

## 第八章 铝及铝合金焊接变形和调修技术

### 第一节 焊接变形产生的原因

#### 一、焊接热量与焊接变形的关系

焊接是一个金属熔化和再结晶的冶金过程，焊接过程中，容易误认为金属受热膨胀导致焊接变形，但金属的均匀膨胀和冷却不能形成焊接变形，表 8-1 清楚地表明了一个金属棒在自由状态下受热膨胀、冷却收缩的工艺过程，在整个过程中，没有任何的变形和焊接残余应力产生。因此焊接热量的输入只是导致焊接变形的外部条件，但不是焊接变形的直接原因。

表 8-1 金属棒受热和冷却过程变形和应力示意

自由膨胀和收缩	加热过程	变 形	应 力
	室温	原长	无
	加热	伸长	无
	冷却	缩短	无
	最终状态	原长	无

#### 二、热膨胀受阻和冷却收缩受阻会导致应力和变形的产生

金属在自由状态下膨胀、收缩不会产生应力和变形，那么金属在拘束状态下收缩，应该一定会产生应力和变形，知道这个道理，变形的产生原理自然就明白了，表 8-2 是金属棒受热膨胀受阻、冷却自由收缩产生应力和变形的示意，表 8-3 是金属棒受热膨胀受阻、冷却也受阻的应力和变形示意。从两种情况看，膨胀受阻、冷却不受阻会产生缩短的变形，但无内应力的存在。膨胀受阻、冷却也受阻会产生拉应力和变形的存在，这种工况非常类似焊接工况。

表 8-2 金属棒受热膨胀受阻、冷却自由收缩产生应力和变形的示意

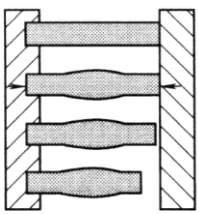
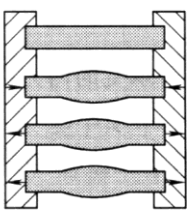
膨胀受阻、自由收缩	加热过程	变形	应力
	室温	原长	无
	加热	膨胀受阻	压应力
	冷却	缩短	无
	最终状态	缩短中心变厚	无

表 8-3 金属棒受热膨胀受阻、冷却也受阻的应力和变形示意

膨胀受阻、收缩受阻	加热过程	变形	应力
	室温	原长	无
	加热	膨胀受阻	压应力
	冷却	收缩受阻	拉应力
	最终状态	原长	拉应力

### 三、焊接的不均匀受热是导致应力和焊接变形产生的主要原因

焊接温度场是一个不均匀的温度场,图 8-1 是一个焊接温度场的示意,离焊接电弧越近,温度越高,远离焊接电弧的区域基本上不受温度的影响。在焊接熔化过程中,温度高的区域,热膨胀大,必然会形成温度低、膨胀小的区域压缩膨胀大的区域;焊接冷却过程中,冷却快的区域必然受到冷却慢的区域拉伸,形成拉伸应力,由于焊接温度场不仅仅在横向、纵向存在差异,在厚度方向上也存在差异,这种力的相互作用非常复杂,只能从趋势上定义,厚度上的温度差异更容易导致角变形的产生,横向、纵向温度差异导致尺寸变短。在生产实践中,要老老记住,焊接变形的主要特征是焊缝变形的方向是焊缝向焊接平面的下方走,角变形垂直焊缝向上走,这一点是制定焊接调修和焊接顺序的重要依据。

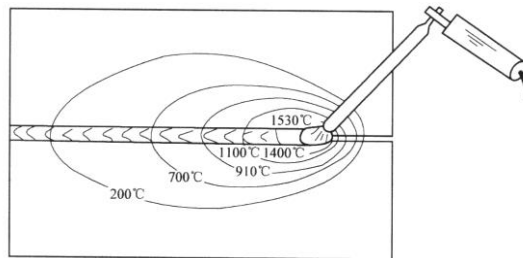


图 8-1 焊接温度场示意

## 第二节 焊接变形的影响因素和解决措施

焊接变形的影响因素非常多，也非常复杂，以下是一些主要因素：

### 一、焊接方法的影响因素

不同的焊接方法，焊接变形会有显著的差异，同样的结构，不同方法焊接出来的效果是决然不同的，如 TIG 焊接变形要大于 MIG，激光焊接变形要远小于 MIG，自动焊接变形要小于手工焊接，根据具体产品结构和性质，制定合适的焊接方法。

