

第七章 铝及铝合金常见焊接缺陷、原因分析和控制规则

焊接缺陷在焊接施工过程中，做到完全避免是不可能的，缺陷来自工艺缺陷和设计缺陷两部分，工艺缺陷需要在生产过程中，进行严格的质量控制、装备和人员配置要合理化、试验和培训要按着规程去执行，如气孔、咬边、起楞、裂纹、未焊透等均定义为工艺缺陷。设计缺陷是指结构产生的缺陷，如焊缝过密、交叉过多、焊缝板厚差过大、材料匹配不良等导致的裂纹属于设计缺陷。工艺缺陷可以通过优化施工条件和增加工艺装备解决，设计缺陷可以通过优化结构来完成，对于结构特殊的要求和限制，可能会有一些焊缝很难焊好，如需要盲焊等操作，在这种条件下，需要进行大量的模拟培训，实现合格的焊接质量。工艺和设计导致的缺陷种类繁多，以下是一些重点缺陷的定义和产生原因分析。

第一节 气孔

气孔是铝合金焊接过程中最容易出现的焊接缺陷，无论工艺措施多么严格到位，要想完全做到克服气孔是很难得，气孔从位置上可区分为表面气孔和内部气孔，从性质上可区分为密集气孔和离散气孔，气孔产生的原因有外部原因和内在原因，外在原因主要是操作、环境方面的因素，内在原因主要是材料、位置方面本身造成的结果。

一、外在原因导致的气孔

1 环境湿度导致的气孔

铝合金表面的氧化膜有很强的吸水性，当环境湿度很大时，侵入铝合金表层的水很大，当电弧产生时，水分子会电离出氢，氢在熔池中来不及溢出而产生气孔，因此，铝合金焊接现场的湿度控制是非常必要的措施。

2 焊接保护不当造成的气孔

当焊接保护气体流量过大、过小，均会造成气孔缺陷，这部分气孔主要是氮气孔或氧气孔，焊接过程中，外界风的干扰会使保护气流紊乱而产生气孔，焊接过程中，要加强防风措施。

3 油污、灰尘、脏物导致的气孔

当工件表面有油污和有机脏物时，焊接过程会融入焊接熔池，有机碳水化合物分解会导

致气孔产生。

4 操作不当导致的气孔

当焊接前倾角度过小或操作不稳，均会导致焊接气孔的产生，在焊接培训过程中，焊接操作避免气孔的技能需要必备的。

5 焊接参数导致的气孔

当电弧电压较高时，很容易产生气孔，因此操作过程中适当的控制电压时必要的。

二、内在原因导致的气孔

1 焊丝含氢量高导致的气孔

焊丝在冶炼加工过程中，除氢不彻底，或焊丝放置时间过久均会产生含氢量过高导致气孔。

2 焊丝软管质量导致的气孔

焊丝软管质量会影响气体的纯度和效果，具体理论目前还不是很清晰，但在实践过程中，发现不合格的软管会产生气孔，这一结果在国外产品供应商的资料论述中也有详细说明。

3 材料方面导致的气孔

铸铝合金、镁合金焊接，非常容易产生气孔，即使采取了一些工艺措施，但完全避免很困难。

4 操作位置导致的气孔

焊接位置对气孔的影响很大，PC 横焊位置，由于在横焊位置上部，焊接保护较差，焊接保护氩气比重比空气大，保护气体过多地流向下部，造成焊缝上部气孔过多，PF、PC 是导致气孔偏多的位置。

