

焊接作业流程标准化提高施工质量的研究

杜猛

中化学南方建设投资广西有限公司 广西南宁 530000

DOI: 10.32629/ems.v8i4.19736

[摘要] 焊接施工工序繁杂又极易被人的主观因素干扰,在传统管理下很难保障焊接的稳定性。针对焊接工作流程规范化问题进行的研究,整理工序,编制标准操作指引(SOP),设计工序连接可控措施,再辅以监控以及操作人员培训等措施来达到对焊接品质的稳定性以及可控性。具体项目的案例说明,标准化流程大大减少了焊接不良品的发生率、加快了施工进度同时也为大型工程的焊接管理提供了参考经验。

[关键词] 焊接施工; 流程标准化; 作业指导书; 施工质量

第一章 引言

焊接工艺的质量稳定性与可靠性是建筑钢结构工程以及工业设施安全性的重要保证,然而在现实施工过程中,焊接工序复杂并且贯穿整个过程,而现场环境、人员素质等都会造成焊接出现质量问题甚至返工现象、工期拖延等不良后果。目前行业内大多数采用事后验收的方法,缺少对全焊接过程系统的把关手段,很难做到有效受控的施工质量。所以制定焊接作业工序标准,规范工序流程、操作规程以及工序之间的相互关系,结合施工现场实时监管和技术培训,可以大大提高施工进度和减少焊接质量隐患,有利于工程结构的安全。

第二章 焊接作业流程标准化设计

2.1 焊接工序的流程梳理与关键控制点

焊接工艺包括原材料准备、坡口加工、预热处理、正式焊接以及焊缝检查和后期处理等一系列过程,每个过程都有其重要步骤,它们决定了焊接的整体质量。如原材料与焊材规格需严格按照图纸规定制作,坡口表面积与预热温度的选择有利于避免产生裂纹、未熔合等不良情况,在焊接时要注意控制好电流大小、电压高低、焊接速度和送丝倾斜度来确保焊缝的充分结合,焊接完成后还要进行目视检查及射线检测,若存在缺陷要及时整改,在后期还有去应力和打磨抛光等步骤来降低焊接残余应力以及变形。通过对焊接工序进行全面整理和把控好各个控制节点,才能建立起可以执行并可以跟踪的工作程序,从而为后续焊接工程质量的稳定打下坚实的基础。

2.2 标准作业指导书(SOP)与操作规范制定

针对焊接工序规范化的要求,在编制标准作业指导书(SOP)方面是最主要的环节,SOP的内容应包含从前期工作

到后期工作全部过程,明确操作程序、工艺参数和技术质量要求等内容。具体流程如下:首先是前期工作部分,SOP对材料型号规格确定、焊接坡口面清理、焊材和保护气体选配及保存等作出明确规定,其次是焊接过程中,详细阐述焊接顺序、焊接电流、电压、焊速、焊丝送入角度以及多道焊缝层间温度范围,保证焊缝熔合良好无缺陷;然后是焊缝检验过程,SOP对外观检验、超声波或者射线探伤方法、缺陷评价准则以及返修办法进行说明;最后是后期工作,明确规定焊缝去应力处理、焊缝打磨抛光及保护方式等。

2.3 工序衔接与现场执行可控性设计

焊接工艺流程的设计是为了保证各过程之间顺畅连接、及时的信息反馈以及提高施工现场的操作控制能力,在工艺流程的设计上要确定每个过程的工作职责、工作顺序以及接口要求等,如:焊前准备和主线焊接之间的材质检查与参数校验;焊接与检验间的缺陷信息沟通与返修步骤,利用施工日记、手机收集数据及监控重要参数的方式来实施焊接温度、电流、电压以及焊缝层数的即时监测,保证其按标准进行。控制性设计减少由于各道工序过渡造成的偏差及信息传输失误的可能性,并使整个流程有迹可循,从而保证了焊接质量的稳定性。

第三章 标准化流程对施工质量的作用机制

3.1 流程一致性对焊接质量稳定性的影响

焊接质量稳定受焊接施工工艺的影响很大,焊接时如果出现不同的工艺顺序或者焊接参数设置,以及各个焊接工序之间的错乱都有可能都会导致焊接部位的熔合不良,产生焊瘤、夹渣、气孔裂纹等问题。比如:在厚板多层多道焊接时,由于不同的工人的焊接次序或者层间温度的不同,会造成焊接

残余应力的不均衡,引起焊缝局部应力过大,使力学性能降低约 10%-15%,而且焊接过程中采用相同的焊接工艺、焊接电流大小、焊接电压高低、焊接速度以及焊丝送进角等因素都能够保证焊缝的熔深以及熔宽在规定范围内变动较小,大大减少了焊接缺陷出现的概率。据统计,在推行标准工艺的过程中,多层多道焊缝一次合格率从原来的 85%提高到了 97%以上,焊缝机械性能稳定程度也达到了平均 12%,有效保证了其承受能力及耐久的能力。

