

焊接缺陷的成因分析及预防措施

拓守昌

埃肯碳素(中国)有限公司 宁夏 石嘴山 753200

摘要: 焊接作为金属材料连接的主要手段,在现代工业生产中扮演着至关重要的角色,然而,各种焊接缺陷的存在严重制约了焊接质量的提升,给工程应用带来安全隐患,本文通过系统分析几种常见焊接缺陷的形成机理,提出了相应的预防和控制措施,并重点介绍了无损检测和力学性能试验在焊接质量检验中的应用,控制和消除焊接缺陷必须从材料、工艺、操作、环境、检验等全过程入手,建立预防为主,防治结合的质量控制体系。

关键词: 焊接缺陷;成因分析;预防措施;质量检验

引言:焊接以其高效、经济、可靠的优势在现代制造业中得到广泛应用,成为装备制造、交通运输、能源开发、海洋工程等领域不可或缺的关键连接技术。焊接结构的安全性和可靠性直接关系到工程乃至整个行业的发展,因此一直备受社会各界的高度关注。然而,由于焊接过程复杂,影响因素众多,各类缺陷问题层出不穷,成为制约焊接质量提升的瓶颈,深入分析焊接缺陷的产生原因,探寻行之有效的预防和控制技术,对于保障焊接质量,促进焊接行业的健康发展具有重要意义。

1 常见焊接缺陷的成因

1.1 夹渣

夹渣的形成原因可以归结为几个方面:一是焊件表面清理不当,残留锈蚀、油污、水渍等杂质,为夹渣的产生提供了物质基础;二是焊接工艺参数选择不当,如焊丝送进速度过快、电弧过短、焊接速度过高等,不利于熔渣的充分流动性和上浮排出;三是焊材质量不过关,焊丝夹杂过多,焊剂潮湿,分解产生的非金属物质混入熔池;四是焊工操作不规范,如焊丝倾角、摆动幅度掌握不好,使部分熔渣来不及溢出就被包覆;五是坡口设计和焊道层间温度把握不当,阻碍了熔渣的正常流动^[1]。

1.2 气孔

气孔的产生机理相对简单一些主要是由于熔池吸收周围环境中的气体,或者焊件材料本身释放的有害气体所致,焊丝和母材表面吸附的水汽、油污等杂质,焊剂受潮分解放出的气体,大气中的氮气、氢气,以及焊接熔敷过程中金属蒸气的过饱和,都可能导致气孔的形成。另外,不合适的焊接工艺参数,如电流过高、电弧过长、焊接速度过慢等,会加剧熔池的吸气倾向,也是诱发气孔的重要原因,接头设计不当,气孔溢出通道受阻,以及焊工操作水平欠佳等,也会在一定程度上加重气孔缺陷^[2]。

1.3 咬边

咬边问题通常源于焊接热输入过大,使焊缝与母材交界处过度熔化,在冷却凝固时形成凹坑或沟槽。引起热输入异常的原因很多,如焊接电流过高、电弧过长、焊接速度过慢、摆动幅度过大等,都会导致局部温度升高,加剧母材的熔蚀。与此同时,坡口角度和间隙设计不合理,也会影响热量在焊件中的分布,出现过热或过冷的区域。另外,焊丝成分与母材的冶金相容性差,在焊缝金属与母材的过渡区容易产生脆性相和化合物,从而为电弧的优先侵蚀提供了有利条件,不均匀的气体保护效果以及环境风力的干扰,也会在一定程度上诱发咬边缺陷^[3]。

1.4 未焊透

未焊透缺陷主要是由于焊接热输入不足,使焊缝根部母材得不到充分熔合而产生的,造成热输入不足的原因有很多,比如焊接电流选得过低,提供的电弧热量有限;又如焊接速度过快,热量来不及向焊缝根部传递;再如坡口设计太深太窄,阻碍了焊丝对根部的填充;另外焊工操作与要求偏差太大,也可能导致焊缝局部熔合不足,焊丝的化学成分和直径规格选择不当,与母材的物理性能失配,同样会加大未焊透倾向。

1.5 裂纹

裂纹是最严重也是最复杂的一类缺陷,其形成机理涉及材料、工艺、结构、应力等诸多方面因素,母材和焊材的化学成分选择不当,碳、硫、磷等元素含量超标,淬硬倾向增大,在冷却过程中极易产生残余应力;焊接接头的几何形状设计不合理,存在应力集中区域,焊缝厚度不均匀,冷却速度悬殊,热膨胀失配,裂纹在此萌生;焊接热输入控制不当,线能量过高,使焊缝金属晶粒粗大,柱状晶占比增加,韧性下降;焊件预热和后热处理不到位,冷却速度过快,组织转变应力叠加在残余

