

第二十章 铝及铝合金产品的焊缝质量检验

焊接完成后的铝及铝合金产品，需要进行焊缝质量检验，铝及铝合金焊缝的质量取决于焊接时所用的焊丝、气体的质量、接头的组对质量、焊接顺序、坡口的清理、施工条件、焊工操作技术水平和选用的焊接规范等等因素。为保证焊接质量，必须严格检查焊接结构制造过程中的各个环节，及时防止各种缺陷的产生，此外，焊接质量还与新工艺的推广应用有关，不通的工艺方法对焊接质量会产生质的变化，在这一工艺模式下难以实现的质量换成另外一种工艺就变成简单易行的事情，完工后的焊接部件及整个产品必须进行全面的的质量检验。焊缝的检验方法很多，一般常用的有如下几种。

第一节 外观检验

这种检验方法是以肉眼观察为主，有时也可用低倍放大镜观察，外观检验的内容主要为检查咬边、表面气孔、裂纹、烧穿、焊瘤、弧坑等缺陷，以及焊缝的外形尺寸是否过高、过低、过宽等不利内容，检查范围为 100% 焊缝，这种检验通常叫 VT 检验，图 20-1 是理想和不理想焊缝外观示意。



图 20-1 左侧是理想的焊缝外观（成型细腻），右侧是不理想焊缝（纹路太大）

在焊缝外观检测中，要特别注意当焊角超过 8mm 时，原则上是不允许焊缝是摆动焊接完成的，尤其大纹路的焊接外表成型是更不允许的，摆动焊接非常容易出现锯齿状缺陷和氧化夹杂，这一点和钢焊接有本质的不同。

焊缝尺寸检验是焊接质量控制的重要环节，很多工程师不注重外表成形，没有良好外表光洁度的焊缝在疲劳试验中是很难合格的，过大的焊缝尺寸不仅不能增加强度，反而会使焊接 HAZ 丧失强度，因此，外表光洁度、尺寸合适度是焊接质量检验工程师必须要牢牢掌握的。焊缝尺寸图 20-2 是焊缝过高的示意，理想的焊缝是余高低于 1mm，焊缝宽度不超过理论值

2mm、熔深不超过理论深度 2mm 的焊缝，具体值可以在 EN10042 铝及铝合金缺陷极限值标准中查到。



图 20-2 焊缝过高示意图

第二节 焊缝掰开试验

焊缝质量检验最严格的方式是掰开试验，具体做法是首先在对接、角接焊缝上用风铣刀划开一道豁口，然后将焊缝在老虎钳上或平台上用锤子打开，检测焊缝内部气孔、夹渣、组织致密性等缺陷，图 20-3 显示了掰开焊缝横截面示意，焊缝内部存在孔洞是绝对不允许的。图 20-4 掰开焊缝横截面显示气孔和夹渣，图 20-5 横截面显示了焊缝根部未熔合，图 20-6 显示根部熔合良好。



图 20-3 层间不光滑造成操作孔洞示意



图 20-4 气孔和夹渣示意



图 20-5 黑线显示根部未熔合示意



图 20-6 根部熔合良好示意

第三节 宏观断口检测试验

宏观断口检测是所有焊接质量检测等级最高的一种检测，目前，仅在质量有严格要求的产品上有此检测要求，其他基本以 PT、RT 为主要检测方法。宏观断口检测主要检测焊缝形状、尺寸、熔深、根部、微观组织、气孔、HAZ 微观裂纹等是否合格，而 PT、RT 检测仅能检测气孔、裂纹等缺陷。

