

奥氏体钢常见焊接问题简析



1. 奥氏体钢焊缝中容易产生结晶裂纹的原因是什么？如何防止？

奥氏体钢焊缝中容易产生结晶裂纹，有以下几方面原因：

(1) 奥氏体钢的合金组成比较复杂，能在焊缝的晶粒之间形成低熔点的液态夹层，削弱晶粒之间的结合力。能生成低熔点液态夹层的合金元素有 Si、B、Ni 及杂质 S、P、Sn、Sb 等。

(2) 单相奥氏体焊缝一次结晶特别发达，易形成方向性很强的柱状晶，有利于杂质在晶界上偏析，因而促使液态夹层的产生。

(3) 奥氏体钢的热导率小、线膨胀系数大，在焊接局部加热和冷却的条件下，能在接头处产生较大的拉伸内应力。当拉应力大于晶粒之间的结合力时就会产生结晶裂纹。

防止措施：

(1) 严格限制焊缝金属中有害元素特别是 S、P 等杂质含量。

(2) 通过焊接材料适当调整焊缝金属的化学成分，控制杂质含量。例如，在 25-20 型单相奥氏体焊缝中加入质量分数为 6%~7% 的锰用以控制硫，可以显著改善焊缝的抗裂性。

(3) 通过调整焊缝金属化学成分，使 18-8 型焊缝产生体积分数为 2%~8% 的 δ 相，形成 $\gamma + \delta$ 双相组织；使 25-20 型焊缝获得 γ 相加一次碳化物 C_1 或一次硼化物 B_1 双相组织，可以显著改善抗裂性。

(4) 在焊接工艺上采用小的热输入及小截面焊道，以减小熔池过热和避免形成粗大的一次结晶组织。

2. 奥氏体钢近缝区容易产生液化裂纹的原因是什么？如何防止？

奥氏体钢近缝区产生液化裂纹的原因与焊缝中产生结晶裂纹有些相似，即也是在焊接时金属晶界产生元素偏析，并形成低熔点液态夹层，削弱了晶粒之间的联系，以及奥氏体型钢

导热系数小、热膨胀系数大，能在接头处产生较大的拉伸内应力所致。在两者共同作用下产生的液化裂纹处于紧靠焊缝的过热区，因此主要与钢材有关。例如，18-8 型或 18-8Ti 钢的近缝区一般看不到液化裂纹，而 25-20 型钢的近缝区比较多见，这是因为 25-20 型钢与 18-8 型钢相比，它对热更敏感，晶粒长大趋势更大。在 1350~1360℃ 条件下，25-20 型钢的晶粒平均尺寸要比 18-8 型钢高出 50%~60%，这有利于合金元素和杂质的偏析，像 Cr、Ni、Si、Mn 等元素都很容易富集在晶界，并形成低熔点共晶物。例如，Cr 和 Ni 元素形成的共晶物熔点只有 1340℃，比母材固相线温度 1420℃ 低 60~65℃，因此。较容易形成液态夹层，导致液化裂纹的产生。

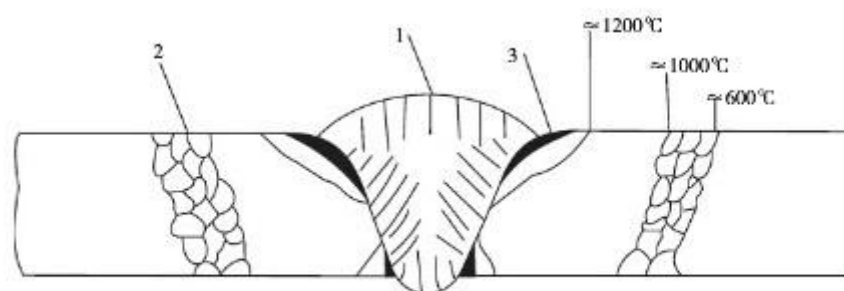
此外，奥氏体钢多层焊时，如果焊缝存在产生液态夹层的条件，液化裂纹也会产生在焊缝层间金属中。

