 |
| 复层管预处理 | 烘干温度/时间 | 工艺温度计测量 |
| 场地安全准备 | 土壤电阻率 | 接地电阻测试仪 |
| | 雷管电阻 | 电雷管测试仪 |
| 管体装配 | 支撑点间距 | 现场测量 |
| | 支撑材料 | 目视检查 |
| | 药条接头搭接长度 | 钢卷尺测量 |
| 起爆成型 | 雷管安装位置 | 激光标线仪定位 |
| | 冷却时间 | 计时器+红外测温仪 (50℃ 阈值) |
| 整形处理 | 坡口角度 | GB/T 985.1 |
| | 钝边尺寸 | GB/T 985.1 |
| | 氩气流量 | 转子流量计测量 |
| | 矫直后直线度 | GB/T 3089 |

8.4 热滚压冶金复合工艺

热滚压冶金复合工艺试验方法见表8。

表8 热滚压冶金复合工艺试验方法

| 工序 | 关键参数 | 试验方法 |
|--------|----------|------------|
| 基管预处理 | 椭圆度 | GB/T 3089 |
| | 壁厚不均度 | GB/T 8163 |
| 复层管预处理 | 烘干温度/时间 | 工艺温度计测量 |
| 管坯预热 | 管坯旋转速度 | 转速表测量 |
| 滚压复合 | 轧辊硬度 | GB/T 230.1 |
| | 轧制速度 | 测速仪或变频显示 |
| 固溶热处理 | 炉内保护气氛 | 露点仪监测 |
| | 淬火水 pH 值 | GB/T 6920 |
| | 水淬转移时间 | 计时器控制 |
| 整形处理 | 坡口角度 | GB/T 985.1 |
| | 钝边尺寸 | GB/T 985.1 |
| | 氩气流量 | 转子流量计测量 |
| | 矫直后直线度 | GB/T 3089 |

9 成品要求

成品要求见表9。

表9 成品要求

| 序号 | 类别 | 项目 | 要求 |
|----|--------|-------|---|
| 1 | 力学性能 | 压扁 | 压扁至试样内壁间距为公称壁厚的 2/3，界面无开裂 |
| 2 | | 扩口率 | 扩口率 $\geq 30\%$ ，界面无分离 |
| 3 | | 弯曲度 | 弯曲角度 180° ，弯芯直径 ≤ 4 倍管径，界面无裂纹 |
| 4 | | 强度 | 复合管整体屈服强度、抗拉强度应不低于基管标准规定值的 95% |
| 5 | 界面结合性能 | 结合强度 | 机械胀接： $\geq 20\text{MPa}$ （机械嵌合） 液压复合： $\geq 20\text{MPa}$ （机械嵌合） 爆炸复合： $\geq 200\text{MPa}$ （冶金结合） 热滚压冶金复合： $\geq 250\text{MPa}$ （冶金结合） |
| 6 | | 结合率 | 机械胀接： $\geq 90\%$ （首件剖切） 爆炸复合： $\geq 90\%$ （超声检测） 液压/热滚压：100%贴合，无目视间隙 |
| 7 | 无损检测 | 超声波探伤 | 符合 GB/T 5130 II 级要求 |
| 8 | | 涡流探伤 | 外表面缺陷检出深度 $\geq 0.2\text{mm}$ |
| 9 | | 渗透检测 | 表面开口缺陷，坡口、焊缝及机械损伤部位无渗透 |