应力之上；施焊环境温度过低，约束强度过大，进一步加剧了裂纹扩展趋势；焊接接头在役时受到外力的冲击振动，或者侵入氢、氯等有害介质，也会诱发裂纹。

2 焊接缺陷的预防措施

2.1 完善焊前准备工作

焊接质量的控制贯穿于焊前、焊中、焊后全过程，其中焊前准备工作至关重要，是确保焊接顺利进行和质量合格的基础，认真审查焊接工艺文件，包括焊接工艺评定规程、焊接工艺指导书等，明确技术要求和操作规程。加强焊材的进场复验，对焊丝、焊剂、保护气体等的规格型号、化学成分、力学性能等进行严格检查，发现不合格品要及时处理，做好母材的检验，无论是板材、型材、管材还是铸锻件，都要验明材质、尺寸、表面质量等是否满足要求。对于有特殊要求的焊件，还应进行力学性能、冶金性能的检验，合理制定焊接顺序和坡口形式，选择适宜的焊接方法和参数，并做好焊接设备的检查维护、调试试焊等来确保开焊条件。

2.2 减少夹渣问题

夹渣缺陷虽然危害性不及裂纹和未焊透那么严重，但出现频率较高，如果控制不当也会显著降低焊接接头的力学性能，影响外观质量。减少夹渣问题的关键是要从材料、工艺、操作等环节入手，综合治理。首先在焊材方面，要优选夹杂量低、金属纯度高的焊丝，并做好防潮防锈措施。使用前应仔细检查焊丝表面是否干净，必要时可用丙酮等溶剂擦拭。焊剂的选择要符合焊接方法和母材的要求，并严格控制焊剂的烘干温度和保存时间，避免受潮。其次在母材方面，要加强焊件坡口的清理，可采用砂轮打磨、刮削或化学方法去除焊件表面的锈蚀、油污、水渍等^[4]。

2.3 防止气孔出现

气孔缺陷是焊接熔池吸收氢、氮等有害气体或焊件母材熔化时释放的气体，在焊缝凝固过程中来不及溢出而残留在焊缝金属中形成的。虽然气孔对焊接接头的静载强度影响不大，但严重削弱了疲劳强度和抗冲击韧性，因此有必要采取措施加以防范，加强焊接材料的管理，防止焊丝、焊剂受潮，以免氢源进入熔池。对于易产生气孔的铝合金、钛合金等材料，应使用专门的特种焊丝。在母材方面，加工完坡口后要及时焊接，如需停放则应采取可靠的防锈措施。焊前还要进行预热和烘干处理，去除焊件及其附近可能吸附的水气，在焊接工艺方面，合理选择焊丝直径，与坡口尺寸匹配，避免熔敷过程中产生过多飞溅。

2.4 避免咬边情况

咬边缺陷是电弧作用下焊缝金属侵蚀母材形成的沟槽或凹坑，破坏了焊缝与母材的平稳过渡，降低了接头的抗拉强度和抗弯强度。要避免咬边情况的发生，要合理设计坡口形式和尺寸，小于规定角度则难以避免局部过热和侵蚀，而角度过大则容易发生未焊透。其次要正确选择焊接参数，定期校验焊机性能，避免电流过高、过低或不稳定。同时焊接速度不能太慢，送丝速度和焊丝直径要适中，摆动宽度和频率恰当，不能使电弧压缩在狭小范围内，要提高焊工的技能操作水平，规范引弧和收弧动作，控制焊枪倾角在合适的范围，做到圆润饱满，柔和过渡。

2.5 确保焊接完整

未焊透属于严重的焊接缺陷，容易引发接头开裂和失效，想确保焊接接头完整紧密，必须从多方面采取有效措施，在焊前准备阶段就要充分考虑材料的可焊性，包括材料的物理性能、化学成分、热处理状态等，并采取相应的工艺措施，坡口和钝边的尺寸要控制适当，避免因间隙过大或狭窄影响熔透。有条件时可在坡口根部设置铜垫或添加药皮，有利于提高背面成形。在焊接工艺方面要合理选择焊接参数和层道布置，确保熔深满足要求。可通过调整焊丝伸长、摆动宽度等手段，将电弧热量集中于坡口根部，对于厚板和多层多道焊，要严格控制在层间温度和道间温度，必要时进行预热和后热处理，还要改进焊接设备性能，提高焊接自动化水平，减少人为因素干扰。

2.6 杜绝裂纹产生

裂纹是对焊接接头危害最大的缺陷，极易导致结构突然断裂，后果不堪设想。杜绝裂纹事故的发生是每一个焊接人员义不容辞的责任，在材料选择上要优先选用冶金质量好、淬硬倾向小的钢材，必要时采用低合金高强度钢。坡口开设和打底焊时应控制线能量，避免热输入过高。对易产生热裂纹的奥氏体不锈钢，要控制铁素体含量，并进行焊后固溶处理，对易产生冷裂纹的高强度钢，则应控制氢含量，预热温度和层间温度不能太低。