一、宏观断口检测的内容

1. 焊缝成形是否达到理想形状，如图 20-7 所示。



图 20-7 焊缝成型示意

2. 焊缝尺寸是否符合公差要求，如图20-8所示。

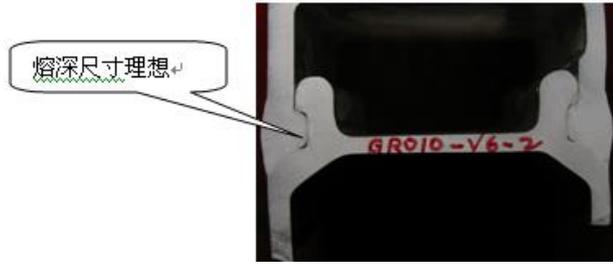


图 20-8 焊缝尺寸示意

3. 熔深是否符合要求，如图20-9所示。



图 20-9 熔深示意

4. 气孔尺寸是否超标，如图20-10所示。

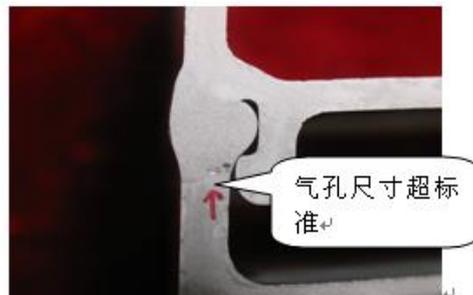


图20-10 气孔示意

5. 在10倍放大镜下，检测宏观裂纹，如图20-11所示。



图 20-11 裂纹示意

二、宏观断口检测的取样办法

工作试件是一种实物工件的模拟，按正常工艺流程加工完成后，截取 AP 试样，AP 经过磨光、腐蚀、上光后，放到 10 倍显微镜下检测，如果有超过 EN10042 铝及铝合金缺陷极限值标准的缺陷，需重新做工作试件和截取宏观断口，直到合格后，才进行正式产品的焊接。

三、实物检测宏观断口的处理办法

原则上，质量控制以工作试件检测为准，对生产过程中特殊要求的实物取样，缺陷如超过 EN10042 铝及铝合金缺陷极限值标准规定，需办理 NCR，然后根据缺陷类别，进行焊接修补。生产工件取样如出现问题，原则要判别是点缺陷还是连续缺陷，点缺陷不修补。实物取样位置要保证取在加工掉的位置，不影响使用，如结构没有取样位置，也可实物取样后采取补焊的办法，在这种情况下，实物取样必须尺寸很小，以免影响补焊效果。

四、影响宏观断口的主要因素

1. 材料成份的因素

当材料热处理、杂质、微量元素 Ti 含量等因素变化时，均可能对宏观断口的微观裂纹、宏观裂纹产生影响。

2. 环境因素的影响

当环境湿度、温度过低、灰尘过大时，可能会产生气孔、裂纹等缺陷。

3. 操作因素的影响

不正确的操作方式，会导致所有焊接缺陷的产生，如气孔、裂纹、未焊透、咬边等缺陷。

4. 几种不利因素的累积

当单一因素不足以产生不可以接受的质量缺陷时，要考虑综合因素导致的缺陷，用综合的处理办法解决问题。

第四节 X 射线探伤检验

X 射线探伤是检查铝及铝合金焊缝内部最有效的方法，它能确定焊缝内部的气孔、夹渣、未焊透、内部裂纹的位置和内部飞溅物等缺陷。但直径在 0.2mm 以下的显微气孔、显微裂纹和微小的未焊透等缺陷则不易用 X 射线探伤法探测到。根据 X 射线探伤法摄制、显影后的底片黑度，评定产品的质量等级一般采用三级评定方法，1 级为优良品，2 级为合格品，3 级

为不合格品。

焊缝透视质量的等级评定标准如下：

- (1) 焊缝存在裂纹、未熔合或未焊透（双面焊）时，应评为 3 级；
- (2) 单面焊未焊透的深度超过壁厚的 15% 或 2mm 时，应评为 3 级；
- (3) 单个缺陷尺寸在任何方向上的最大尺寸超过 1/5 板厚（或 4mm）时应评为 2 级，超过 1/3 板厚（或 8mm）时应评为 3 级；
- (4) 缺陷数量的规定，参照 EN10042 铝及铝合金缺陷极限值标准。

对于探伤不合格的焊缝应进行质量分析，找出原因，制订出措施后方可返修。返修后必须重新做探伤检验。同一部位的返修次数一般不超过两次，超过两次的返修要经主管部门批准，且返修次数和部位应在产品质量证明书中注明。

第五节 超声波探伤检验

近年来，对铝及铝合金的焊缝检验开始采用超声波探伤技术，并在对接焊缝的探伤中取得了一些经验。它与 X 射线探伤法相比较具有下列优点：

- (1) 不需要如 X 射线探伤的贴片、冲洗底片等工序，因而缩短了检验时间；
- (2) 对探测微裂纹和未焊透缺陷比 X 射线探伤法灵敏；
- (3) 探测距离比 X 射线探伤法要大；
- (4) 经济安全。

但用超声波法探伤检验时，要求铝焊缝两侧必须光滑清洁，在阳光下操作时，观察示波屏的回声脉冲比较困难，用这种方法判断焊缝缺陷的可靠性和准确性与操作者的技术水平、工作经验有很大关系。铝及铝合金焊缝中缺陷的方向大多与焊缝表面垂直，因此，探伤时只利用带角度的探头将超声波从基体金属的表面以横波形式射入焊缝。超声波探伤还可以对铝及铝合金点焊、滚焊焊接接头进行无损检验。

