

焊接接头常见工艺缺陷预防措施汇总（一）



焊接裂纹，焊接件中最常见的一种严重缺陷。在焊接应力及其他致脆因素共同作用下，焊接接头中局部地区的金属原子结合力遭到破坏而形成的新界面所产生的缝隙。它具有尖锐的缺口和大的长宽比的特征，按照形成的条件可分为热裂纹、冷裂纹、再热裂纹和层状撕裂等四类。

一、冷裂纹

冷裂纹是在焊接过程中或焊后，在较低的温度下，大约在钢的马氏体转变温度（即 M_s 点）附近，或 $300\sim 200^\circ\text{C}$ 以下（或 $T < 0.5T_m$ ， T_m 为以绝对温度表示的熔点温度）的温度区间产生的，故称冷裂纹。冷裂纹又可分为延迟裂纹、淬火裂纹和低塑性脆化裂纹。

（一）产生条件

1. 焊接接头形成淬硬组织。由于钢的淬硬倾向较大，冷却过程中产生大量的脆、硬，而且体积很大的马氏体，形成很大的内应力。接头的硬化倾向：碳的影响是关键，含碳和铬量越多、板越厚、截面积越大、热输入量越小，硬化越严重。

2. 钢材及焊缝中含扩散氢较多，氢原子在缺陷处（空穴、错位）聚积（浓集）形成氢分子，氢分子体积较氢原子大，不能继续扩散，不断聚积，产生巨大的氢分子压力，甚至会达到几万个大气压，使焊接接头开裂。许多情况下，氢是诱发冷裂纹最活跃的因素。

3. 焊接拉应力及拘束应力较大（或应力集中）超过接头的强度极限时产生开裂。

（二）产生原因：可分为选材和焊接工艺两个方面。

1. 选材方面

（1）母材与焊材选择匹配不当，造成悬殊的强度差异；

（2）材料中含碳、铬、钼、钒、硼等元素过高，钢的淬硬敏感性增加。

2. 焊接工艺方面

（1）焊条没有充分烘干，药皮中存在着水分（游离水和结晶水）；焊材及母材坡口上有油、锈、水、漆等；环境湿度过大（ $>90\%$ ）；有雨、雪污染坡口。以上的水分及有机物，在

焊接电弧的作用下分解产生 H，使焊缝中溶入过饱和的氢。

(2) 环境温度太低；焊接速度太快；焊接线能量太少。会使接头区域冷却过快，造成很大的内应力。

(3) 焊接结构不当，产生很大的拘束应力。

(4) 点焊处已产生裂纹，焊接时没有铲除掉；咬边等应力集中处引起焊趾裂纹；未焊透等应力集中处引起焊根裂纹；夹渣等应力集中处引起焊缝中裂纹。

(三) 预防方法：可以从选材和焊接工艺两个方面着手。

1. 正确选材

选用碱性低氢型焊条和焊剂，减少焊缝金属中扩散氢的含量；做好母材和焊材的选择匹配；在技术条件许可的前提下，可选用韧性好的材料（如低一个强度等级的焊材），或施行“软”盖面，以减小表面残余应力；必要时，在制造前对母材和焊材进行化学分析、机械性能及可焊性、裂纹敏感性试验。

2. 焊接工艺方面

(1) 严格地按照试验得出的正确工艺规范进行焊接操作。主要包括：严格地按规范进行焊条烘干；选择合适的焊接规范及线能量，合理的电流、电压、焊接速度、层间温度及正确的焊接顺序；对点焊进行检查处理；做好双面焊的清根等；仔细清理坡口和焊丝，除去油、锈和水分。

(3) 选择合理的焊接结构，避免拘束应力过大；正确的坡口形式和焊接顺序；降低焊接残余应力的峰值。

(4) 焊前预热、焊后缓冷、控制层间温度和焊后热处理，是可焊性较差的高强度钢和不可避免的高拘束结构形式，防止冷裂纹行之有效的方法。预热和缓冷可减缓冷却速度（延长 Δt 800~500℃停留时间），改善接头的组织状态，降低淬硬倾向，减少组织应力；焊后热处理可消除焊接残余应力，减少焊缝中扩散氢的含量。在多数情况下，消除应力热处理应在焊后立即进行。

(5) 焊后立即锤击，使残余应力分散，避免造成高应力区，是局部补焊时防止冷裂纹行之有效的方法之一。

(6) 在焊缝根部和应力比较集中的焊缝表面（热影响区受到的拘束应力较低），采用强度级别较低的焊条，往往在高拘束度下取得良好的效果。

(7) 采用惰性气体保护焊，能最大地控制焊缝含氢量，降低冷裂纹敏感性，所以应大力推广 TIG、MIG 焊接。

二、层状撕裂

层状撕裂是冷裂纹的一种特殊形式。主要是由于钢板内存在着分层（沿轧制方向）的夹杂物（特别是硫化物），在焊接时产生的垂直于轧制方向（板厚方向）的拉伸应力作用下，在钢板中热影响区或稍远的地方，产生“台阶”式与母材轧制表面平行的层状开裂。产生在

T 字型、K 字型厚板的角焊接接头中。

提高钢板质量，减少钢材中层状夹杂物，从结构设计和焊接工艺方面采取措施，减少板厚方向的焊接拉伸应力，可防止层状撕裂。厚板焊接前，进行板材的超声波和坡口渗透探伤，检查分层夹杂物情况，如有层状夹杂物存在，可设法避开或事先修、磨处理。

