

厚板钢结构件焊接工艺优化及焊接变形控制技术研究

张 新

山西中条山机电设备有限公司 山西 运城 043700

摘 要：钢结构厚板在焊接施工中容易产生变形问题，这类问题会影响结构施工精度与实际使用效果。本文针对厚板焊接的变形产生原因与具体类型开展分析，总结当前焊接施工存在的工艺参数、施工方法、装配流程及质量管控等方面的问题，结合现场施工条件制定对应的优化措施。相关优化方案可以有效改善厚板焊接的变形缺陷，提升钢结构焊接作业的整体施工质量与结构稳定性。

关键词：厚板钢结构；焊接工艺；工艺优化；焊接变形；控制技术

引言：厚板钢结构广泛应用在建筑、桥梁与大型设备承重结构当中，焊接加工是构件成型的主要施工方式。厚板材料本身的结构特性会让焊接作业更容易出现变形问题，这类问题会降低构件安装精度，对结构安全和使用年限都会造成影响。现有传统焊接工艺的控制手段相对有限，整体防控效果并不理想。本文根据厚板焊接的施工特征，梳理焊接变形的形成原因与工艺缺陷，提出对应的工艺优化和变形控制措施，能够为现场焊接作业提供一定的技术参考。

1 厚板钢结构焊接基础理论与变形机理

建筑、桥梁以及大型设备工程所使用的厚板钢材，一般为厚度 20 毫米以上的碳素钢与低合金钢，这类钢材主要用于承担结构荷载，焊接表现和常规薄板钢材存在较大区别。厚板开展焊接作业时，板材内外会出现散热速度不一致的情况，板材表层冷却速度更快，内部热量容易堆积，整体温度分布很难保持均衡。目前工程施工普遍采用多层多道焊接工艺，该工艺会让构件持续产生塑性变形并不断累积^[1]。厚板本身具备较大的结构刚度，母材会约束焊接产生的热变形，导致构件内部生成残余应力与残余变形，施工管控不到位的情况下还会产生各类焊缝质量问题。焊接热循环带来的不均匀塑性变形，是厚板焊接形变的主要原因，多层焊接叠加作业与板材厚度方向的温度差异，都会引发构件弯曲、角度偏移等变形现象。厚板钢结构焊接变形主要分为纵向收缩、横向收缩、角变形与扭曲变形四类，钢材材质、焊接参数、构件结构形式和装配固定方式，均会对构件变形量产生影响，是控制厚板焊接成型质量的关键要点。

2 厚板钢结构传统焊接工艺缺陷分析

2.1 焊接参数匹配不合理

国内厚板钢结构焊接作业的工艺参数设定，在现阶段的现场施工里普遍缺少统一的执行标准，参数取值大多依托操作人员的现场经验进行判定，参数与构件实际工况的匹配度往往不足。施工人员在开展焊接作业时，很少结合板材厚度、钢材材质以及坡口结构等基础条件，对焊接电流、电压以及焊接行进速度进行针对性调整，行业现场普遍存在整体热输入偏大的施工问题。不少施工团队为缩短施工周期，会主动提高焊接作业参数，这会让焊缝的受热范围持续扩大，板材内外的温度差值会明显增加，构件出现塑性变形的可能性与变形总量也会随之上升。多层多道焊是厚板施工的常用方式，但该工序目前没有完善的分层参数管控机制，各层焊缝的热输入数值难以保持一致，焊接施工的稳定性的持续下降，各类焊接缺陷会频繁出现。构件成品的尺寸精度很难满足工程施工标准，焊缝整体质量不够稳定，构件返修次数会有所增加，工程项目的整体施工成本也会出现额外的消耗。

2.2 焊接工艺方法较为落后

现阶段多数中小型钢结构生产企业，仍旧依靠传统焊接工艺开展厚板构件的加工制作，这类老旧工艺体系的整体管控能力偏弱，难以满足当下高精度钢结构的施工生产要求。手工电弧焊是施工现场最为常用的焊接方式，该工艺的施工稳定性较差，电弧产生的热量分布相对零散，工作人员很难对焊接热输入进行精准控制^[2]。不同作业人员的操作习惯和技术水平存在区别，这就使得焊缝成型质量并不统一，焊接变形的发生状态也具备不确定性。常规气体保护焊的熔深效果达不到厚板焊接的施工标准，施工人员只能通过增加焊接层数和焊接道数的方式保障焊接有效性，这会让构件变形累积的风险持续增加。传统焊接作业大多

采用整体连续施焊的模式,并未运用分段、对称等科学的焊接施工手段,长焊缝持续受热会造成局部热量堆积,构件内部会不断生成集中应力,最终导致构件出现弯曲、扭曲等变形问题,难以适配现阶段钢结构加工的标准化与高精度生产要求。

