

合金焊接材料选定及焊接工艺流程要点

王夏鹏

内蒙古第一机械集团股份有限公司 内蒙古 包头 014000

摘要: 合金焊接的成型质量与结构稳定性, 取决于焊材选型的合理性与工艺流程的规范性。本文结合各类合金母材的材质特性与适配规律, 系统梳理合金母材的品类属性与焊接适配条件, 细化焊材选型原则、品类匹配标准及辅助材料选用规范, 分步拆解标准化焊前、装配、施焊与焊后完整流程, 同时明确焊接参数、操作过程、作业环境及异种合金对接的关键控制要点, 能够为各类合金构件的规范化焊接加工提供完善的技术参考与实操依据。

关键词: 合金母材; 焊接材料; 选型准则; 焊接工艺; 工艺控制

引言: 合金材料凭借优异的力学与耐腐蚀性能, 广泛应用于各类工业构件的加工制造领域, 焊接加工是其成型装配的核心工艺方式。不同品类合金的物理、化学特性存在显著差异, 对焊材适配性、作业流程及工艺管控标准有着不同要求。焊接材料选型不当、工艺流程管控不规范, 极易引发气孔、裂纹、未熔合等各类成型缺陷, 影响构件结构精度与使用性能。基于各类合金焊接的技术特点, 规范焊材选用标准、梳理完整作业流程、明确工艺控制重点, 是保障合金焊接加工质量的重要基础。

1 合金焊接基础属性分类

1.1 常用合金母材品类划分

工业焊接应用场景中, 合金母材可依据材质组分与结构特性完成清晰划分。铁基合金是应用范围最广的母材类型, 包含碳素合金、低合金结构钢、高合金耐热钢等细分品类, 整体金属基体以铁元素为主体, 各类微量元素构成辅助组分。有色金属合金涵盖铝基合金、铜基合金、钛基合金等主流品类, 这类母材摒弃铁基基体结构, 凭借轻质、耐腐蚀、高导热的材质特点, 适配特殊工业焊接场景。硬质合金母材以钨、钴等硬质金属组分为核心, 硬度与耐高温性能突出, 多用于耐磨、耐高温构件焊接。特种合金母材包含镍基、钼基等高端合金品类, 材质稳定性强, 可适配极端工况下的焊接加工需求^[1]。各类合金母材的物理特性、力学特性互不相同, 直接决定后续焊接加工的整体工艺走向。

1.2 各类合金焊接适配特性

铁基合金母材焊接稳定性较强, 基体结构均匀, 焊接加工过程中不易出现结构性缺陷, 常规焊接方式均可完成加工操作。低合金类母材具备良好的塑韧性, 焊接加工容错空间较大。高合金铁基母材耐热性能优异, 高温焊接环境下可维持基体结构完整。铝基合金母材导热速率快, 熔点偏低, 焊接加工中易出现熔池分散、成

型不均的情况, 对焊接操作精度要求较高。铜基合金母材导电导热性能优越, 焊接热输入消耗量大, 熔敷成型难度高于普通铁基合金。钛基、镍基特种合金母材化学活性较强, 高温状态下易与空气介质发生反应, 焊接加工需要密闭、纯净的加工环境。各类合金母材的特性差异, 让不同材质的焊接加工侧重点形成明显区分。

1.3 合金焊接工艺适配前提条件

合金焊接工艺选用需匹配母材本身的材质特性, 母材力学性能、物理性能直接决定工艺选型方向。母材厚度、结构形态会限定焊接操作方式, 薄壁合金构件适配低热输入焊接工艺, 厚壁合金构件可选用大熔深焊接工艺。加工环境的温度、洁净度会约束焊接工艺落地, 特种合金焊接需隔绝空气杂质, 规避材质氧化问题。构件使用工况的性能要求, 划定焊接工艺的管控标准, 耐磨构件侧重焊接熔敷层致密性, 耐热构件侧重焊接区域高温稳定性。各类前置条件相互制约, 精准限定焊接工艺的选用范围与操作标准。

