

ICS 25.160.10

CCS J 33



CWA

团 体 标 准

T/CWAN 0128—2024

铝合金车辆转向架电弧熔丝增材制造推荐 工艺规范

Process specification for additive manufacturing of arc fuses for aluminum alloy vehicle bogies

2024-11-26 发布

2024-12-01 实施

中国焊接协会 发布

目 次

前 言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语及定义	1
4 一般要求	2
5 技术要求	2
6 安全防护	3
7 工艺过程	4
8 检验	7
9 产品交付	8
附录 A（资料性）增材制造工艺规程	9

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。

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。

本文件由中国焊接协会提出并归口。

本文件起草单位：上海秀美模型有限公司、大连理工大学、中国船舶集团渤海造船有限公司、中船天津船舶制造有限公司、上海市纳米科技与产业发展促进中心、中交上海航道勘察设计研究院有限公司、大连聚金科技有限公司、南京联空智能增材研究院有限公司。

本文件主要起草人：张春锋、王艳、杨文华、周伟民、张恒、秦雪莲、张兆栋、王红阳、吴满鹏、李洋、刘丽华、朱平、张翔翔、严君、刘晓辉、于忠梅、唐凯、李鹏一。

铝合金车辆转向架电弧熔丝增材制造推荐工艺规范

1 范围

本文件规定了铝合金车辆转向架电弧熔丝增材制造的术语和定义,并规定了铝合金车辆转向架电弧增材制造工艺的一般要求、成形过程、检验和技术资料交付等。

本文件适用于指导铝合金车辆转向架电弧熔丝增材制造。

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 10858—2023 铝及铝合金焊丝

GB/T 24737.2—2012 工艺管理导则 第2部分:产品工艺工作程序

GB/T 35351 增材制造 术语

GB/T 36015—2018 无损检测仪器 工业 X 射线数字成像装置性能和检测规则

GB/T 39253—2020 增材制造 金属材料定向能量沉积工艺规范

GB/T 39255—2020 焊接与切割用保护气体

GB/T 34525—2017: 气瓶搬运、储存和使用安全技术规程

NB/T 47013.2~13 承压设备无损检测

JB/T 3223 焊接材料质量管理规程

3 术语及定义

GB/T 35351、GB/T 39253—2020 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

沉积层 deposition layer

原材料在电弧作用下熔化并在工作表面上沉积的凝固层。

[来源: GB/T 39253—2020]

3.2

沉积道 deposition track

原材料与电弧的汇聚点做单次非折线运动时所沉积的区域。

[来源: GB/T 39253—2020]

3.3

沉积路径 deposition path

原材料与电弧的汇聚点移动路径。

[来源：GB/T 39253—2020]

3.4

切片厚度 slice thickness

增材结构模型切片过程中设计的电弧增材过程中沿电弧移动方向的单沉积层的厚度。

[来源：GB/T 39253—2020]

3.5

层间温度 interlayer temperature

连续增材过程中，下一层增材操作启动前，当前待焊增材材料表面的即时温度。

3.6

增材枪体 deposition torch

维持电弧持续稳定燃烧，实现一种或多种填充丝材以熔滴形式规律性地向沉积层的过渡。

4 一般要求**4.1 人员**

4.1.1 操作人员应具备增材专业知识、业务技能，并经拥有技术认证资质的机构组织的技术培训，并考核合格者。

4.1.2 检验人员应具有增材专业检验知识，并经拥有技术认证资质的机构组织的检验技术培训，并考核合格者。

4.2 环境

4.2.1 电弧增材设备应安装在车间、厂房等非露天的环境中，避免遭受雨、雪等恶劣天气的损害，且应满足工件增材所必备的生产空间。

4.2.2 施工场地应保持干净、整洁，材料堆放整齐。

4.2.3 增材作业区的相对湿度应不大于 75%。

4.2.4 增材环境温度应不低于 8℃。

4.2.5 增材作业区最大风速不宜超过 2 m/s，如果风速超过上述范围，应采取有效措施以保障增材电弧区域不受气流影响。

4.2.6 放置保护气体气瓶的区域以及保护气体输送管路应避免靠近高温热源或被烈日暴晒，保护气体气瓶应远离高温热源至少三米以上，远离明火至少 10 米以上，远离高压电气设备至少 1.5 米以上，以免发生爆炸事故。