另外,工艺一致还对工序协同、质量追溯有着重要意义。在大型复杂钢结构焊接过程中,焊接、检测与后续工作之间的有效配合是影响整个工程的结果好坏的因素之一。标准化的工艺流程通过对接口标准、工序交接条件以及测量参数记录方法进行规范来达成各工序间的信息及行为统一,一旦出现焊缝内部缺陷或表面缺陷等问题时可及时查找到对应的施工作业步骤及人员,有针对性地采取措施并进行改正。例如,通过对重要焊缝的参数监测以及缺陷跟踪分析,使焊缝裂缝发生率从原来的 3.5%下降到 0.9%,焊缝层间温差控制在 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 之内,达到整体焊接结构均匀一致的效果。由此可见,工艺一致不但提高了单道焊缝的质量水平,而且对于整个焊接过程的质量控制都起到重要的支撑作用。

3.2 质量检验与过程监控在标准化中的作用

在焊接作业标准化中,质量检验与过程监控是确保焊缝稳定性和可控性的核心手段。通过在线监控关键焊接参数,如电流(I)、电压(U)、焊速(v)及焊丝直径(d),可以实时评估焊缝熔深(H)和焊缝宽度(W),从而预测焊缝质量。焊缝熔深可通过经验公式近似计算:

$$H = k_1 \cdot \frac{I \cdot \eta}{v \cdot U}$$

其中, η 为热效率系数, k_1 为材料及工艺相关常数。以 Q345 钢厚板焊接为例,设电流 $I=200\text{A}$ 、电压 $U=24\text{V}$ 、焊速 $v=5\text{mm/s}$ 、 $\eta=0.8$ 、 $k_1=0.1$,则焊缝熔深计算为:

$$H = 0.1 \cdot \frac{200 \cdot 0.8}{5 \cdot 24} \approx 0.133\text{mm}$$

通过持续监测和记录焊接参数,偏离标准范围的焊缝可即时发现并修正,从而避免焊缝缺陷积累。

同时,过程监控结合阶段性质量检验可形成闭环控制,提升焊接施工的可靠性。焊缝外观检验、超声波检测(UT)或射线检测(RT)可量化缺陷长度(L_d)与缺陷面积 A_d ,并通过缺陷率公式进行分析:

$$\text{缺陷率} = \frac{A_d}{A_t} \times 100\%$$

其中, A_t 为焊缝总面积。以某工业厂房主承重焊缝为例,若检测发现缺陷总面积 $A_d=12\text{cm}^2$,焊缝总面积 $A_t=1200\text{cm}^2$,则缺陷率为:

$$\text{缺陷率} = \frac{12}{1200} \times 100\% = 1\%$$

结合参数监控数据与缺陷率分析,可对高风险工序及时优化焊接参数或操作方法,实现施工过程的动态可控与质量持续改进。

3.3 作业人员技能匹配与培训机制的保障作用

施工人员技能水平高低决定了焊接质量稳定性的大小。施焊不但要掌握机器设备的操作参数,还要掌握材料特性、焊接热输入以及焊缝熔合规律等知识,在厚板多层焊时,焊条工必须针对焊层面间温差调节焊接电流及速度来防止产生热裂开或未焊透类病害;对各类材质导热能力差异及填充材料元素组成了解情况左右着焊缝宏观及微观结构特点以及机械强度。制定技能对应制度,把相应资格证书并有一定经验的焊工放到重要焊缝上可以有效地减少返修率。

培训制度的设计加强了技能匹配效果。培训的内容应该包含 SOP 工艺标准、焊接参数调节手法、焊接缺陷检查方式及现场突发状况解决办法以及仿真焊接练习及虚拟焊接训练还有现场焊缝操作实操考核,保证了焊工作业人员具备理论学习的同时还要具备实践操作的能力。比如通过进行仿真焊接可以使得焊工了解不同坡口形式以及多层焊接的操作要领,减少了现场随意性试验的发生概率,减少了施工过程中的不确定性;现场考核以及数据反馈机制能够及时检测到操作过程中存在的误差以及焊缝的质量情况从而达到不断的优化。由此可见,作业人员技能匹配和培训机制对于保证流程标准化有非常重要的影响,同时也对焊缝微观形态、力学性能及整体工程质量稳定性的提升有着举足轻重的作用。

第四章 流程标准化实施与优化实践

4.1 标准化流程的推广与实施策略

标准化程序的应用与推行要分步骤推进,在减少推行阻力的同时保障核心技术环节的质量控制;先在一些高危或者重要部位如承重结构的关键焊接部位进行尝试性地实施标准化作业程序,采用 SOP 引导作业、进行现场参数监测以及阶段性的质量控制,获取经验、验证流程有效性;之后再逐步推广到全工地范围内并结合施工管理制度,把标准化的要求

纳入到平时的工作检查和奖惩机制之中,使全体员工熟悉并遵守统一作业准则,在此过程中建立专项技术辅导组解决实施过程中出现的一些参数设定、设备使用等方面的问题、减少现场实施误差,提升流程落实概率。