2 合金焊接材料选定准则

2.1 焊接材料选型基本原则

焊接材料选型围绕母材材质属性与构件加工需求展开。材质成分均衡原则贯穿选型全过程, 焊材金属组分需对应母材基体组分, 弱化焊接区域材质差异, 减少组织结构不均的问题。力学性能匹配原则针对构件使用需求设定, 焊材成型后的强度、韧性、硬度指标, 需满足构件承载、抗变形、耐损耗的基础加工要求。工艺适配原则聚焦加工实操条件, 焊材需适配预设的焊接方式与热输入模式, 能够适应常规或特殊的加工环境^[2]。多项选型原则相互配合, 为焊材筛选提供完整的技术依据。

2.2 焊材品类匹配选型要求

焊材品类划分包含焊条、焊丝、焊粉、焊剂等核心类型, 不同品类的适用场景存在明确区别。手工焊条适

用于小范围、多位置的焊接加工,可应对复杂结构构件的焊接作业,适配多种常规合金母材。实芯焊丝适配自动化、半自动化焊接设备,熔敷效率高,成型质量均匀,适合大批量规整构件的加工。药芯焊丝具备良好的脱氧、保护效果,可用于工况条件一般、环境洁净度有限的焊接现场。焊剂与焊粉多用于埋弧焊、堆焊等工艺,可优化熔池状态,提升焊接成型的规整度。生产设备配置、作业环境条件,直接决定焊材品类的最终选用方向。

2.3 不同合金对应的焊材选用要点

铁基合金母材优先选用同体系铁基焊材,依据碳素、低合金、高合金的材质区别,区分普通结构焊材、耐热焊材、耐腐焊材的使用。铝基合金母材选用专用铝系焊材,严控杂质含量,适配铝材低熔点、高导热的材质特点,规避熔池成型缺陷。铜基合金母材搭配铜系专用焊材,提升熔敷结合度,适配高导热材质的热输入需求。钛基、镍基特种合金母材选用高纯专用焊材,严控组分纯度,适配高温加工环境的材质稳定性要求。根据合金材质专属特性匹配对应焊材,可有效规避材质适配带来的各类焊接问题。

2.4 辅助焊接材料选用规范

辅助焊接材料包含保护气体、脱氧剂、清洗剂、衬垫等配套物料,各类物料选用均对应固定技术标准。保护气体依据合金材质类型挑选,惰性气体多用于特种合金、有色金属合金焊接,活性气体适配普通铁基合金焊接作业。脱氧剂根据熔池反应需求选用,去除焊接过程产生的氧化物,净化熔敷金属组织结构。清洗剂用于焊前母材表面处理,清除氧化层、油污、粉尘等杂质,保障焊接界面洁净度。焊接衬垫适配大尺寸、长焊缝构件加工,稳定焊缝成型形态,杜绝焊穿、凹陷等成型问题。不同辅助材料各司其职,从表面处理、熔池保护、焊缝成型等多个维度完善焊接作业条件。

3 合金焊接完整工艺流程

3.1 焊前预处理流程

焊前预处理为合金焊接提供稳定的施焊基础,针对母材焊接区域开展专项精细化处理。采用机械打磨方式处理母材表面,彻底清除氧化皮、锈蚀层、油脂污渍和各类附着杂质,裸露出质地均匀的新鲜金属基体。根据合金材质厚度与硬度差异,实施梯度预热处理,弱化焊接区域温度梯度,减少低温裂纹、热应力裂纹的产生概率。对焊接坡口进行精细修整,修正坡口角度、根部间隙等关键尺寸,打磨去除切口毛刺、棱角凸起和不规则缺损,保证坡口几何形态统一规范^[3]。完成物理清理后,采用专用清洁介质

