

钢结构焊接施工常见缺陷成因及无损检测防控研究

作者：王乐意

身份证号：371327199612165714

摘要：焊接是钢结构工程施工的核心工序，焊缝质量直接决定钢结构整体承载力、稳定性与使用寿命。施工现场受材料、工艺、环境及操作等多重因素影响，极易产生裂纹、气孔、夹渣、未焊透等焊接缺陷，若未及时排查处置，易引发结构安全隐患。本文深入剖析各类缺陷形成机理，探究超声波、射线、磁粉、渗透等无损检测技术的应用要点，制定针对性防控措施，为钢结构焊接质量管控、隐患治理提供技术参考。

关键词：钢结构；焊接缺陷；缺陷成因；无损检测；质量防控

一、引言

钢结构凭借自重轻、强度高、施工效率高的优势，广泛应用于建筑工程、市政桥梁、工业厂房等领域。焊接作为钢结构连接的核心工艺，其施工精度与成型质量对结构整体安全至关重要。现场焊接工况复杂、工艺参数波动大、人为操作差异明显，各类焊接缺陷频发，隐性缺陷难以通过肉眼识别，极易造成结构受力不均、承载力下降。无损检测技术可在不损伤构件本体的前提下，精准识别焊缝内外缺陷，是现阶段钢结构焊接质量验收、隐患防控的核心技术手段。

二、钢结构焊接施工常见缺陷及成因分析

（一）裂纹类缺陷及成因

裂纹是危害性最大的焊接缺陷，会直接破坏钢结构焊缝连续性，大幅降低接头抗拉强度与延展性，在动荷载作用下极易持续扩展引发脆性断裂，工程中视为高危拒收缺陷。焊接裂纹主要分为热裂纹与冷裂纹两类，成型机理存在明显差异。热裂纹产生于焊缝金属凝固阶段，焊缝金属中的低熔点杂质在结晶过程中形成液态薄膜，在焊接收缩应力作用下沿晶界开裂，多分布在焊缝中心纵向位置，多由钢材硫、磷杂质含量超标、焊接热输入过大导致。冷裂纹多产生于焊后低温冷却

阶段，具有延迟性特征，可在焊后数小时甚至数天出现，主要由焊缝氢含量过高、接头拘束应力集中、钢材淬硬倾向大共同引发，常见于高强钢厚板焊接施工中。

（二）孔穴与夹渣类缺陷及成因

气孔、夹渣属于高频体积型焊接缺陷，会削弱焊缝有效承载截面，形成应力集中源，降低焊缝疲劳性能。气孔主要因熔池内部气体逸出受阻形成，焊材受潮、保护气体纯度不足、施工现场湿度过高，都会导致氢、氧气体滞留于快速凝固的熔池中，形成大小不一的孔洞缺陷。夹渣多由焊接工艺把控不当导致，焊接电流过小、运条速度过快、层间清渣不彻底，会使熔渣无法充分上浮排出，残留在焊缝内部形成夹杂缺陷，多层多道焊施工中该问题尤为突出。

（三）未熔合与未焊透缺陷及成因

未熔合、未焊透属于典型平面型缺陷，会大幅降低焊缝接头承载能力，是钢结构焊接施工的常见质量通病。未熔合主要是焊接热输入不足、坡口清理不到位、运条角度偏差，导致焊缝金属与母材、层间金属未完全熔合，融合界面存在明显缝隙。未焊透多出现于焊缝根部，坡口角度偏小、根部间隙不足、焊接速度过快、焊条直径选型不合理，都会造成电弧熔深不足，根部无法完全熔透，形成贯通或局部未焊透缺陷，直接影响钢结构节点连接强度。

（四）外观成型不良缺陷及成因

咬边、焊瘤、焊缝宽窄不均等外观缺陷，虽不会直接造成结构失效，但会引发局部应力集中，加速构件疲劳损伤。焊接电流过大、电弧过长、运条摆动不均匀，易造成焊缝边缘母材过度熔化形成咬边；运条速度过慢、熔池温度过高，会使多余熔融金属堆积形成焊瘤。此类缺陷多由操作人员工艺把控不规范、参数调试不合理、现场施工精细化不足导致。