三、气孔控制的规则

气孔控制的规则原则按 EN15034 执行，但标准在执行过程中，不直观，在行业内部，一般按以下规则控制质量：

1 离散气孔的大小、数量控制

离散气孔一般指单个气孔，气孔间距不低于 25mm，无论表面或内在，该类气孔的直径均不能超过 1mm。

2 密集气孔

多个气孔存在于工件表面，且气孔间距小于 25mm，一般定义为密集气孔，密集气孔原则上不允许存在。

四、气孔的修复

对于超过标准的离散气孔，一般用旋转挫磨掉，再用 TIG 焊修补。对于密集气孔，一般用片刀、旋转锉修磨后，再用 MIG 焊接修补。

第二节 裂纹

在铝合金焊接过程中，常见以下四种裂纹，焊缝裂纹、母材 HAZ 裂纹、弧坑裂纹、晶间裂纹，四种裂纹产生的原因各有不同。

一、焊缝裂纹

焊缝裂纹通常也叫热裂纹，通常发生在焊接完成后，在焊缝纵向中间部位通常开裂，焊缝裂纹的发生主要有以下原因：

1 拘束应力过大产生的裂纹

焊缝在冷却过程中，受到周围金属的限制，产生对焊缝的拉伸作用，由于焊缝金属在半熔化状态下，强度还没有上来，造成焊缝金属不能抵抗拉应力而裂开，因此，解决焊缝裂纹的首要措施就是研究如何调整焊接顺序，使焊接收缩应力最小。

2、焊接材料和母材不匹配导致的裂纹

焊接材料强度过低或焊接材料和母材共同熔化后，产生了晶间低熔点物质，使焊缝在应力下开裂。

3 焊角过小

焊角过小，导致焊缝强度低。在焊缝形成过程中发生开裂。

焊缝裂纹一般通过以上三个措施就可以解决，焊缝裂纹对结构的危害相对较小。

二、母材（HAZ）裂纹

在焊缝熔合线附近或远离其区域，在母材上产生的裂纹均叫液化裂纹（HAZ）或母材裂纹，该裂纹的产生主要有以下原因：

1 母材材料的因素

当材料的化学成分存在问题，在材料的晶间存在过多的低熔点物质，在焊接热作用下，材料晶间先行熔化，在应力作用下沿晶间开裂，因此，出现此问题的首要解决步骤是检查材料是否有不合格的化学成分。

2 拘束度的因素

该裂纹的产生是应力和热的共同作用，因此，降低拘束应力的措施均可降低裂纹倾向，

如改变焊接顺序、卡紧位置可缓解拘束应力的大小。

3 热输入的因素

过多的热量输入，会对金属层间产生熔化作用，使金属晶间产生熔化导致裂纹，因此控制热输入是解决该类裂纹的一项措施，如提高焊接速度、降低焊角均可有效解决该类问题。

4 焊缝冷却速度因素

焊缝冷却速度也是导致 HAZ 裂纹的一个主要原因。

三、弧坑裂纹

在铝合金焊接收弧过程中，在弧坑位置一般会产生弧坑裂纹，弧坑裂纹是铝合金焊接的常见现象。

四、宏观断口微观裂纹

该种裂纹在外观上没有任何表现，只是在做宏观断口的工件上，在放大镜下能够看到微观裂纹，对于该种裂纹，解决的唯一措施就是增加焊接速度，降低热输入。

五、裂纹的修理

对于焊接裂纹，原则上需要用旋转挫、片刀、磨片处理后，用 PT 检查无误后，再进行焊接，焊接后，需要再次 PT 检查无裂纹后才算完成此工作。

六、裂纹的控制标准

无论何种结构、何种要求，何种形式的裂纹均不允许。裂纹必须清除和 PT 检查后，才能算完成正常焊接。

第三节 夹渣

铝合金焊接后，在焊缝金属内部存在一些黑点或白色亮点，这些夹渣物是氧化膜的破碎物，有时焊接过程的脏物，如熔池前方的飞溅球溶入熔池，均会造成夹渣。夹渣的尺寸和数量控制和气孔采取相同的方式。图 7-1 中的亮点是夹渣示意。



图 7-1 夹渣示意

第四节 根部未熔合和未焊透

根部未熔合和未焊透根据图纸要求进行判断,如果设计结构中注明的焊接深度是不焊透是可以的,如7mm厚铝板,开30度坡口HY连接,如标注6HY,意味允许2mm未焊透,如标注7HV,意味必须全焊透,焊接不允许在根部有孔洞存在,如果不能达到图纸标注的焊接深度,均可定义为未焊透,必须进行焊接修补处理,图7-2是没有焊透的图示,图7-3是焊接孔洞的示意,无论何种形式和要求,孔洞的存在是不合理的。