擦拭焊接区域,清除细微粉尘与残留污渍,维持焊接界面洁净状态,满足熔敷成型的基础条件。

3.2 焊接工装装配流程

焊接工装装配依据构件结构特征和焊接工艺要求分步实施。参照图纸定位标准完成构件拼接摆放,逐一校核拼接间隙、错边量、装配平整度等关键尺寸,修正各类装配偏差。选用匹配规格的夹具、定位支架完成构件固定,约束焊接过程中的位移变形,限制焊缝收缩带来的形体偏移。检查所有工装夹持点位的紧固程度,保证受力均匀分布,避免单点压力集中引发的构件形变。异形结构构件需加装专项支撑结构,补足薄弱部位承载能力,平衡整体受力状态。全部装配工序完成后,逐项复核装配精度,微调偏差参数,让构件装配状态完全适配施焊标准。

3.3 施焊操作标准流程

施焊操作严格依照既定工艺参数和规范步骤执行。开机后完成焊接设备调试,精准设定电流、电压、行走速度等核心参数,检查设备运行状态、供气管路密封性及介质输出稳定性。电弧引燃后,保持平稳的操作姿态,匀速移动焊枪,精准控制熔池尺寸、熔深范围,维持焊缝成型的均匀性。开展多层多道焊接作业时,每完成单层焊道焊接,及时清理表层氧化杂物,严格管控单道焊道的厚度与宽度,保持焊道排布规整。特种合金焊接作业中,持续稳定供给保护介质,阻隔空气杂质接触高温熔池。全程保持平稳的操作节奏,精准控制热输入量,减少气孔、夹渣、未熔合等成型缺陷。

3.4 焊后处置规范流程

焊后处置按照标准化工序完成构件后续加工处理。等待焊缝区域自然降温至常温区间,有序拆除各类工装夹具与辅助支撑结构,规范搬运构件,规避外力磕碰、挤压对焊缝造成损伤。采用打磨设备对焊缝表面进行精细处理,清除表层焊渣、焊接飞溅物,打磨平整焊缝余高与局部凸起,保持焊缝表面光滑规整。针对存在焊接残余应力的构件,采用专业温控工艺完成消应力处理,优化构件内部组织状态。对焊缝边缘、衔接位置进行精细化修型,统一整体成型质感,保障焊缝外观质量与结构精度,适配后续加工装配的各项要求。

4 合金焊接工艺关键控制要点

4.1 焊接参数控制要点

焊接参数直接决定熔池状态与焊缝成型质量,需根据合金材质属性进行精准设定与把控。焊接电流调控聚焦熔深与熔敷效率,数值偏低会造成熔合不足、焊道偏窄,数值偏高会引发熔池过大、焊缝烧穿、晶粒粗大等问题。电

弧电压匹配电流数值调整,影响焊缝宽度与电弧稳定性,电压数值波动会破坏焊道成型平整度,造成焊缝宽窄不均。焊接行走速度管控熔池热输入累积量,行进速度过快会导致熔深浅、熔合不充分,行进速度过慢会让热输入堆积,增大构件变形概率。多层焊接作业需分层设定参数,逐层微调数值适配焊道厚度变化^[4]。脉冲焊接工艺需精准调控脉冲频率与峰值电流,适配薄壁合金、特种合金的精细焊接需求,规避热损伤与成型缺陷。

4.2 焊接操作过程控制要点

焊接操作过程的标准化管控,直接决定焊缝内部致密性与外观成型精度,每一项操作细节都会影响焊接成品质量。施焊过程中保持稳定的焊枪倾角,角度偏移会改变电弧的作用落点,造成焊缝单侧熔合不良、焊道偏移、宽窄不一等问题。全程维持稳定的电弧长度,电弧长度过大会削弱气体保护效果,外界杂质侵入熔池,诱发气孔、夹渣缺陷。电弧长度过小会频繁触碰熔池,造成电弧短路、焊接中断。单层连续焊道保持无停顿施焊,减少电弧重启带来的熔池温差波动,规避弧坑凹陷、微裂纹等问题。多层多道焊接施工中,每完成一道焊道作业,彻底清理表层氧化皮、焊渣与飞溅物,保证上下层焊道紧密熔合。焊道排布遵循均匀规整原则,合理控制相邻焊道的搭接宽度,避免局部金属堆积或熔合空缺。规范的收弧操作可以消除弧坑缺陷,让整条焊道成型均匀饱满,提升焊缝整体成型质量与结构完整性。