5 技术要求**5.1 增材设备**

熔化极电弧熔丝增材制造设备组成与技术要求如下：

- a) 数字增材电源：输出功率应不小于 10 kW，可调节电流范围不低于 50 A ~ 250 A，可调节电压范围不低于 10 V ~ 25 V，暂载率应为 100 %（注：当增材电流不超过 200 A 时）；
- b) 增材枪体：应能承受数字增材电源所输出的电流与电压，同时具备一种或多种丝材的送丝要求及冷却功能；
- c) 数控冷却系统：冷却介质为纯净水、蒸馏水、高纯水；
- d) 增材工作台：按照增材构件的尺寸、重量、增材过程选择合适的增材工作台；
- e) 运动控制系统：可带动增材枪体在增材姿态下，全范围覆盖增材制造软件规划的增材区域；
- f) 增材过程参数监测系统：具有实时数据提取、显示与监测功能；
- g) 吸烟除尘系统：具有实时处理增材过程烟尘的功能；
- h) 熔化极电弧熔丝增材制造软件系统：应具备对输入的增材结构数模进行区域划分、分层切片、路径规划、路径仿真、工艺规划、生成增材程序等基本功能。

5.2 增材材料

5.2.1 铝合金增材丝材（以 xxx 铝合金转向架为例，采用 5 系铝合金，牌号为 ER5183）应符合 GB/T 10858—2023 中的有关规定。

5.2.2 增材材料的生产企业应建立可靠的质量体系，具备可满足用户需求的生产能力。

5.2.3 增材材料应有质量证明书，符合相应标准或规范的要求，质量证明书应包含供应商信息、材料规格、制造工艺、检验报告、认证和标准、使用建议等信息。