2.3 焊接装配与固定工艺不规范

焊接装配与工装固定是控制厚板钢结构焊接变形的关键工序,现阶段传统施工流程在这两项作业当中,普遍存在操作不规范的问题,会间接加剧构件的焊接形变问题。施工人员进行钢结构拼装作业时,经常会出现构件对接错位、板面平整度不达标以及对接间隙不均匀等问题,这些装配产生的误差会和焊接形变相互叠加,会提升后续构件矫正作业的施工难度。施工现场大多采用简易夹具完成临时固定工作,固定点位的布置方式不够科学,夹具的夹紧力度也难以做到统一标准,焊接过程产生的构件形变无法得到有效约束。施工人员在作业前期大多不会预留焊接收缩量,行业施工普遍忽视了厚板焊接收缩量大的特性,这就会让成型后的钢结构构件出现各类尺寸偏差。装配与固定作业结束后,现场缺少精细化的质量校验流程,焊接施工过程中容易出现工装松动、构件偏移等问题,这些问题都会持续加重焊接变形程度,让钢结构构件产生更多的施工质量缺陷。

2.4 变形防控与矫正体系不完善

国内厚板焊接施工的管控模式目前存在一定的局限性,多数施工单位只注重现场焊接工序的开展,对于变形预防的管控工作较为忽视,行业内部尚没有形成覆盖施工全流程的管控体系。当前的变形治理工作基本都在焊接施工完成后开展,这种后置处理模式存在明显的被动性,不仅整体作业效率偏低,还会对钢材母材造成不同程度的二次损害,钢材原本的力学性能以及结构稳定性也会因此受到削弱^[3]。传统焊接施工模式不具备前期风险预判和过程动态管控的相关条件,工作人员难以结合板材厚度和结构差异制定对应的防控措施。施工现场缺少温度与形变的实时监测手段,施工参数也无法依据现场工况及时做出调整。国内现阶段的焊接变形矫正工作并未形成统一的操作规范,矫正过程的温度控制、操作力度以及施工顺序都没有明确要求,各类矫正操作都会改变构件内部的应力状态,对钢材本身的材质特性造成负面影响,进而缩短钢结构构件的整体使用寿命。

3 厚板钢结构焊接工艺优化策略

3.1 优化焊接工艺参数精准控制热输入

焊接热输入的控制效果能够直接决定厚板钢结构的

焊接变形程度,参数优化工作主要是为了实现热输入的精细化与稳定化管控。现场焊接参数的传统设定方式大多依托操作人员的主观经验,这种作业模式缺乏统一标准,适配性也难以得到保障。施工人员需要结合钢材材质、板材厚度和坡口形式等基础条件,对焊接电流、焊接电压和焊接速度等关键参数进行细化调整,逐步建立可以长期沿用的标准化参数体系。不同材质的厚板构件对焊接热量的承受能力并不相同,工作人员需要根据材料特性调整对应的施工参数,以此平衡焊缝受热状态,减少热量堆积问题的发生。高强合金材质的厚板具备更高的焊接施工难度,现场人员可以通过减小焊接电流、提升焊接行进速度的方式,缩减构件高温受热区域,有效抑制板材塑性变形的产生。多层多道焊接作业需要区分各层焊缝的施工参数,打底焊缝、填充焊缝和盖面焊缝的参数需要单独调整,能够有效保障焊缝熔透效果与成型质量,减少构件表面变形问题。层间温度管控也是参数优化的重要内容,施工人员需要等待每层焊缝温度回落至规定区间后,再进行下一道焊接工序,能够有效避免层间高温叠加造成的变形增量。规范的参数管控模式可以从施工源头控制塑性变形积累,切实提升厚板钢结构的整体焊接施工质量。

3.2 改进焊接工艺方法提升焊接稳定性

焊接工艺方式的优化升级,是提升厚板钢结构焊接施工稳定性的重要途径,也是控制焊接变形的基础手段。传统焊接技术存在一定的局限性,这类技术短板可以通过新型焊接工艺的落地应用得到弥补,构件焊接变形的发生概率也能够得到有效降低。施工单位需要替换传统人工焊接方式,将自动化焊接设备投入厚板加工工序当中,这类设备的电弧运行更加平稳,焊接作业的热量输出可以维持均匀状态。人工操作带来的施工偏差会有所减少,焊缝成型质量会更加统一,构件不均匀变形的问题也可以得到有效改善。长焊缝构件在焊接过程中容易出现热量集中的情况,工作人员可以拆分整体焊缝,采用分段焊接以及间隔焊接的作业模式,让构件受热状态更加均匀^[4]。构件内部的焊接应力能够缓慢释放,纵向和横向的收缩变形问题可以得到有效抑制。对称结构的厚板构件可以采用同步对称焊接的方式,构件两侧的热输入量能够保持基本一致,不均匀收缩产生的应力可以相互抵消,构件弯曲变形和扭曲变形的问题能够得到有效防控。施工人员可以调整构件的焊接坡口形式,双面坡口结构能够减少焊缝填充材料的使用量,整体焊接热输入可以得到合理缩减,板材正反两面产生的焊接形变能够相互抵消,以此降低厚板焊接作业中常见