### 二、拘束度的影响因素

拘束度就是焊接过程中，限制结构移动的卡紧力。拘束度越大，焊接变形越小，液压卡具的卡紧力要大于气动卡具的卡紧力，抑制焊接变形的能力要强一些。

### 三、结构刚度的影响因素

焊接结构本身刚度越大，焊接膨胀和收缩对结构的影响就应该最小，因此，适当加大结构刚度会减少焊接变性。如结构段焊密集些或加一些临时刚性固定块，可以减少焊接变形，图 8-2 是加刚性固定块减少焊接变形的示意。通过增加结构刚度减少焊接变形的例子在实践中非常普遍，如增加临时横梁或虚假结构的办法增大结构刚性，完成后再去除，是一个简单易行的办法。

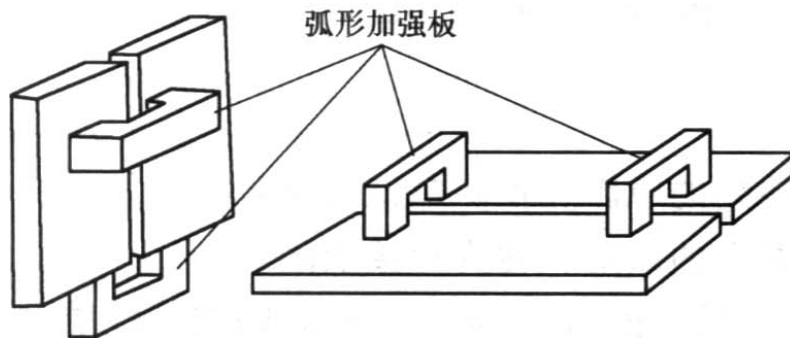


图 8-2 刚性固定块示意

### 四、焊接热输入大小的影响

过大的焊角或过大的焊接规范，都会使焊接热影响区过宽，收缩过大，相应焊接变形和应力也增大，因此，严格限制焊角大小和焊接规范过大在某些场合是解决焊接变形的很好措施。

### 五、焊接顺序的影响因素

通过适当的焊接顺序，可以抵消焊接内应力和增大结构刚性，焊接顺序的制定因地、因件而异，不是唯一的，焊接顺序的制定要记住正确分析力的方向，一般讲，自由状态

下，一次焊接变形大于二次焊接，而在卡具的作用下，一次焊接变形要小于二次焊接变形，卡紧力越大，该现象越明显，这条是制定焊接顺序必须要考虑的首要前提，尤其自动焊接时，更是这样。焊接顺序虽然没有一个固定规律，但还有一些基本原则无论在什么场合都是适应的，如：

- 先短后长（先焊接短焊缝，再焊长焊缝）；
- 先里后外（在一个结构上，先焊内侧焊缝，再焊外侧焊缝，避免外侧对内侧的影响而不好处理）；
- 先中心后两侧（从结构中部开始向两侧焊接，使膨胀和收缩对结构影响最小）；
- 先平后仰（先焊接平位置焊缝，最后焊接不好焊的位置）；
- 最后焊接具有最大收缩的焊缝；
- 对于一个焊道，一旦开始焊接后，就不要间断，一直焊完；
- 对于对称焊接，最后一道焊道要给焊接变形留一定收缩空间，保证最后焊接的焊缝有变形的空间，而没必要在工装卡具上做出焊接反变形。

### 第三节 焊接变形的调修方法

无论采用什么样的措施，完全避免焊接变形是不可能的，适当的调修是必要的，但过大的调修会使结构产生裂纹，调修主要有火焰调修、机械调修、热冷综合调修。

#### 一、火焰调修

对于自动焊接后的大部件，由于变形不是很大，单独采用火焰调修是完全可行的，简单易行。图 8-3 是火焰调修大部件的工作示意。火焰调修过程中，如果能够产生调修区域的急冷效果，会使调修效果更好，记住全部均匀受热不会产生调修目标。



图 8-3 火焰调修大部件工作示意

#### 二、机械调修

对于焊缝规则混乱，很难判别调修受力方向的结构，可以采用机械调修的方法，图 8-4 是机械调修底架前端的示意，机械调修采用调往过正的原则，但机械调修不允许出裂纹，如任何一处开裂，该种工艺方法都是禁止的，要考虑火焰调修和机械调修相结合。过大焊接变形，禁止纯机械调修。



图 8-4 机械调修示意

### 三、热、冷综合调修

热、冷综合调修是最普遍使用的铝合金焊接变形调修方法，因为单纯的火焰调修调修量有限，机械调修有时对结构产生危害，热、冷综合调修是利用外力（机械或重物）使结构产生一个过变形，但该变形是弹性变形，随着外力的去除自然回弹到原位置，在外力作用下，进行火焰加热，会使材料屈服点迅速下降，原有的弹性变形会有一部分转变为塑性变形，成为永久变形保留在结构中，当外力去除后，这部分保留下来的变形就成为调修变形而实现结构调修。图 8-5 示意了侧墙纵向产生挠度变形后，用重物将其挠度压回，然后用火焰稳形的工作示意。



图 8-5 综合调修示意