第六节、接头机械性能试验

机械性能试验可用以评定焊接接头的强度、塑性及检验缺陷对机械性能的影响。试样数量、尺寸及检验方法参考 GB2649—81《焊接接头机械性能试验取样法》、GB2653—81《焊接接头拉伸试验法》、GB2650—81《焊接接头冲击试验法》等国家标准中的有关规定。常用的铝

及铝合金接头机械性能试验其结果应满足以下要求：

一、纯铝焊接接头抗拉强度大于基体供货状态 85%；防锈铝合金焊接接头抗拉强度大于基体 90%抗拉强度。

二、冷弯角（弯轴直径等于二倍板厚）；要求工业纯铝 $\geq 90^\circ$ ；防锈铝合金由供需双方协议决定。

在切取抗拉、冷弯试样前应预先对试板进行 X 射线探伤，当试板中存在较严重的缺陷时，不允许切取机械性能试样。

纯铝、非时效硬化型铝合金焊接接头的软化是由于热影响区金属加热到再结晶温度以上时，冷作硬化效果局部消失而引起的。软化造成的强度降低并不严重，接头强度约为退火状态基体金属的 85%~98%，时效硬化型铝合金热影响区的组织变化比较复杂，焊接接头的软化不但显著地降低整个接头的机械性能，而且导致接头与基体金属不等强。例如，经淬火、自然时效的 LY12、LY11 硬铝，其接头强度只占基体金属的 55%—70%，焊接接头的强度与基体金属、焊丝中的镁、锰含量有关，基体金属中镁含量影响最为显著。

第七节 渗透试验

制造完成的铝容器应按图样规定的项目和要求进行渗漏试验，其目的是检查焊缝的致密性及焊缝中存在的微小缺陷是否会影响到产品的工作性能，根据铝及铝合金焊接结构的工作条件和结构强度的不同，渗漏试验可分为以下两种。

一、强度试验

1. 水压试验：水压试验常用来检查各种密闭结构的水密性和构件在承受一定压力下的致密型。水压试验前应对被试产品进行 X 射线探伤检验。保持 20min 以上，以便对所有的焊缝和连接部位进行检验。在试压过程中，如发现有渗漏现象时即卸压，待彻底消除缺陷并焊补后再试压。

2. 气压试验：由于特殊原因不能进行水压试验时，铝及铝合金容器可用气压试验代替。气压试验需经主管部门批准，并经安全部门同意。试验前容器需经 100%气压探伤检验。在确保焊接质量的情况下，经部门批准，可以适当减少探伤要求，其试验压力按图样规定。试验时，压力应缓缓升高至试验压力，至少保持 10min，然后降至设计压力，保持足够长的时间以便进行检验。

二、气密性试验

气密性试验应在强度试验合格后进行，它主要用以检验某些管子及小型容器的密闭性。试验时通入经过滤并符合要求的洁净空气。试验压力取用产品技术条件中规定的数值，一般略高于设计压力，加压时应缓慢升压，达到规定的试验压力后，在焊缝密封部位涂以肥皂水进行检验，小型容器也可浸入水中检验，常压容器试漏如下：

1 盛水试验：容器中盛满水，保持 1 小时后，不应有渗漏现象。

2 煤油渗漏：煤油渗漏是将被检验焊缝的一面清理干净，然后涂上白粉浆晾干，在焊缝的另一面涂上煤油，使表面得到足够的浸润，经半小时后，在白粉上不应有油渍。如焊缝上有细微裂纹或穿透性气孔等缺陷时，煤油会渗过缝隙而使涂白粉的焊缝表面上呈现黑色斑纹，由此即可确定焊缝中缺陷的位置。

第八节 金相检验

在推广焊接新工艺、采用新的焊接材料及制造重要的焊接结构时，为掌握焊接接头各区的组织情况，应对铝及铝合金的焊缝、热影响区进行金相检验。这种方法用以检查 X 射线探伤法所不能发现的显微气孔、氧化夹渣物及微裂缝等缺陷。金相检验时首先在焊接试板上截取试样，经加工、打磨、抛光后，将试样放入相应的腐蚀剂腐蚀，然后在金相显微镜下观察，检查显微气孔、微裂纹、夹渣、未焊透等缺陷及测定热影响区宽度，经高倍放大后可在显微镜下观察焊缝及热影响区的晶粒大小、晶粒边界夹渣物的种类、性能及各区的组织特性。

第九节 腐蚀试验

根据技术条件规定需作焊接接头耐腐蚀试验的铝及铝合金设备，可用硝酸腐蚀试验检验，具体查阅相关标准后执行。

第十节 硬度试验

硬度试验主要测定热影响区的宽度，对铝合金来讲，几乎任何用于测定钢的硬度的试验设备，都可以用来进行铝的硬度测定，具体操作程序也大体相同。