三、主流无损检测技术应用要点

（一）超声波检测技术

超声波检测是钢结构焊缝内部缺陷检测的核心技术，检测效率高、成本低、适用性强，可精准识别裂纹、未熔合、未焊透、夹渣等内部缺陷。超声波在焊缝

金属中传播时，遇到缺陷界面会产生反射回波，检测设备可根据回波位置、幅值、形态，精准判定缺陷位置、大小与类型。平面型缺陷与体积型缺陷回波特征差异显著，可实现缺陷精准分类定位，适用于厚板钢结构焊缝的全域检测，是施工现场应用最广泛的无损检测手段。

（二）射线检测技术

射线检测成像直观、缺陷辨识度高，可清晰呈现焊缝内部气孔、夹渣、细小裂纹等缺陷的形态与分布，检测结果可留存归档，具备良好溯源性。射线检测对体积型缺陷检测精度极高，能够精准判定缺陷尺寸与密集程度，多用于重要钢结构焊缝的质量复检与验收检测。由于射线存在辐射风险，施工检测需严格划定作业禁区，做好安全防护，规避人员辐射伤害。

（三）磁粉与渗透检测技术

磁粉检测适用于铁磁性钢结构焊缝表面及近表面裂纹检测，利用磁场吸附磁粉的原理，直观显现细微裂纹缺陷，检测灵敏度高、操作便捷。渗透检测可适配各类钢结构材质，能够精准识别焊缝开口性表面缺陷，不受磁场、材质限制，多用于外观疑似缺陷的复核检测，有效弥补超声波、射线检测对表层细微缺陷识别不足的短板。工程检测规范明确，钢结构焊缝表面缺陷检测需优先采用表面无损检测方式，可有效排查肉眼无法辨识的微裂纹，规避后期结构疲劳开裂风险，是钢结构焊接质量精细化验收的关键工序。

四、焊接缺陷综合防控措施

（一）严控施工材料与环境条件

从源头把控焊接质量，严格核查钢材、焊条、焊丝、保护气体的出厂资质与性能参数，杜绝不合格材料进场。焊材使用前严格按照规范烘干处理，避免焊材受潮析出气体形成气孔缺陷。施工现场做好环境管控，雨天、高湿、大风天气禁止露天焊接，保持作业区域干燥洁净，减少环境因素引发的焊接缺陷。

（二）优化焊接工艺参数管控

正式施工前结合钢材材质、板厚、坡口形式开展工艺试验，确定最优焊接电流、电压、运条速度、层间温度等参数。严格控制焊接热输入，规避热输入过大引发的热裂纹、变形问题，以及热输入不足导致的未焊透、夹渣缺陷。多层焊接施工中，逐层清理焊渣、检查成型质量，确认无缺陷后再开展下一道焊接，杜绝层间缺陷累积。焊接过程中需严格控制层间冷却温度，避免温度过高产生残余应力，或温度过低导致焊缝淬硬脆化，从工艺细节上规避各类隐性焊接缺陷的产生。

（三）规范现场操作与隐患整改

落实焊工持证上岗制度，定期开展技能培训与实操考核，规范运条角度、焊接姿态，减少人为操作失误引发的成型缺陷。建立焊接全过程巡检机制，实时把控施工工艺，完工后及时开展无损检测。针对检测发现的缺陷，分级落实整改机制，微小缺陷打磨修复，重大缺陷彻底铲除重焊，整改完成后复检合格方可验收，形成闭环管控。

五、结语

钢结构焊接缺陷成因复杂，涵盖材料、工艺、环境、操作等多个维度，各类缺陷会不同程度削弱焊缝力学性能，威胁结构安全稳定。依托超声波、射线、磁粉、渗透等多元化无损检测技术，可精准识别焊缝表层及内部隐性缺陷，实现缺陷早发现、早处置。通过严控原材料质量、优化焊接工艺、规范现场施工、落实检测闭环整改，可有效降低焊接缺陷发生率，全面提升钢结构焊接施工质量，保障钢结构工程长期安全稳定运行。

参考文献

- [1]王健. 钢结构工程焊接缺陷成因及质量控制研究[J]. 工程技术研究, 2022, 7(15): 189-191.
- [2]刘军. 建筑钢结构焊缝无损检测技术应用与优化[J]. 施工技术, 2023, 52(08): 112-115.
- [3]张伟峰. 钢结构焊接常见缺陷分析及预防措施[J]. 钢结构, 2022, 37(06): 78-81.

[4]陈亮.无损检测技术在钢结构工程质量验收中的应用[J].工程质量,2023,31(04):56-59.

[5]赵文博.钢结构焊接施工工艺优化与缺陷防控体系构建[J].建筑施工,2022,44(09):1342-1345.