5.2.4 增材材料表面不应存在油污、锈蚀、水分等杂质以及其他影响增材质量的缺陷。

5.2.5 增材材料在使用过程中，为了保证增材材料的使用性能，使用企业除了具备必要的贮存、烘干、清理设施之外，应保证其标签完好，以备查证。

5.2.6 增材材料及其包装盒中不应含有石棉成分。

5.2.7 增材材料的验收入库等管理应按 JB/T 3223 的有关规定执行。

5.3 保护气体

5.3.1 增材保护气体采用纯度 ≥ 99.99 的氩气，且应符合 GB/T 39255—2020 的要求。

5.3.2 保护气体应干燥处理。

5.3.3 采用管道或瓶装保护气体进行增材时，应采取适当的防冻措施。

5.3.4 气瓶搬运、储存和使用时应符合 GB/T 34525—2017 的安全技术规程。

6 安全防护

6.1 操作人员工作前应穿戴保护衣物（工作服、防护鞋、护目镜、防尘口罩等）以防止电磁辐射、弧光辐射、增材烟尘等对人体的伤害。

6.2 操作人员在启动增材前，应关闭增材制造设备舱门，防止弧光辐射等工作场地其他人员的伤害。

6.3 工作场地应配置警报装置及防火用消防器材等设施。

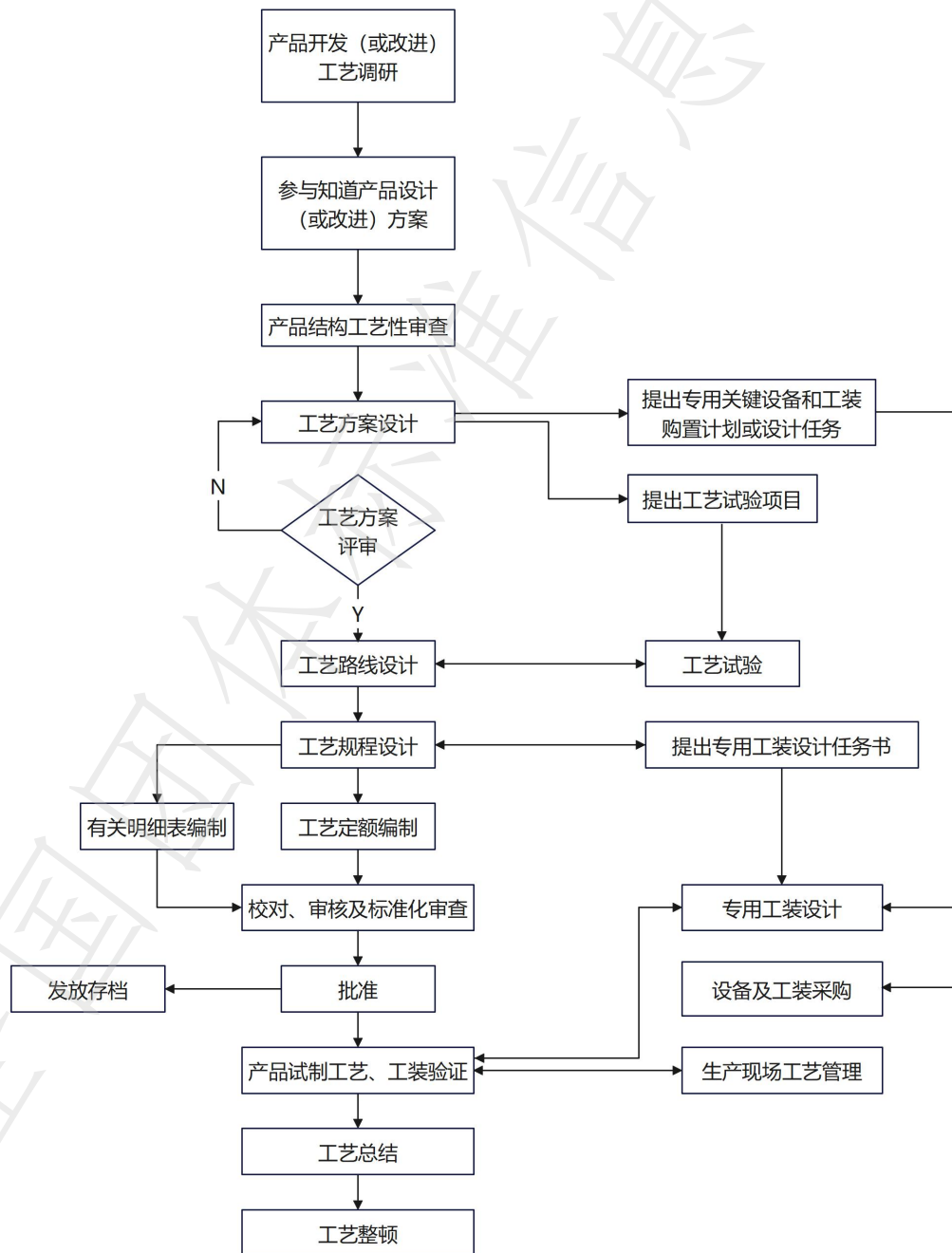
6.4 发生人身触电、灼伤等事故时，应立即拉闸断电，触电者脱离电源后，实施人工急救并及时送往医院，并应及时、如实报告单位领导，保护事故现场。

