

钢结构中厚钢板防层状撕裂分析

万立皓 李德周 肖文茂

九方安达工程技术集团有限责任公司 湖北 武汉 430000

【摘要】：厚钢板在工程概念机械设计中非常常见，但受到焊接后产生的拉应力影响，很有可能出现层状撕裂，常发生在T形、十字形、角接头等区域。因此，防层状撕裂工作非常重要，从层状撕裂的产生机理和影响因素入手展开分析，提出具体的方层状撕裂措施，包括合理的焊接接头设计、完善的焊接热处理以及科学的Z向性能要求等，以供参考。

【关键词】：钢结构；厚钢板；层状撕裂；Z向性能

引言：

层状撕裂经常发生在厚钢板的制造过程中，常规的结果设计中没有考虑到材料内部缺陷、内应力等方面内容，这也是导致材料出现这一问题的关键。因此，在钢结构使用过程中，要对每一个施工环节提高重视，从源头上保证严格的控制，实现产品制造过程的安全和稳定，是避免上述事故发生的根本概率。

1 层状撕裂的产生机理和影响因素

1.1 产生机理

层状撕裂具有隐蔽性、破坏性等特点，而且无法通过表面观察的方式发现问题，NDT技术也很难检测出来。最为主要的是，层状撕裂修复难度较大、成本较高，具有延迟破坏的特点，很难完全处理解决，会对后续的使用产生严重的负面影响。因产生层状撕裂的结构较为特殊，大多数为钢结构中厚钢板，此类型材料主要集中在海洋石油平台、核反应堆压力容器、潜艇外壳等区域，一旦发生事故，后果是灾难性的。根据实际生产制造经验来看，层状撕裂产生的机理主要包括以下两点，第一，钢板的厚度较大、含硫量高，钢板内部的夹杂物呈条状分布，整体含量较多，且形态分布特征不合理。如，大厚度低碳钢、低合金钢、沉淀强化低合金钢等。第二，焊接残余应力、拘束应力、沿板厚方向的外荷载较大，进而导致Z向拉伸应力场较大。除此之外，一旦层状撕裂产生，扩展过程中还会受到焊接热影响区的氢脆作用以及应变时效脆化也会产生一定促进作用。

1.2 影响因素

钢板材质、接头应力状态、焊接工艺因素，钢结构中厚钢板材质直接决定了层状撕裂的敏感度，任何钢材料中都含有一定的非金属夹杂物，不同钢材料夹杂物的类型也存在一定区别。钢板厚度越大，夹杂物越多，常见的夹杂物包括MnS、SiO₂以及Al₂O₃。这些夹杂物可能导致层状撕裂的产生，真正的影响因素是夹杂物的尺寸、分布和具体形态。比

如，如果MnS沿钢材轧制方向分布，那么层状撕裂会呈现出阶梯状态。钢结构生产制作过程中，T形、十字形、角接头都是非常常见的焊接连接方式，但也在无形之中增加了出现层状撕裂的概率。此外，钢结构体系中应力应变状态较为复杂，焊接接头中钢板的Z向受力增加，层状撕裂的倾向性也随之增加。导致Z向受力的因素有很多，如，焊接接头的拘束应力、结构荷载应力等。比如，某企业生产的钢结构中，采用的是Q345GJC-Z15型号的优质钢材，材料本身并没有可以导致层状撕裂的原因，厚度为60mm不会对层状撕裂产生影响，内部也没有没有非金属夹杂物。基于此，进一步分析产生层状撕裂的原因后发现，该钢材无法抵抗十字形焊接接头产生的拉伸应力，焊接接头的设计存在问题。不仅如此，焊接过程中很多细节问题也是造成层状撕裂的原因。比如，氢脆作用是导致层状撕裂最常见的焊接工艺因素，在实际制造过程中，采用低氢型焊材或者落实消氢处理，可以有效降低层状撕裂出现的概率。

2 钢结构中厚钢板防层状撕裂分析

2.1 结合实际针对性选材

由上可知，钢板材料的性能直接决定了层状撕裂是否能够产生，因此在选择材料的过程中尽可能选择具有Z向性能要求的钢板。虽然相比较普通钢板而言，Z向性能钢板单价较高，导致投资增加，但是在复杂焊接结构中，Z向钢抗拉伸拘束应力能力较强，可以有效降低层状撕裂的产生概率，从根源上解决层状撕裂的问题。但在Z向钢选择的过程中，还需要进行抗层状撕裂敏感性评定测验，测定断面收缩率。以某企业为例，采用十字形全熔透角焊接接头的方式展开拉伸试验，按照具体的要求对Z向钢分级。另外，含硫量较多也是导致层状撕裂的因素之一，在实际采购过程中要有意识的控制钢材含硫量，降低层状夹杂物的含量，切实提高Z向性能。也就是说，科学的确定Z向性能要求是材料选择的关键。Z向钢板在抗层状撕裂上效果更优，国家在这方面始终存在一定的标准，并且对Z向钢板进行了明确的分级，一般分为