的角变形问题,全面提升厚板构件的整体焊接质量。

3.3 规范焊接装配与刚性固定工艺

厚板钢结构的焊接变形防控工作,需要落实在施工前期的装配与固定环节当中,这两项工序可以从源头降低焊接变形的发生概率,也是整体质量控制的核心内容。施工单位需要统一现场装配作业标准,工作人员需要严格管控构件对接间隙、错边量以及板面平整度等关键指标,最大限度降低装配误差带来的不利影响。构件的装配精度会直接改变焊缝的填充状态,稳定的间隙参数可以让焊缝金属填充更为均匀,能够有效规避不均匀变形的积累问题。工作人员需要结合厚板构件的规格参数,对焊接冷却后的收缩量进行合理计算,提前预留对应的收缩余量,以此抵消构件在降温过程中出现的尺寸收缩。刚性固定措施需要按照标准化流程落实,专用夹具和定型胎架可以用于构件整体定位固定,合理排布固定点位能够让构件受力更加均衡,焊接过程产生的自由形变可以得到有效约束。夹具的夹紧力度需要保持适中,不合理的夹紧强度会影响构件装配精度,也会降低工装固定的实际效果。所有装配和固定作业完成以后,工作人员需要借助专业检测设备开展精度核验工作,确认构件装配状态符合施工标准后,才可开展后续焊接作业。工作人员还需要在焊接全过程中持续检查工装紧固情况,及时处理松动偏移等问题,避免构件位置变动引发各类焊接质量缺陷。

3.4 构建全过程焊接质量管控体系

标准化质量管控体系是规范厚板钢结构焊接施工的重要保障,施工单位可依据不同施工阶段划分管控重点,通过全流程常态化管理方式规范焊接作业流程,有效减少焊接变形等质量问题的出现。焊接施工正式开展前,工作人员需要做好构件预处理工作,清理干净构件坡口位置的各类杂质,保证焊接接触面满足施工要求。工作人员需要依据构件结构形式和板材实际参数制定适配的焊接施工方案,同时落实现场技术交底工作,让作业人员清楚各项施工标准,减少前期准备工作疏漏引发

的焊接缺陷和结构应力集中问题。在焊接施工进行的过程中,现场工作人员需要依托专业设备,持续监测构件温度、层间温度以及构件形变等关键数据,实现施工过程的动态化管控^[5]。当施工参数和构件形变数据出现异常时,工作人员需要及时调整焊接方式和工艺参数,防止焊接变形问题持续加剧。焊接施工完成后,工作人员需要对焊缝成型状态和构件整体尺寸进行全面检测,针对检测出的质量问题开展矫正和返修处理,杜绝不合格构件投入工程使用。施工单位可以结合应力调节、变形矫正及各类辅助焊接技术优化施工效果,定期复盘现场焊接工艺的实际应用情况,补齐现有施工技术短板,不断完善厚板钢结构焊接施工的标准化管控体系,稳定提升整体焊接施工质量。

结束语

综上所述,焊接变形问题普遍存在于厚板钢结构施工当中,这类问题会对构件加工精度和结构安全性能造成不良影响。焊接参数调整、施工工艺改良、装配工序规范以及全流程质量管控,都是控制焊接变形的有效手段。落实对应的技术与管理措施以后,焊接施工的整体稳定性可以得到提升,构件返修损耗能够得到合理控制,钢结构工程的施工质量与结构耐久性也可以得到保障,能够为行业同类焊接施工工作提供基础的技术借鉴。

参考文献

- [1] 刘红军,董新月,王青华.建筑钢结构厚板焊接变形控制技术与应用研究[J].工程机械与维修,2026(2):110-112.
- [2] 周林.钢结构厚板焊接残余应力控制与变形抑制技术研究[J].安家,2026(9):0205-0207.
- [3] 张晓峰,张昊宇,蒋明儒.钢结构箱形截面构件的窄间隙焊接技术及工艺优化研究[J].粘接,2026,53(2):317-320.
- [4] 刘福全.钢结构厚板多层焊焊接顺序优化及其应力变形控制工艺[J].大众标准化,2025(17):46-48.
- [5] 范鹏涛,童林浪,贾宝华.钢结构厚板焊接关键技术[J].电焊机,2026,56(1):81-87.