4.3 焊接环境控制要点

焊接作业环境的各类条件对合金焊接质量存在硬性约束,环境指标失控会直接引发焊缝缺陷、材质劣化等问题。作业场地保持高度洁净,空气中悬浮的粉尘、金属颗粒物、杂质尘埃会在高温焊接阶段侵入熔池,固化后形成内部夹渣、细小气孔,破坏焊缝致密结构。户外露天作业做好防风防护措施,流动气流会持续吹散保护气体,裸露的高温熔池与空气发生反应,生成氧化杂质,降低焊缝耐腐蚀性能与力学性能。环境温度管控贴合合金材质特性,低温环境会加速焊缝与母材散热速度,焊接区域温度梯度增大,冷裂纹生成概率显著提升。高温环境会延长金属高温停留时长,晶粒持续粗化,构件整体韧性与强度出现衰减。作业环境湿度严格把控,空气水汽会在母材表面形成隐性水膜,高温分解

产生氢元素,残留在焊缝内部形成延迟裂纹。良好的场地通风条件可以改善作业工况,稳定焊接保护氛围,从外部环境层面规避各类焊接缺陷滋生。

4.4 异种合金焊接工艺控制要点

异种合金焊接存在材质组分、热传导性能、力学参数的客观差异,工艺管控难度远高于同种合金对接焊接。针对两类物性差异较大的母材,选用专属过渡型焊材,优化焊缝金属组分结构,缩小焊缝与两侧母材的性能差距,弱化材质差异带来的焊接隐患。严格控制焊接热输入总量,采用小参数、快焊速的作业模式,缩短焊接高温持续时长,抑制接头区域晶粒过度粗化,稳定接头力学性能。精准管控预热温度与层间温度,平衡两种母材的散热速率,缩小焊接区域温差,降低残余应力聚集程度。简化复杂异种合金接头的焊缝结构,减少多层反复焊接作业次数,规避多次热循环引发的应力累积与材质劣化。合理规划焊道焊接顺序,通过差异化施焊方式分散应力集中点位,避免局部应力叠加造成的开裂问题。精细化的热输入管控方式,可大幅弱化异种材质焊接的适配矛盾,保障焊接接头长期结构稳定。

结束语

合金焊接施工质量由母材特性适配、焊材合理选型、工艺流程规范及工艺精准管控多重因素共同决定。各类合金差异化的材质属性,对焊材匹配方式和施工标准提出针对性要求,标准化的全流程工序与精细化的过程管控,可有效解决同种及异种合金焊接中的常见问题。严格遵循对应的选型准则与工艺要点开展施工,可有效保障合金焊接构件的成型精度与结构可靠性。

参考文献

- [1]方爱雪.铝合金焊接材料耐腐蚀性能及焊接工艺优化[J].冶金与材料,2026,46(2):4-6.
- [2]方爱雪.新型焊接材料在铝合金车体焊接中的工艺适应性分析[J].造纸装备及材料,2025,54(12):67-69.
- [3]宋丹丹,沈煜,刘军,等.铝合金车体材料性能及焊接工艺分析[J].设备管理与维修,2025(16):122-124.
- [4]蔡宇凡,周海鹏,杨苑铎,等.碳纤维增强热塑性复合材料与钛合金焊接技术研究进展[J].材料工程,2026,54(5):84-103.