6.5 发生设备故障时，应立即停止作业，在问题排除后，方可进行操作。

7 工艺过程

7.1 流程图

铝合金车辆转向架电弧熔丝增材制造工艺流程见图 1，工艺流程符合 GB/T 24737.2—2012 的产品工艺工作程序。



注：可根据需要反馈到工艺方案设计、工艺路线设计、工艺规程设计或专用工装设计。

图 1 工艺流程

7.2 产品开发

7.2.1 创意与构思：产生新的产品想法或对现有产品进行改进的设想。

7.2.2 可行性研究：评估产品的技术可行性、市场潜力、成本效益等。

7.2.3 产品设计：包括外观设计、结构设计、功能设计等。

7.2.4 研发与创新：投入研发资源，进行技术创新和产品优化。

7.2.5 质量控制：建立质量检测体系，确保产品质量符合标准。

7.2.6 项目管理：协调各部门和环节，确保产品开发进度和质量。

7.3 产品结构工艺性审查

7.3.1 可制造性：分析产品能否通过增材制造进行生产。

7.3.2 可加工性：确认材料在生产制造过程中能够进行加工。

7.3.3 经济性分析：评估产品通过增材制造生产在经济上的可行性。

7.4 工艺方案设计

7.4.1 工艺流程确定：规划产品生产的各个步骤和顺序。

7.4.2 设备选型：根据工艺要求选择合适的生产设备。

7.4.3 工艺参数设定：确定生产过程中的电流、电压、增材速度等关键参数。

7.4.4 工装夹具设计：设计用于固定和定位产品的工装夹具。

7.4.5 人员配置：明确各生产环节所需的人员数量和技能要求。

7.4.6 质量控制计划：制定质量检测点和控制方法。

7.4.7 环境要求：考虑生产环境对工艺的影响。

7.4.8 安全措施：制定确保生产安全的措施和规范。

7.4.9 物料清单编制：列出生产所需的各种物料及其用量。

7.4.10 成本估算：对工艺方案进行成本估算和分析。

7.5 专用关键设备及工装准备：

7.5.1 专用关键设备采购：对于需要专用关键设备的产品计划专用关键设备的采购。

7.5.2 专用工装设计与采购：设计产品的专用工装并进行采购。

7.6 工艺路线设计

7.6.1 原材料准备：选择直径 1.6 mm 的铝合金丝材，并进行表面处理。

7.6.2 模型构建与切片：使用三维建模软件构建模型，并进行切片处理。

7.6.3 增材制造：按照切片数据，采用电弧熔丝增材制造技术逐层堆积成型。针对各区域的增材规划路径，结合相应的增材工艺参数。铝合金试块电弧增材过程，增材电流 54A~148A，增材电压 15V~20 V，送丝速度 3 m/min~7 m/min，保护气体流量 16-20 L/min，丝材干伸长 12 mm~15 mm，形成各增材区域的增材电源参数工艺文件。结合各区域增材过程参数，铝合金试样搭接率 3.0 mm~5 mm，层间温度控制在 120℃以下，层高 1 mm~3 mm，确定增材路径上的层内平铺偏移点与层间抬高偏移点以及等待冷