Z15、Z25、Z35, 根据断面收缩率, 对照 Z 向性能级别, 选择钢板, 有效预防层状撕裂的出现。一般情况下, 断面收缩率为 11%-20%时, 性能级别为 Z15, 21%-30%时, 性能级别为 Z25, >30%时, 性能级别 Z35 根据生产经验, 当焊接接头为 T 形、十字形、角接接头, 且翼缘板厚度 $\geq 40\text{mm}$ 时, 采用 Z 向钢板效果更优, 厚度方向性能级别方向要考虑到工件其他性能因素。但国家目前并没有就方层状撕裂对 Z 向性能提出要求, 还需要得到进一步完善。

2.2 合理的焊接接头设计

焊接接头的设计直接关系到拉伸应力场的强弱, 因此, 对这一内容进行完善和优化, 可以降低层状撕裂问题出现的概率。需要注意两点, 第一, 刚度越大、板材越厚, 产生层状撕裂的概率越大; 第二, 在其他条件完全体相同的情况下, 焊缝断面越大, 产生层状撕裂的概率越大。比如, 在采用 T 形接头设计的过程中, 要采用双侧焊缝, 也可以有效缓解焊缝根部的应力状态。从实验结果来看, 对称全熔透焊缝效果相对较优, 而对称部分熔透焊缝效果最优, 对层状撕裂的影响最小。因此, 在强度允许的情况, 将焊接量控制在最小的状态下, 以此降低应力。如果采用角接接头设计, 那么需要对坡口方向进行控制, 选择承受 Z 向应力的一侧开坡口。从实验结果来看, 竖板单侧坡口和对称 V 型坡口效果最好。如果是十字接头要沿着贯穿板受力, 有效控制层状撕裂问题的产生。

参考文献:

- [1] 杨高阳, 章少君, 姚焕成, 等. 厚板箱型 K 节点防层状撕裂焊接工艺[J]. 电焊机, 2018, 374(07):99-102.
- [2] 杨文华, 姜殿忠, 石峰, 等. 一种圆柱型节点层状撕裂修复技术在工程中的应用[J]. 金属加工(热加工), 2019, 000(002):37-39.
- [3] 吕同辉. 层状撕裂的预防[J]. 电焊机, 2018, 375(08):129-132.

2.3 完善焊接过程热处理

焊接过程中的热处理极为关键, 主要分为焊接前和焊接后。焊接前预热作用在于烘干水分, 去除有机物, 避免氢扩散, 产生冷裂纹。预热也可以避免出现急剧升温 and 急剧降温的问题, 进而减少焊接应力的产生。预热温度应该控制在 $70-100^{\circ}\text{C}$, 局部最高温度和最低温度分别要控制在 $<120^{\circ}\text{C}$ 和 $>75^{\circ}\text{C}$ 范围内, 预热温度一般可以控制在 110°C 左右, 在实际生产过程中, 可以适当延长焊缝起始点预热时间。比如, 某制造企业在焊缝两侧 100mm 范围内进行均匀预热, 同时在距离焊道 50mm 处利用红外线测温仪进行记录, 保存为原始文件, 避免出现温度不足或者过高的情况。焊接后热处理的主要作用在于减少马氏体产生, 改善焊接接头组织和性能, 避免出现延迟性裂纹和脆性破坏情况, 切实提高焊接结构的可靠性和寿命。工程机械大部分为大型结构件, 因此, 焊后热处理必不可少。比如, 在焊接完成并且确认外观没有任何问题后, 利用大功率烤枪沿着焊缝中心两侧各 150mm 范围内进行焊后加热温度控制在 250°C 。需要注意的是, 要对钢材进行防护, 可以采用 2 层 3mm 的石棉布围裹并扎紧, 直到冷却至常温后, 才能够撤去防护。

总结: 综上所述, 层状撕裂是厚钢板焊接过程中常见的问题, 造成这种现象的因素有很多, 主要分为材料的选择不合理和焊接时产生了较大的残余应力这两个方面。因此想要有效防止层状撕裂的出现, 要从材料选择、焊接设计、焊接工艺措施等方面展开综合考虑。只有在设计阶段就考虑到各方面因素, 才能够真正避免层状撕裂的出现。