合理设计接头结构，满足受力要求，避免应力集中，焊道层数不宜过多，打底焊道不应过厚，盖面焊道厚度要均匀，帽形坡口和多层多道焊更容易产生裂纹。施焊时要合理安排道次和层次，最好采用对称焊、分段焊、多电弧焊等措施，减少变形和应力。控制焊接工艺参数至关重要，合理选择焊接方法，调整焊接电流、电压、速度等，控制熔敷金属成分和冷却速度。

2.7 做好管理培训

做好焊接质量管理和焊工培训是保证焊接质量的根

本举措,建立健全焊接质量管理体系,制定焊接管理制度、操作规程、检验标准,落实到每个工序、每名员工。要加强焊接设备的管理,建立台账,定期校验维护,使其性能稳定可靠,做好焊材管理,严格执行检验、复验制度,确保批次清楚、留样备查,规范焊接文件管理,包括焊接工艺评定报告、操作规程、技术交底等,确保文件齐全、内容准确、授受清楚,严格焊工资质管理,建立焊工档案,定期组织理论和技能培训,持证上岗,并实行动态考核,做好焊前准备,制定详细的施工组织方案,明确质量控制点和措施,做好技术交底,焊接过程中要加强巡检指导,及时发现问题,保证焊接情况受控。焊后要做好外观检查、无损检测和理化性能试验,并填写焊接记录。对发现的各类缺陷,要分析原因,制定纠正措施和预防措施,持续改进,加强与设计、材料、工艺等相关部门的沟通协调,发挥各自优势,形成合力随着社会步伐的不断加快,创新型人才逐步成为推动社会发展的重要动力^[5]。

3 焊接缺陷的质量检验

3.1 无损检验

无损检测是焊接质量检验的重要手段,具有无损、实时、高效、经济等特点,在工程实践中得到广泛应用,常用的无损检测方法有射线探伤、超声波探伤、磁粉探伤、渗透探伤等。射线探伤是利用X射线或 γ 射线对焊件进行透照,根据射线穿过焊件后衰减程度的差异,在胶片上呈现内部缺陷的无线电源区,从而判断缺陷的位置、大小和性质。这种方法对于检测内部的气孔、夹渣、未熔合、裂纹等体积性缺陷非常有效,但对于面状缺陷如裂纹和未熔透,探测能力则取决于射线束与缺陷面的夹角,当二者垂直时探测效果最佳。超声波探伤是利用超声波在焊件中的传播、反射和衰减规律,通过分析反射波或透射波的时间、振幅等参数,判断缺陷的位置、大小和性质。

3.2 强度检验

焊接接头的力学性能是衡量焊接质量的重要指标,

直接决定了焊接结构的承载能力、使用寿命和安全性。焊接接头的力学性能通常采用拉伸试验、弯曲试验、冲击试验等方法进行评定。拉伸试验是最基本也是最重要的力学性能试验,通过对接头施加单向拉力,测量其抗拉强度、屈服强度和延伸率等,评价接头的承载能力和塑性。焊接接头的拉伸强度应不低于母材强度的一定百分比,且断后位置应在母材上,这样才能保证强悍件的设计要求。弯曲试验是在焊接接头上施加弯曲载荷,测量其抗弯强度和弯曲角度,考察焊缝金属及热影响区的塑性和焊接质量。弯曲变形能力是评定焊接接头韧性的重要指标,弯曲角度越大,说明接头塑性越好,抵抗变形能力越强,冲击试验是用标准冲击试样在低温环境下承受高应变率冲击载荷时测定其吸收能量,评价焊接接头的劳动韧性。

4 结束语

焊接缺陷问题是一个世界性难题,从材料、设计、施工到使用的各个环节都有产生的可能,其危害性不容小觑。尽管现代科技的进步为焊接质量的提升创造了条件,但缺陷问题依然普遍存在。控制和消除焊接缺陷已成为全行业共同的责任,需要设计、材料、工艺、施工、检验等各部门通力合作,建立全面质量管理体系,形成全员参与、全过程控制的良性互动机制。

参考文献

- [1]郭晶,耿东攀,郭一鸣.大口径管道横向焊接的质量控制要点[J].建设监理,2024,(09):98-100.
- [2]南虎生.锅炉集箱筒体与密排管座焊接技术的优化与改进[J].现代工业经济和信息化,2022,12(06):318-319+322.
- [3]李培峨.压力容器焊接缺陷及矫正措施[J].特种设备安全技术,2020,(04):53-54+57.
- [4]杨炜.锅炉焊接缺陷的成因及对策分析[J].中国金属通报,2020,(05):256-257.
- [5]丰小冬,贺景春,康利明.X65Q钢级管线管焊接缺陷的成因分析[J].包钢科技,2019,45(02):50-53.