却所处的位置点等特殊功能点。将上述特殊功能点及其参数，写入增材路径文件，获取具备增材功能的增材路径/工艺文件组合。

7.6.4 后处理：去除支撑结构，进行表面打磨、抛光、机加等处理。

7.6.5 质量检测：对制造出的铝合金结构进行尺寸精度、力学性能等方面的检测。

7.7 工艺规程设计

7.7.1 工艺规程原则：保证增材质量；保证生产效率；较低制造成本；良好劳动条件。

7.7.2 工艺规程设计：按照工艺方案设计增材工艺规程。

7.8 工艺试验

7.8.1 试验模型设计：将产品模型进行等比例缩小建立试验模型，或者设计形状为墙体的试验模型。

7.8.2 试验模型增材：按照工艺方案增材制造试验模型。

7.9 工艺定额编制

7.9.1 材料定额：精确计算各种材料的用量，包括主料和辅料。

7.9.2 工时定额：对每个工序所需的工作时间进行评估，包括基本时间、辅助时间等。

7.9.3 设备和工具定额：确定所需设备和工具的类型、数量及使用时间。

7.9.4 能源消耗定额：核算水、电、气等能源的消耗。

7.9.5 废品率定额：考虑生产过程中可能产生的废品数量。

7.10 校对、审核及标准化审查

7.10.1 审查工艺定额编制的合理性和科学性。

7.10.2 验证数据来源和计算过程的正确性。

7.10.3 评估对生产实际的适用性和可行性。

7.10.4 检查是否符合相关法规、标准和规范。

7.10.5 确认是否遵循了行业既定的标准和规范。

7.11 产品试制及工艺、工装验证

7.11.1 产品试制：按照设计要求生产出少量产品样本。检查产品的外观、尺寸、性能等是否符合预期。

7.11.2 工艺验证：验证各个工艺步骤的可行性和稳定性。观察工艺过程中是否存在问题，如缺陷、效率低下等。

7.11.3 工装验证：检验工装夹具、模具等的适用性和可靠性。确保工装能够满足生产要求，保证产品质量。

7.11.4 问题反馈与改进：收集试制过程中出现的问题和反馈信息。对工艺、工装进行必要的调整和优化。

7.12 生产现场工艺管理：

7.12.1 设备管理和维护：对生产设备进行定期检修和维护，以确保设备的正常运行和可靠性。

7.12.2 人员培训和管理：对生产人员进行培训，提高其对工艺流程和操作规程的理解和掌握，确保操作的标准化和规范化。

7.12.3 质量控制与检验:建立严格的质量控制体系,对生产过程利成品进行全面的检验和测试,保证产品符合质量标准。

7.12.4 工艺安全管理:落实工艺安全规定,保证生产过程的安全性,防止事故和损失的发生。

7.13 工艺总结

7.13.1 原材料选择

铝合金丝材类型:详细说明所选用的铝合金丝材的牌号和规格;材料质量要求:强调材料的化学成分、机械性能等方面的要求。

7.13.2 设备与系统

增材制造设备:描述设备的主要组成部分,如电弧发生器、送丝装置、运动控制系统等;辅助系统:包括气体保护系统、冷却系统等的作用和要求。

7.13.3 制造过程控制

制造顺序和路径规划:说明如何确定制造的顺序和路径,以确保结构的稳定性和均匀性;制造环境控制:强调对温度、湿度等环境因素的控制要求。

7.13.4 质量检测与评估

尺寸精度检测:包括长度、宽度、高度等尺寸的测量方法和允许偏差范围;表面质量评估:描述表面粗糙度、平整度等指标的检测方法和标准;内部缺陷检测:采用的无损检测方法,如超声检测、射线检测等,以及常见缺陷的类型和特征;力学性能测试:进行拉伸试验、硬度测试等力学性能测试的方法和结果分析。

7.14 工艺整顿

7.14.1 现状分析:对当前工艺进行全面的调研和分析,了解存在的问题、瓶颈和改进的潜力。

7.14.2 目标设定:明确工艺整顿的目标,例如提高生产效率、降低成本、提高产品质量等。

7.14.3 方案制定:根据现状分析的结果,制定具体的整顿方案,包括改进措施、时间表和责任人。

7.14.4 实施执行:按照整顿方案的要求,组织相关人员进行实施,确保各项措施得到有效执行。

7.14.5 监控评估:对整顿过程进行监控和评估,及时发现问题并采取措施进行调整和改进。

7.14.6 持续改进:将工艺整顿工作纳入日常管理,不断优化工艺,提高生产效率和产品质量。

8 检验

8.1 外观质量

8.1.1 对增材完成后的增材件表面进行目视检验,必要时可进行渗透检测。

8.1.2 检查所有影响质量的因素,检查部位一般为增材件表面、侧面以及与基板结合区域的情况。目测增材件表面、侧面以及与基板结合区域未熔合、裂纹、气孔、夹渣等增材缺陷要符合相应增材件质量要求分类的要求。

8.2 结构质量

采用符合规定的游标卡尺、千分尺、卷尺以及激光三维扫描仪检验增材后铝合金增材件外形轮廓尺

寸。铝合金零件长度，宽度以及高度尺寸应满足 $\pm 1\text{ mm}$ 的尺寸精度要求。

8.3 内部质量

铝合金增材件内部不应有裂纹、未熔合等增材缺陷。对于气孔、夹渣等缺陷，X射线检测按 GB/T 36015—2018 的要求执行，并参照 NB/T 47013.2 中的有关规定进行质量分级与评估。