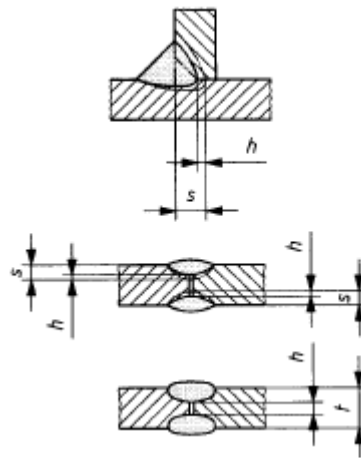


图 7-2 未焊透示意



图 7-3 内部孔洞示意

第五节 错边

错边是铝合金焊接中，最严重的焊接缺陷，错边会导致焊接深度不够、焊缝成型不良，EN10042 对错边有一个定义，但执行比较麻烦，一般来讲，4mm 板厚以下对接，错边按 0.7mm 以下考虑，4mm 以上板厚，按 1mm 考虑，超过此范围的错边，必须进行重新组对控制。图 7-4 是错边示意。

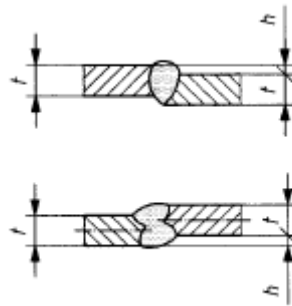


图 7-4 错边示意

第六节 根部间隙

根部间隙通常指角接和搭接两种方式，间隙过大会造成空气从背部侵入焊接熔池造成气孔和夹渣，因此间隙不宜过大，一般讲，间隙以不超过 2mm 为宜。图 7-5 是间隙的示意。

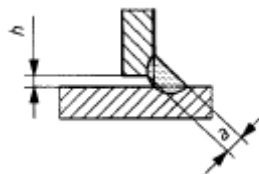


图 7-5 间隙示意

第七节 咬边

在焊缝两侧，熔化的金属熔化掉基体金属一部分深度，称为咬边，对自动焊来讲，咬边深度不高于 0.5mm，对手工焊讲，咬边深度不大于 0.3mm，自动焊比手工焊采用的规范大，

更容易产生咬边缺陷，避免咬边缺陷的措施是减少焊接规范和降低焊接速度。图 7-6 是咬边示意。

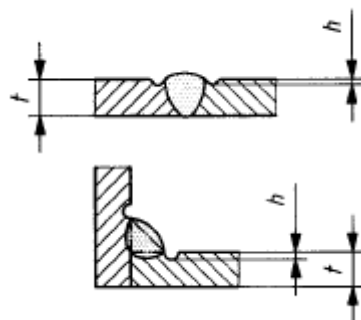


图 7-6 咬边示意

第八节 焊缝加强高和宽度过大

焊缝加强高不宜过高，以 2mm 为宜，过多的焊缝填充金属会造成浪费和表面不美观，图 7-7 是焊缝加强高示意，焊缝宽度以不大于焊角名义尺寸 2mm 为宜。

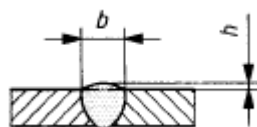


图 7-7 焊缝加强高示意

第九节 焊接背透和凸度过大

焊接背透会影响根部动态性能，背透深度原则上不允许大于 3mm。图 7-8 是背透示意。

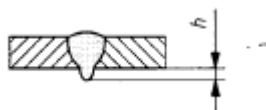


图 7-8 背透示意

焊接凸度是由于焊接能量过小、电压过低造成的，正常情况下，凸度不允许大于 2mm，图 7-9 是焊接凸度的示意。

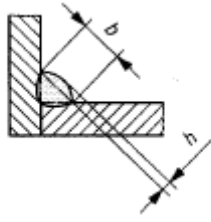


图 7-9 焊接凸度示意