

【经验总结】焊接缺陷易出现，预防措施记心间！



一、减小焊接残余变形的措施

（一）基本类型

1. 纵向收缩变形：构件焊后在平行焊缝的方向上尺寸缩短。
2. 横向收缩变形：构件焊后在垂直焊缝的方向上尺寸缩短。
3. 弯曲变形：由于焊缝的布置偏离焊件的形心轴。
4. 角变形：焊后构件的平面围绕焊缝产生的角位移。
5. 波浪变形：焊后构件呈波浪形，在焊薄板中出现。
6. 错边变形：两焊接热膨胀不一致，所引起的长度或厚度方向上的错边。

（二）设计措施

1. 合理选择焊件尺寸

焊件的长度、宽度和厚度等尺寸对焊接变形有明显的影响。例如，板的厚度对于角焊缝的角变形影响较大，当厚度达到某一数值（钢约9mm）时角变形最大。在制造T形或工形焊接梁时，由于焊件细长，以致于焊接区收缩变形引起焊件弯曲变形是一个突出问题。解决这一问题的最好办法就是要精心设计结构尺寸参数（如板厚、板宽、板长和肋板间距等）和焊接参数（如单位线能量等）。

2. 合理选择焊缝尺寸和坡口形式

焊缝尺寸的大小，不仅关系到焊接工作量，而且还对焊接变形产生较大的影响。焊缝尺寸大，焊接量也大，填充金属消耗量多，造成焊接变形大。因此在设计焊缝尺寸时，在保证结构承载能力的条件下，应采用较小的焊缝尺寸。片面加大焊缝尺寸对减小焊接变形极其不利。所以对并不承受很大工作应力的焊缝，不必采用大尺寸焊角，只要能满足其强度要求就好。

另外，还要合理设计坡口型式。例如对接接头要采用角变形为零的最佳 X 形坡口尺寸。对于受力较大的 T 形接头和十字接头，在保证相同强度的条件下，采用开坡口的焊缝比不开坡口焊缝动载强度高，焊缝金属量少，而且对减小焊接变形也是有利的，尤其对厚板而言，更有意义。

3. 尽量减少不必要的焊缝

在焊接结构设计中，应该力求使焊缝数量减至最少。一般在设计中常采用加肋板来提高结构的稳定性和刚度，特别是有时为减轻主体结构重量而采用较薄板，势必增加肋板数量，从而大大增加装配和焊接的工作量，其结果是不但不经济，而且焊缝致使焊接变形过大。所以实践证明合理选择板厚，适当减少肋板，使焊缝减少，即使结构可能稍重，还是比较经济的。

4. 合理安排焊缝位置

为避免焊接结构弯曲变形，在结构设计中，应力求使焊缝位置对称于焊接构件的中性轴或接近于中性轴。因为焊缝对称于中性轴，有可能使中性轴两侧焊缝轴产生的弯曲变形完全抵消或大部分抵消。因为焊缝接近中性轴，使焊缝收缩引起的弯曲力矩减小，从而使构件弯曲变形也减小。所以在焊接结构时应力求使结构对称。对于一些截面形状无法改变的非对称结构件，可在保持截面形状不变的情况下，采用调整焊缝重心轴与中性轴距离的方法减小变形。

（三）工艺措施

1. 反变形法

焊接前装配时根据经验预估变形的大小，给构件一个与焊接变形方向相反的变形，以此与焊接变形相抵消，使结构在焊接后能达到技术要求。反变形有两种方法：①塑性反变形；②弹性反变形。在实际生产中，弹性反变形比塑性反变形更可靠些。因为即使弹性反变形的预应变不够准确，也总是可以减小角变形。若采用塑性反变形，所选取的塑性预弯量必须非常精确，否则得不到良好的效果。

2. 在外拘束条件下焊接

将焊件刚性固定在夹具中，以限制构件在焊接过程中产生变形。对减小焊件的角变形有很好的效果，可使焊接变形减少，但焊接应力较高。

3. 合理选择焊接方法和焊接规范

为减小焊接变形，应尽可能采用高能量密度的焊接方法，如电子束焊、激光焊接、窄间隙焊接等。它们有较低的焊接线能量，焊接变形极小。在一般生产中，CO₂ 气体保护焊来取代手工电弧焊，不但效率高，而且还能明显地减小焊接变形。焊接薄板时，可采用钨极脉冲氩弧焊或电阻焊、缝焊，都可防止压曲变形。

如果在生产中没有条件采用低线能量的方法，又不降低焊接规范时，可采用直接水冷或采用水冷铜块来改变热场分布，以达到减小变形的目的。但是对于淬硬性高的金属材料，此

方法慎用。

4. 选择合理的装配焊接顺序和焊接方向

装配焊接顺序的设计，主要考虑先期焊缝产生的焊接应力和变形对后续焊缝的影响，还要考虑后续焊缝产生的应力和变形是怎样与先期焊缝的影响相互作用的。实践证明，正确选择装配焊接顺序，是防止焊接变形的有力措施。

在生产中通常采用以小拼大的焊接结构进行生产，先焊成若干部件和组件，然后装配焊接成整体结构。由于焊件的装配和焊接顺序不同，在生产过程中结构刚性的递增以及对焊接变形的影响也不相同，因此要对其进行分析比较，选择变形最小的合理装配焊接顺序。

一般情况下，应先焊收缩量大的焊缝，后焊收缩量小的焊缝。当同时存在对接焊缝和角焊缝时，一般应先焊对接焊缝，后焊角接焊缝；当同时存在横向焊缝和纵向焊缝时，应先焊横向焊缝，后焊纵向焊缝；当同时存在厚板焊缝和薄板焊缝时，一般应先焊厚板焊缝，后焊薄板焊缝；当结构中同时存在断续焊缝和连续焊缝时，一般应先焊连续焊缝，后焊断续焊缝。

5. 预热

焊接不均匀热场是产生焊接变形的主要原因。因此，采用适当的预热使焊接温度分布趋于均匀，也是一种减小焊接残余变形的有效措施。

6. 用拉伸法和加热法减小焊接薄板的平面外变形

用机械法或预热法使被焊壁板进行拉伸或伸长，与此同时将壁板焊到结构的框架上，焊完后，去掉拉伸载荷。此时壁板的收缩受到被焊框架的拘束，从而在壁板上只有小量的平面外变形产生。这时在焊接后壁板内存有残余拉伸应力，而在框架内则存有残余压应力。这种方法对减小焊接薄板的压曲变形具有良好的效果。

二、预防焊接冷裂纹的方法

1. 正确地选材

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；搞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. 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；搞好双面焊的清根等；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△

t 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, 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。

三、预防焊接热裂纹的方法

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。

4. 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 (焊接电流过大也会形成“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。

5. 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。

6. 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。

7. 尽量避免多次返修, 防止晶格缺陷聚集产生多边化热裂纹。

8. 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、预防再热裂纹的方法

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，让应力在焊缝中松弛，对减少再热裂纹有好处。

五、预防未焊透的方法

1. 控制好坡口尺寸：间隙、钝边、角度及错口等。
2. 控制电流、极性和焊速；使接头充分预热，建立好第一个熔池。
3. 控制焊条直径和焊接角度；克服电弧偏吹。
4. 双面焊清根一定要彻底。
5. 坡口及钝边上的油、锈、渣、垢一定要清理干净。

来源：摘自网络