其次,要加大信息技术对过程管理和监督力度,在施工管理系统或是手机端发送 SOP,录入焊接参数、上传焊缝检查结果,做到全程信息化管理,让负责人随时了解工程施工情况及其质量状态。比如实时监测焊接电流、电压及焊速等相关指标,如果出现超标预警时,系统会立刻提示并下达纠正措施,保证工序符合要求;另一方面所积累的数据也可以作为后续评估以及流程改进的基础,为不断提高焊接工艺水平奠定量化的基础。分期逐步推行信息化管理模式,使得标准化的施工工艺在所有施工现场都能普及开来,进而提高焊接工程质量管理水平。

4.2 质量管理指标的监测与持续改进

在焊接作业流程标准化推进过程中,建设完善的质量管理指标监控系统就是保证工程质量不断提高的基础。主要指标有:焊缝缺陷率、返修率、焊缝尺寸合格率及施工进度等等。例如在某大型钢结构工程中,对重要承重部位的焊缝做了检测,第一阶段焊缝缺陷率为 2.8%,返修率为 6.5%,焊缝尺寸合格率为 93%。针对上述指标值,项目组及时通过调节焊接电流 ± 5 A、焊接速度 ± 3 mm/s 的控制区间来实现,同时在多层焊之间放置热电偶进行测量层间温差,一旦出现超限即刻通知操作人员进行修正,大大减少了缺陷发生概率。此方法能够做到量化指标监控加上参数校正,使得焊接质量数据可查询、可追踪,有据可依。

不断改进还依赖于对监控数据的定期分析以及流程的不断优化。从工程建设过程中统计得出焊缝缺陷种类、位置和频次等信息,可以识别出高危工艺环节和普遍存在的操作失误情况。比如,统计结果表明厚度大于 20mm 的角焊缝在环境温度较低的情况下裂纹率为 3.5%,经调整预热温度提高到 450℃和焊缝层间距调整到 10mm 后,裂纹率降低到了 0.8%,并且将改进措施反馈到 SOP 及培训体系里面去,更新了作业指导书,优化了操作步骤及培训内容,实现了流程闭环优化。通过指标监视、数据分析、SOP 更新,焊接施工质量不断提高,缺陷比例明显减少,施工速度和结构强度同时上升。

4.3 焊接作业标准化的典型实践案例分析

在实际工程中,中建三局钢结构厂项目通过焊接作业标

准化显著提升施工质量是一个典型实践案例。该项目在主承重钢梁和钢柱焊接中全面推行标准化 SOP 与现场监控体系,覆盖焊前准备、焊接参数设定、层间温度控制及焊缝无损检测全过程。在实施前,该类焊缝一次合格率仅为约 88%,返工率高达 7%左右;而在执行标准化流程后,通过严格执行焊接电流、电压和层间温度等参数控制、工序标准操作和实时监控反馈机制,焊缝一次合格率提升至 96%以上,返工率明显下降至约 2%。这一改善表明,焊接流程标准化不仅减少了人为操作偏差,还提高了焊缝力学性能的一致性和现场施工效率。

另一个值得借鉴的国际实践是在某大型石油化工装置建设项目(按 ASME Section IX 质量体系执行)中形成的焊接标准化经验。在此项目中,施工团队严格依据国际焊接工艺规范(如 ASME 标准中的 WPS 和 PQR 要求),建立了分级焊接操作流程、焊工资格认证机制及分阶段无损检测制度。通过这一标准化体系,关键焊缝的焊接缺陷率由原先的约 3.2%下降至不足 1%,且焊接参数和检验记录实现全过程可追溯。这一案例表明,在高要求的工程环境下,系统实施焊接作业标准化不仅提升了质量控制能力,也增强了不同施工单位之间的协同一致性,是高质量焊接施工管理的成熟实践。

结束语

焊接施工程序化是提升工程质量的一种有效方法,通过对工艺流程进行整理、编制标准操作规程、对工序之间过渡可操作性的设计、过程控制以及人员技术能力匹配等方式可以达到对于焊接质量的稳定和可控的目的,在实际工程建设中已经证明标准化程序有效地减少了焊接的质量问题的发生频率,加快了施工进度,还为现场管理规范化奠定了良好的基础,未来随着信息化管控平台、智能化监控系统的使用,焊接施工程序化在大型项目中应用会更加普遍并且得到进一步完善。

[参考文献]

- [1]曹宇堃,吕晓春,杨玉亭.基于国际标准化战略对我国焊接标准化发展的思考[J].中国标准化,2024(21):87-92.
- [2]刘国瑞,于洪洲.建筑施工现场钢结构焊接质量的管理方法[J].砖瓦世界,2025(2):190-192.
- [3]柯波.大跨度钢结构屋面系统施工技术 with 质量控制分析[J].中国住宅设施,2025(3):251-253.