

焊接缺陷与焊接质量检验

曹学孔

金昌金雅德化工有限责任公司 甘肃 金昌 737100

摘要: 焊接技术是机械制造、化工等领域的核心工艺,焊接接头质量直接决定构件安全与寿命,但焊接过程易产生外观、内部及性能类缺陷,未及时检出会埋下安全隐患。传统焊接质量检验技术存在适配性差、效率低等局限,新型检验手段虽有应用却面临环境干扰、人员能力差异等问题。本文分析三类焊接缺陷的类型与形成机制,阐述外观检验、无损检测、破坏性检验的核心技术,指出检验过程中的现存问题,提出技术选型、环境控制、流程协同、人员能力提升等优化策略,为提升焊接质量检验水平、保障焊接结构安全提供参考。

关键词: 焊接缺陷;焊接质量检验;无损检测;缺陷成因;检验优化

引言:在工业制造、工程建设领域,焊接是实现结构连接的核心技术,其质量直接决定设备与工程的安全运行。但焊接过程易产生外观凹陷、内部孔洞、性能下降等各类缺陷,这些缺陷可能导致结构强度不足、渗漏甚至断裂,给生产安全埋下隐患。焊接质量检验作为防控缺陷的关键手段,能及时识别问题并保障焊接可靠性。深入研究焊接缺陷类型、形成机制及检验技术,对解决检验现存问题、优化检验流程意义重大,可为企业提升焊接质量、降低安全风险提供有力支撑。

1 焊接缺陷的类型与形成机制

1.1 外观类缺陷

外观类缺陷是焊接后直接暴露于焊缝表面的问题,常见类型包括咬边、焊瘤、未焊满、表面气孔与表面裂纹。咬边表现为焊缝边缘与母材交界处的沟槽状凹陷,焊瘤是焊缝表面多余金属的堆积凸起,未焊满则是焊缝高度或宽度未达到设计要求的局部低洼,表面气孔为焊缝表面散布的微小孔洞,表面裂纹多呈现为焊趾或焊道表面的线性开裂^[1]。这类缺陷的形成机制与焊接过程控制密切相关,焊接参数不当会导致热量分布不均,如电流过大易引发咬边,电压过高可能产生焊瘤;操作手法偏差如焊枪角度倾斜、运条速度不稳定,会影响熔池成形进而出现未焊满;母材表面清洁度不足,残留油污、铁锈或水分,焊接时这些杂质受热挥发,会在焊缝表面形成气孔与裂纹。

1.2 内部类缺陷

内部类缺陷隐藏于焊缝内部,需借助专业检测手段才能识别,主要类型有内部气孔、夹渣、未熔合、未焊透与内部裂纹。内部气孔是焊缝深层的孔洞,夹渣为焊缝内部夹杂的非金属异物,未熔合是焊缝与母材或焊缝层间未完全熔合的缝隙,未焊透表现为焊缝根部未熔合的贯穿性

缝隙,内部裂纹多存在于焊根或层间且具有隐蔽性。其形成机制涉及多方面因素,熔池保护不良会导致空气侵入熔池,冷却后形成内部气孔;焊接速度过快使熔池冷却速度加快,熔渣未来得及上浮便被包裹在焊缝内形成夹渣;坡口设计不合理如角度过小、间隙不足,会导致根部热量不足进而出现未焊透;冷却速度异常如焊后未缓冷,会使焊缝内部应力集中,引发内部裂纹。

1.3 性能类缺陷

性能类缺陷虽不直接表现为外观或结构异常,却会导致焊接接头使用性能下降,常见类型包括接头强度不足、硬度超标、韧性下降与耐腐蚀性变差。接头强度不足会使焊接部位承受载荷时易断裂,硬度超标会导致接头脆性增加,韧性下降表现为接头抗冲击能力减弱,耐腐蚀性变差则使接头在特定环境下易发生腐蚀损坏。这类缺陷的形成与焊缝及热影响区的材质变化相关,热影响区组织相变是关键因素,焊接高温使母材晶粒长大,冷却后形成硬脆组织导致硬度超标与韧性下降;焊后热处理不当如未及时回火或回火温度不足,会使焊缝内部残余应力无法释放,影响接头强度;焊接过程中合金元素烧损,如铬、镍等耐蚀元素流失,会降低焊缝的耐腐蚀性,进而引发性能缺陷。

2 焊接质量检验的核心技术与方法

2.1 外观检验技术

外观检验技术是焊接质量检验的首要环节,检验内容涵盖表面平整度、焊缝尺寸与外观缺陷识别。表面平整度检验需查看焊缝表面是否存在凹凸不平、变形等问题,确保表面形态符合设计规范;焊缝尺寸检验聚焦焊缝高度、宽度、余高及焊脚尺寸,判断是否达到工艺要求;外观缺陷识别则针对咬边、焊瘤、未焊满、表面气孔与裂纹等直观问题,逐一排查表面可见的质量隐患。