三、热裂纹

热裂纹是在高温下产生的，从凝固温度范围至 A3 以上温度，所以称热裂纹，又称高温裂纹。

如果材料中存在着较多的低熔点共晶杂质元素（P、S、C 等）和较多的晶格缺陷，在焊接熔池结晶过程中，就容易出现晶界偏析，偏析出现的物质多为低熔点共晶（如：FeS—Fe、Fe₃P—Fe、NiS—Ni、Ni₃P—Ni）和杂质，它们在结晶过程中，以液态间层存在，形成抗变形能力很低的液态薄膜，相应的液态相存在的时间增长，最后结晶凝固，而凝固后的强度也极低，当焊接拉应力足够大时，会将液态间层拉开，或在其凝固后不久被拉断形成裂纹。

此外，如果母材的晶界上也存在着低熔点共晶和杂质时，则在加热温度超过其熔点的热影响区内，这些低熔点共晶物将融化成液态间层，当焊接拉应力足够大时，也会被拉开而形成热影响区液化裂纹。

热裂纹都是沿奥氏体晶界开裂，呈锯齿状，所以，又称晶间裂纹。多出现在焊缝中间，特别是弧坑处，多数在焊缝柱状晶的会合处，即焊缝凝固的最终位置，也是最容易引起低熔点共晶偏析的位置；少数出现在热影响区。焊缝中的纵向裂纹一般发生在焊道中心，与焊缝长度方向平行；横向裂纹一般沿柱状晶界发生，并与母材的晶界相连，与焊缝长度方向垂直。当裂纹贯穿表面与空气相通时，断口表面呈氧化色彩（如蓝灰色等），有的焊缝表面的宏观裂纹中充满熔渣。

（一）产生的原因

1. 选材方面：材料中含硫过多产生“热脆”；含铜过高产生“铜脆”；含磷过高产生“冷脆”。

2. 焊接工艺方面：镍基不锈钢，焊接顺序不当或层间温度过高、热输入量过大、冷却速度太慢；坡口形式不当（焊缝形状系数 $\psi = b/h \leq 1$ 的窄深焊缝），单层单道焊时易产生焊缝中心偏析裂纹；弧坑保护不好，由于偏析作用，易产生弧坑热裂纹；多次返修会产生晶格缺陷聚集，形成多边化热裂纹。

（二）预防方法

由于热裂纹的产生与应力的因素有关，所以防止方法也要从选材和焊接工艺两个方面着手。

1. 选材方面

（1）限制钢材和焊材中，易产生偏析的元素和有害杂质的含量，特别是 S、P、C 的含量，因为它们不仅形成低熔点共晶，而且还促进偏析。 $C \leq 0.10\%$ 热裂纹敏感性可大大降低。

必要时对材料进行化学分析、低倍检验（如硫印等）。

（2）调节焊缝金属的化学成分，改善组织、细化晶粒，提高塑性，改变有害杂质形态和分布，减少偏析，如采用奥氏体加小于 6%的铁素体的双相组织。

（3）提高焊条和焊剂的碱度，以减低焊缝中杂质的含量，改善偏析程度。

2. 焊缝工艺方面

（1）选择合理的坡口形式，焊缝成型系数 $\psi = b/h > 1$ ，避免窄而深的“梨形”焊缝，防止柱状晶在焊道中心会合，产生中心偏析形成脆断面；采用多层多道焊，打乱偏析聚集。值得注意的是，焊接电流过大也会形成“梨形”焊缝。

（2）控制焊接规范：

a. 采用较小（适当）的焊接线能量，对于奥氏体（镍基）不锈钢应尽量采用小的焊接线能量（不预热、不摆动或少摆动、快速焊、小电流）、严格掌握层间温度，以缩短焊缝金属在高温区的停留时间；

b. 注意收弧时的保护，收弧要慢并填满弧坑，防止弧坑偏析产生热裂纹；

c. 尽量避免多次返修，防止晶格缺陷聚集产生多边化热裂纹；

d. 采取措施尽量降低接头应力，避免应力集中，并减少焊缝附近的刚度，妥善安排焊接次序，尽量使大多数焊缝在较小的刚度下焊接，使其有收缩的余地。

四、再热裂纹

再热裂纹是指一些含有钒、铬、钼、硼等合金元素的低合金高强度钢、耐热钢的焊接接头，在加热过程中（如消除应力退火、多层多道焊及高温工作等），发生在热影响区的粗晶区，沿原奥氏体晶界开裂的裂纹，也有称其为消除应力退火裂纹（SR 裂纹）。

再热裂纹起源于焊缝热影响区的粗晶区，具有晶界断裂特征，裂纹大多数发生在应力集中的部位。

预防措施：

1. 选材时应注意能引起沉淀析出的碳化物形成元素，尤其是 V 的含量。必须采用高 V 钢材时，焊接及热处理时要特别加以注意。

2. 热处理时避开再热敏感区，可减少再热裂纹产生的可能性，必要时热处理前做热处理工艺试验。

3. 尽量减少残余应力和应力集中，减少余高、消除咬边、未焊透等缺陷，必要时将余高和焊趾打磨圆滑；提高预热温度，焊后缓冷，降低残余应力。

4. 适当的线能量，防止热影响区过热，晶粒粗大。

5. 在满足设计要求的前提下，选用低一个强度等级的焊条，让其释放一部分由热处理过程消除的应力，使应力在焊缝中松弛，对减少再热裂纹有好处。

来源：摘自网络