防止措施：

- (1) 对使用的母材成分严格控制，不使用 S、P 等杂质含量较多的母材。
- (2) 在焊接工艺上设法减少过热，抑制近缝区和焊缝晶粒过分长大，例如采用能量密度高的焊接方法，减小热输入和提高冷却速度等。
- (3) 在焊接结构设计上设法减小焊接接头的拘束度。

3. 奥氏体钢焊接接头产生敏化区腐蚀的原因是什么？

所谓敏化区腐蚀，是指焊接热影响区中被加热的温度，处于敏化温度区间的金属发生晶间腐蚀的现象，如图 1 所示。对于碳的质量分数为 0.1% 的 18-8 型奥氏体不锈钢，其敏化温度区间是 450~850℃。但由于焊接过程不是恒温加热过程，而是一个快速连续加热过程，而铬的碳化物的沉淀是一个扩散过程，需要有充分扩散的时间，因此总要有一个过热度，故其实际敏化区间是 600~1000℃。



1-焊缝晶间腐蚀；2-敏化区腐蚀；3-刀状腐蚀

图 1 奥氏体钢接头的晶间腐蚀

敏化区腐蚀的原因是：经过固溶处理的奥氏体钢中碳是以过饱和的状态溶于奥氏体中，但不是一种稳定的状态，当金属受到敏化温度的热作用时，过饱和的碳就向晶界扩散，与铬形成 Cr_{23}C_6 或 $(\text{Cr}, \text{Fe})_{23}\text{C}_6$ 沉淀于晶界。碳是间隙原子，扩散速度比较快，可以不断地由晶内向晶界补充。而晶内的铬扩散速度比较慢，来不及向晶界补充，因而在晶界能形成一个薄的贫铬层，使之丧失耐腐蚀能力，在腐蚀介质的作用下，就会产生敏化腐蚀。在敏化温度区间以下加热时，由于碳和铬的扩散速度都很慢，铬的碳化物析出速度很低，不会呈现晶间

腐蚀倾向；在敏化温度区间以上加热时，铬的扩散速度加快，能及时从晶内向晶界补充，因此也不会产生晶间腐蚀倾向。

4. 奥氏体钢焊缝产生晶间腐蚀的原因是什么？

奥氏体钢焊缝产生晶间腐蚀，也是由于在晶界析出铬的碳化物从而在晶界形成薄的贫铬层引起的。晶间腐蚀倾向与焊接材料有直接关系。当焊接材料含有稳定化元素（如 Ti、Nb）或含碳量大到超低碳（ $w_c \leq 0.03\%$ ）水平时，就不容易产生晶间腐蚀。这主要是由于 Ti、Nb 等元素与碳的亲合力大于铬与碳的亲合力，因而能取代 Cr 而与碳形成碳化物，使钢中绝大部分碳固定在这些碳化物中，因此能避免在晶界产生贫铬层。同样，如果焊缝中含碳量很低，也不利于在晶界形成贫铬层。奥氏体钢焊缝产生晶间腐蚀通常有两种情况：①由于焊接线能量过大或多层焊重复加热，使焊缝金属在敏化区温度区间所处的时间较长，晶界能产生铬的碳化物沉淀并形成贫铬层；②虽然焊缝金属在焊态未形成贫铬层，但在焊后由于不恰当的热处理或在敏化温度范围工作，使焊缝经受敏化加热条件，因而产生了晶间腐蚀倾向。

5. 如何防止在奥氏体钢焊缝和敏化区产生晶间腐蚀？

（1）在母料及焊缝中加入稳定剂如钛、铌等。为了保证钛、铌能有效地固定碳，加入到焊缝中的钛或铌与碳的比例应比母材中的规定值（ $Ti/C \geq 5$ 、 $Nb/C \geq 10$ ）大一些，通常要求 $Ti/(C-0.02) \approx 8$ ， $Nb/(C-0.02) \approx 12$ 。

（2）尽量减少焊缝和母材中的含碳量。可以用超低碳（ $w_c \leq 0.03\%$ ）的焊丝或焊条焊接奥氏体钢，当焊缝中碳的质量分数降至在奥氏体中的溶解度以下（ $< 0.03\%$ ）时，就可以避免铬的碳化物析出，提高抗晶间腐蚀性。缺点是室温和高温强度比较低。