9 产品交付

交付的铝合金试件应包含但不限于以下信息：

- 9.1 零件名称和材料牌号或成分；
- 9.2 零件合格证明文件；
- 9.3 执行标准编号；
- 9.4 零件数量；
- 9.5 生成日期；
- 9.6 后处理记录；
- 9.7 产品包装、运输、储存等要求。

附录 A
(资料性)
增材制造工艺规程

编号:

试验温度:

表 A.1 增材制造工艺规程

增材制造工艺规程编号 AM Procedure Specification No.			
工程名称 Project Name _____		工程编号 Project No. _____	
产品名称 Product or Name _____			
产品编号 Project No. _____			
工艺评定报告编号 PQR No. _____		施工执行标准 Acceptance Criteria _____	
接头 Joints: 增材制造方法 AM Process _____ 操作类型(手工,自动,半自动)Operation Types(Manual,Automatic,Semi-Auto) _____ 坡口形式 Groove Type _____ 垫板(材料及规格)Backing _____ 简图(坡口型式、尺寸、加工顺序示意图)Sketch: _____			
母材 Base Metals 材料标准 Material Specification _____ 类型或牌号 Type or Grade _____ 材料标准 Material Specification _____ 类型或牌号 Type or Grade _____ 厚度 Thickness _____ 直径 Diameter _____ 其它 Other _____			
填充金属 Filler Metals			
填充金属标准 Specification			
型号 Classification			
牌号 Brand			
尺寸 Size			
烘干温度/时间 Dry Temperature or time			
熔敷厚度 Thickness of deposited weld			
其它 Others			
位置 Positions		预热 Preheat	
坡口位置 Position of Groove _____		预热温度 Preheat Temperature _____	
方向(向上、向下)Progression(Uphill,Downhill) _____		层间温度 Interpass Temperature _____	
角焊缝位置 Fillet Weld _____		后热 Postheating _____	
		其它 Other _____	

增材制造工艺规程编号 AM Procedure Specification No.		页数 Page		2 of 2				
制造后热处理 PWHT 温度 Temperature _____		气体 Gases _____		流量 Flow Rate _____				
时间 Time _____		气体 Gases 混合比 Mixture _____		保护气体 Shielding Gases _____				
升温速率 Heating Rate _____		尾部气 Trailing Gases _____		背部气 Backing Gases _____				
降温速率 Cooling Rate _____								
电特性 Electrical Characteristics 电流种类 Current Type _____ 极性 Polarity _____ 电流范围(A) Amps Range _____ 电压(V) Volts _____ 钨极尺寸及类型 Electrode Size, Type _____ 送丝速度 Electrode Wire Fed Speed Range _____ 其它 Other _____								
切片参数 层高 Storey height _____ 搭接率 Overlap rate _____ 沉积道宽度 Channel width _____ 其它 Other _____								
层数 Welded Layer(s)	方法 Process	填充金属 Filler Metal		电流 Current		电压范围(V) Volt Range	速度 Travel speed cm/min	线能量 KJ/cm
		牌号 Class	直径 Dia	类型/极性 Type/Polar	安培(A) Amp(s)			
增材速度直接或摆动焊道摆动方式 Travel Speed _____ Stringor Weave Bead _____ Oscillation _____ 喷嘴尺寸焊前清理或层间清理方法 Orifice Cupor Nozzle Size _____ Method of Initial and Interpass Cleaning 背面清根方法单道焊或多道焊(每面) Method of Back Gouge _____ Singlepass or Multiple Pass(Each Side) 导电嘴至工件距离(每面) 单焊丝或多焊丝锤击 _____ Contact Tube-Work Distance (Each Side) _____ Single or Multople Electrodes _____ 其他 Other: _____								
编制 Prepared By		审核 Reviewed By		批准 Approved By				
日期 Date		日期 Date		日期 Date				