这类技术具有操作简便、成本低的显著特点,无需复杂设备即可开展,适用于所有焊接工件的初步筛查,能快速剔除明显不合格的焊缝,为后续深入检验减少工作量。常用工具包括直尺、焊缝量规与放大镜,直尺用于测量焊缝长度与大致尺寸,焊缝量规可精准测量焊缝高度、宽度与焊脚尺寸,放大镜则能辅助观察微小的表面裂纹或气孔,提升检验精度。

2.2 无损检测技术

无损检测技术在不损伤工件的前提下实现精准检验,核心包括射线检测、超声检测、磁粉检测与渗透检测^[2]。射线检测利用射线的穿透性,让射线穿过焊缝后在底片上形成影像,通过影像对比识别内部气孔、未焊透等体积型缺陷,尤其适用于厚度较大的焊缝检测;超声检测通过向焊缝发射超声波,依据超声波反射信号的变化,判断内部缺陷的位置、大小与形态,对未熔合、内部裂纹等面状缺陷的检测效果更优。磁粉检测针对铁磁性材料,通过施加磁场使工件磁化,若存在表面或近表面裂纹,磁场会产生泄漏并吸附磁粉,形成明显的磁痕以显示缺陷;渗透检测则适用于非铁磁性材料,将渗透剂涂抹在工件表面,渗透剂会渗入表面开口缺陷,经清洗、显像后,缺陷处会呈现清晰痕迹,可有效检测微小的表面裂纹或孔隙。

2.3 破坏性检验技术

破坏性检验技术通过破坏试样来深度验证焊接接头性能,主要包括力学性能试验、金相检验与化学分析。力学性能试验通过拉伸、弯曲、冲击等具体试验评估接头力学强度,拉伸试验测定接头的抗拉强度与塑性,弯曲试验检验接头的弯曲变形能力,冲击试验则测试接头在低温或动态载荷下的抗冲击韧性,全面判断接头是否满足受力要求。金相检验需截取焊缝及热影响区的试样,经打磨、腐蚀后在显微镜下观察显微组织,分析晶粒大小、组织形态是否合理,判断是否存在晶粒粗大、魏氏组织等缺陷,进而关联接头性能;化学分析通过光谱分析或化学滴定等方法,检测焊缝的化学成分,判断铬、镍、锰等合金元素含量是否符合设计标准,避免因元素缺失或超标导致接头性能下降。

3 焊接质量检验过程中的现存问题

3.1 检验技术适配性不足

检验技术适配性不足表现为部分检验方法对特定缺陷或材料针对性不强,易出现漏检情况。比如磁粉检测仅能作用于铁磁性材料,面对不锈钢、铝合金等非铁磁性材料时,无法通过磁场吸附磁粉显示表面缺陷,若仍采用该方法会遗漏表面裂纹或微小孔隙;超声检测更擅长识别未熔

合、内部裂纹等面状缺陷,对内部气孔、夹渣等体积型缺陷的识别精度远低于射线检测,若用其排查厚壁焊缝内部气孔,可能因信号反射不明显导致缺陷未被发现。此外,复杂结构工件也会限制检验方法应用,如异形件的曲面焊缝难以用常规超声探头贴合检测,密闭空间内的焊缝无法布置射线检测设备,这些情况都会导致特定位置缺陷漏检,影响检验结果的完整性。

3.2 检验精度受环境影响

温度、湿度、电磁干扰等环境因素会直接降低检验数据准确性。高温环境下,射线检测设备的探测器元件性能易受影响,灵敏度下降导致拍摄的焊缝影像模糊,无法清晰分辨内部细微缺陷;高湿度环境会使渗透检测的渗透剂受潮,渗透能力衰减,难以充分渗入表面微小裂纹,显像后缺陷痕迹不清晰,增加误判概率^[3]。车间内的电磁干扰对超声检测影响尤为明显,焊接设备、电机运转时产生的电磁场会干扰超声波信号传输,使检测仪器接收的反射波出现杂波,干扰操作人员对缺陷位置、大小的判断,导致测量数据偏差,甚至将正常焊缝结构误判为缺陷。

3.3 检验与生产衔接不畅

检验流程滞后于生产进度的问题普遍存在,严重影响整体生产效率。部分企业仍采用“批量生产后集中检验”的模式,焊接工序完成后,需等待工件冷却、转运至检测区域,再排队开展无损检测,整个过程可能耗时数小时甚至数天。若检测后发现焊缝存在缺陷需返工,已进入后续工序的工件需暂停加工,部分已完成的工序还需拆解,造成生产停滞。同时工件转运过程也存在问题,大型构件需借助吊装设备转移,不仅耗时长,还可能因吊装碰撞导致焊缝二次损伤,进一步延长生产周期,难以适配高效生产的节奏。

3.4 检验人员能力差异

检验人员技术水平不均会导致对缺陷的判断标准不统一,影响检验一致性。经验不足的人员可能无法准确识别细微缺陷,比如将焊缝表面的微小划痕误判为裂纹,或将轻微咬边忽略为正常成形;对检验标准理解的差异也会造成判定结果不同,面对同一焊缝的气孔数量,部分人员认为符合“每米不超过3个”的标准,部分人员则因对标准条款解读不同判定为不合格。此外,操作规范性差异也会影响结果,如超声检测时,经验丰富的人员会保持探头匀速移动,而新手可能因移动速度过快或压力不均,导致缺陷检出率波动,无法形成稳定、统一的检验结论,给焊接质量管控带来隐患。