（3）在母材及焊缝中加入适量铁素体化元素，形成奥氏体加少量铁素体的双相组织。实践表明，在焊缝中形成 5% 左右的 δ 相，就可以获得满意的抗晶间腐蚀能力。

（4）控制金属在敏化温度范围停留的时间。焊接时，应采用小的焊接电流、快速焊接，也可以采用铜垫板或其它加速冷却的方法，这样，一方面可以减小热影响区的宽度，另一方面使焊接接头在敏化温度范围停留的时间短，使之处于一次稳定状态。另外，在双面焊时，注意与腐蚀介质接触的工作焊缝应当放在最后焊接。

（5）焊后进行热处理。一般情况下，只要焊接材料选择正确、焊接工艺合理，焊接接头在焊后状态就具有耐晶间腐蚀的能力而不必进行热处理。但当焊接接头有晶间腐蚀倾向时，可以采用两种热处理方式进行处理：①固溶处理，即将焊件加热至 $1050 \sim 1150^\circ\text{C}$ ，保温后淬火，这样，可使焊接时析出的铬的碳化物重新溶入奥氏体，从而恢复耐蚀性，缺点是容易产生较大的应力和变形，只适于较小的焊件。②稳定化退火，即将焊件加热至 $850 \sim 930^\circ\text{C}$ 保温 2h 后空冷，这样，可使焊接接头进入二次稳定状态，即使再经敏化温度区间的热作用，也不会丧失抗晶间腐蚀的能力，缺点是材料韧性损失比较大，不适于对低温下工作的焊件进行处理。

6. 奥氏体钢焊接接头产生刀状腐蚀的原因是什么？如何防止？

刀状腐蚀是奥氏体钢焊接接头晶间腐蚀的一种特殊形式。它只发生在含有稳定剂（如 Ti 或 Nb 等）的 18-8 型钢的焊接接头中，普通的 18-8 型钢焊接接头没有刀状腐蚀倾向，当含 Ti 或 Nb 量足够高时也没有刀状腐蚀倾向。发生的部位是紧靠熔合线的热影响区上，宽度一般不超过 1~1.5mm（电渣焊时可达 3~5mm），呈刀刃状，故称刀状腐蚀。

刀状腐蚀产生的原因有不同的解释，比较普遍的解释是认为与近缝区的晶界形成铬的碳化物沉淀有关。含有 Ti、Nb 等稳定剂的 18-8 型钢中，大部分碳与 Ti、Nb 形成了碳化物，即使奥氏体钢进行了 1050~1150℃ 水淬固溶处理，由于碳与 Ti、Nb 等形成的碳化物在 1150℃ 以下时在钢的溶解度不大，只有少部分碳和很少量的 Ti、Nb 等溶入固溶体，奥氏体钢中仍然存在很多 Ti、Nb 等碳化物。焊接时，由于熔合线附近受到 1250℃ 以上的加热，Ti、Nb 等的碳化物熔入的量急剧增大，只有少量大块的 Ti、Nb 的碳化物不能溶入。冷却时，由于溶解度下降，间隙原子碳会析出，对奥氏体晶粒而言它是表面活性元素，趋于向晶界迁移，而 Ti 或 Nb 等则因扩散困难留在奥氏体中不能固定碳。此时如果再经受敏化温度范围的热作用，或者从高温冷却敏化温度范围停留的时间较长，晶内的碳进一步向晶界扩散，并迅速夺取铬形成铬的碳化物。由于铬的扩散速度慢，不能使晶界上的铬得到补充，因而会产生贫铬层，使晶界丧失耐晶间腐蚀的能力。可见，含有稳定剂的 18-8 型钢产生刀状腐蚀需要历经“高温过热”和“中温敏化”这样两个过程。

防止措施：

- （1）选用碳的质量分数小于 0.06%、具有良好抗刀蚀能力的钢。
- （2）在工艺上，尽量采用能量密度高的焊接方法和采用较小的焊接热输入施焊，以减小近缝区过热。
- （3）避免在焊接过程中产生“中温敏化”加热，例如，双面焊时与腐蚀介质接触的焊缝应最后施焊，各种情况下都应尽量避免交叉焊接等。
- （4）焊后进行稳定化退火处理，以消除贫铬层。

来源：摘自网络