4 焊接质量检验的优化方向

4.1 技术选型优化

技术选型优化需以缺陷类型、材料特性、结构要求为核心依据,精准匹配适配的检验技术。针对不同缺陷类型,面状缺陷如未熔合、内部裂纹优先选用超声检测,凭借其对接面反射信号的高敏感度实现精准定位;体积型缺陷如内部气孔、夹渣则优先采用射线检测,通过影像对比清晰呈现缺陷形态^[4]。结合材料特性选择技术时,铁磁性材料的表面及近表面缺陷采用磁粉检测,非铁磁性材料如铝合金、不锈钢则选用渗透检测,避免因技术错配导致漏检。针对工件结构差异,复杂曲面焊缝可搭配柔性超声探头或相控阵超声检测技术,实现全方位贴合检测;密闭空间内的焊缝则采用小型化射线检测设备或超声检测,突破空间限制,对超薄壁工件还可选用涡流检测技术,进一步拓宽技术覆盖范围,确保技术选型与实际检验需求高度契合。

4.2 环境控制强化

环境控制强化需从硬件搭建与设备配置两方面入手,保障检验精度稳定。搭建稳定的检验环境时,设置恒温恒湿检测车间,通过空调与除湿设备将温度控制在15-25℃、湿度控制在40%-60%,避免高温高湿对射线探测器、渗透剂性能的影响。针对电磁干扰问题,为超声检测区域配备电磁屏蔽装置,隔绝焊接设备、电机产生的电磁场;为检测仪器加装抗干扰模块,过滤杂波信号,确保超声波反射波、射线影像信号传输稳定。此外,在室外或临时检验场景中,配备便携式环境调控设备,如移动恒温箱、临时屏蔽帐篷,同时对检测仪器定期进行环境适应性校准,减少环境波动对检验数据的干扰,为检验工作提供稳定环境基础。

4.3 流程协同改进

流程协同改进需打破检验与生产的壁垒,提升整体衔接效率。将检验环节融入生产流程,推行“边生产边检验”模式,在焊接工序分段完成后,立即开展外观检验与无损检测,避免批量生产后集中检验导致的滞后问题。推行实时在线检验技术,在焊接生产线加装在线超声检测装置、视觉检测系统,实时监测焊缝成形质量与内部缺陷,发现问题立即反馈至焊接工序,及时调整焊接参数,减少返工成本。优化工件转运流程,采用自动化输送设备衔接焊接与检测区域,缩短转运时间;对

大型构件采用原位检测技术,无需吊装转移即可完成检验,避免二次损伤,同时建立检验与生产的信息共享平台,实时同步检验进度与生产计划,实现生产与检验的无缝衔接。

4.4 人员能力提升

人员能力提升需通过系统培训与标准统一,保障检验一致性。加强检验人员培训时,开展理论与实操结合的课程,理论部分深入讲解各类检验技术原理、缺陷识别标准,实操部分通过模拟缺陷工件训练,提升人员对细微缺陷的识别能力,还可引入案例教学,分析过往误判案例的原因与改进方法。建立定期考核机制,每季度组织技能考核,考核内容涵盖技术选型、设备操作、缺陷判定,考核合格方可上岗,对考核不合格人员开展针对性复训^[5]。统一检验标准方面,制定详细的检验作业指导书,明确不同缺陷的判定阈值,如气孔数量“每米不超过3个”的具体测量方法、咬边深度的允许范围;定期组织标准解读会议,针对易混淆的判定条款开展讨论,确保所有人员对标准理解一致,减少因能力差异导致的判定偏差,提升检验工作的专业性与可靠性。

结束语

焊接缺陷与焊接质量检验紧密相关,准确识别缺陷类型、掌握形成机制是基础,科学运用检验技术是关键。当前检验虽取得一定成果,但现存问题不容忽视。通过技术选型优化、环境控制强化、流程协同改进以及人员能力提升等优化方向,能有效提高焊接质量检验的准确性与效率。未来,需持续探索创新,推动焊接质量检验技术不断发展,为工业制造提供更坚实的保障。

参考文献

- [1]李婷.金属材料焊接接头缺陷形成原因及检验方法研究[J].清洗世界,2023,39(4):65-67.
- [2]陈则林.网架结构关键构件焊接技术与焊缝质量检测研究[J].江西建材,2024(10):74-75,78.
- [3]王家骏.压力管道焊接缺陷成因及对策研究[J].科学与信息化,2023(22):112-114.
- [4]袁芳芳.电站锅炉用焊接节流式流量计的焊缝缺陷检测分析[J].仪器仪表用户,2025,32(5):154-156.
- [5]佟智逾.场站管道焊接工艺分析及质量控制研究[J].石油和化工设备,2025,28(1):156-158.