

大型结构件焊接变形的控制方法



大型结构件在实际生产中是指体积庞大、自身质量大、由结构钢焊接而成的零部件，随着机械工业的发展，大型结构件不仅在工业生产中被广泛应用，而且对其尺寸精度和形位公差提出了更高的要求。本文从焊接变形产生的机理角度进行探索，提出了减少焊接变形的措施，并对焊后减少焊接应力、焊接变形矫正等方面提出有效的解决方法。



图 1：大型结构件

一、焊接变形产生的机理

众所周知，焊接过程是利用电弧热、物理热、化学热等热能将母材金属及焊材融化形成焊接熔池，熔池凝固从液相转变成固相的结晶过程，本质上是一个冶金过程。焊接凝固和铸造凝固虽然都经历结晶成核、长大的过程。但前者是非平衡凝固，后者是平衡凝固，二者有很大区别。

1、焊接熔池体积小，冷却速度快。其平均冷却速度高达 $100^{\circ}\text{C}/\text{S}$ ，约为铸造的 104 倍。所以焊缝金属中极易形成气孔、裂纹、夹杂、偏析等缺陷。

2、熔池中的液态金属处于过热状态，熔池中心与边缘的液态金属温度梯度比铸造高103-104倍。

3、熔池在运动状态下结晶，结晶前沿随热源同步移动，结晶主轴逆散热方向并向热源中心生长，到焊缝中心区停止生长。此区是杂质易聚集区。

4、母材融合线上存在大量现成表面，在半融化晶粒上形核后外生长成联生结晶，表现出焊接熔池非均质形核的特点。

焊接过程的这些特点使得结构件在焊接过程进行当中，当其局部受热时，因受其周围构件约束不能充分伸展，产生压应力；当其冷却时，因焊缝收缩而产生拉应力，使焊件产生弯曲变形。故当焊接过程结束后，焊件内部既存在着压应力又存在着拉应力，既存在着弹性变形又存在塑性变形，焊缝内部因焊缝收缩产生压应力，焊缝周边的母材金属因受拉而产生拉应力。可以说这些应力和应变的产生是不可避免的。因此，我们应利用此机理对焊接结构件从结构设计、焊接工艺因素两个方面控制其对焊接变形的影响。

二、结构设计方面应注意的问题

1、在结构许可的情况下尽量减少焊缝数量

焊缝数量少，需要输入的焊接热能就小，焊接变形就会减小。某厂生产的天车底座其上下平面原来按形状分别由4-6块钢板拼焊而成，焊接变形大且难以矫正，后上下底面改用整板下料制作，减少了十几道焊缝，焊后整体变形很小，节约了工时和焊材，效果十分显著。用钢板焊接的箱体类，若厚度在10mm以下，可先将钢板弯曲成一定形状然后再进行焊接，这样不但可以减少焊缝数量，使焊缝对称和外形美观，而且可以提高构件刚度，减少构件变形。某厂生产的各种油箱、水箱，原来用6块钢板在棱边处焊接，刚性差，焊接变形大，需要焊6道焊缝。后改为前后面折边，两端封板，这样只需下4块板，焊4道焊缝即可，且刚性好，焊接变形小。

2、合理设计焊缝形式及尺寸

对接焊缝的受力状况好于角焊缝，因此，在可能的情况下优先采用对接焊缝。众所周知，焊缝尺寸越大，须填充的焊接材料就越多，焊接时输入焊件中的热量就越大，焊缝收缩时产生的内应力就越大，焊件的焊接变形就越大。因此，在满足强度要求的前提下应尽量减小焊缝尺寸。

3、焊缝位置应尽量对称布置

在焊接过程中，焊件因局部受热和快速冷却内部产生压应力和拉应力而产生应变。当焊缝位置对称时，焊缝冷却时产生的应力和应变就可以相互抵消一部分，整体上就可以得到较小的变形。缝位置应尽量布置在构件刚度较大的地方，在其它条件相同的情况下，焊缝所处位置刚度越大，其焊接变形相对要小，对控制焊件的整体变形有利。

4、焊缝位置避免集中和重叠

当焊缝相对集中和重叠时，热影响区相互影响，不仅使热影响区的母材金属因反复加热

而变得晶粒粗大，机械性能下降，而且使得变形加大，影响焊件尺寸精度。因此，应将焊缝尽量错开，各条焊缝之间的距离应保持在 100mm 以上。

三、焊接工艺设计应注意的问题

1、保证下料尺寸合理准确

下料尺寸准确与否直接关系到构件的尺寸精度，进而直接影响构件的组焊精度。下料尺寸偏短，则焊缝组焊间隙就偏大，所需填充的焊接材料就多，焊件所受的热量就越多，焊件的焊接变形就相对要大，通常焊件组对间隙要小于 3mm。对型材，若为热切割方式下料，则要求留少许余量，切割后打磨掉余量。

2、控制组合胎具尺寸精度

组合胎具的精度是保证焊接件组焊尺寸准确与否的关键，若组焊胎具的偏差过大，结构件的组焊尺寸精度的保证就无从谈起。对大型结构件，不但要控制其纵横轴向的尺寸偏差，而且还要控制关键截面的对角线偏差。通常要求大型组焊件组焊胎具的线性尺寸偏差在千分之二以内。另外，亦应对组合平台的平面度加以控制，平台的平面度过大，工件压紧后会产生变形，造成工件组焊后的平面度偏差过大。通常，控制组合平台的平面度在 3mm 范围之内。

3、选择合理的焊接方法

焊条电弧焊作为一种常用的焊接方法因其简单方便，适应性强而在生产中得到广泛的应用。但缺点是效率低。埋弧自动焊因输入电流大、熔敷效率高而在长焊缝连续焊接的大型工件中得到较多应用，但它不适应井架、钻台等较短焊缝的焊接。CO₂ 气体保护焊因其电流密度大、焊丝熔率高、热影响区小、焊接变形小、厚板薄板均能焊接、焊接成本低、生产效率高而越来越多地在焊接领域中得到推广应用。目前所需要解决的问题是焊接飞溅大、当 CO₂ 气体纯度低于 99.5% 时焊缝中易产生大量的气孔，这可以通过采取使用高纯度 CO₂ 气体，配以使用药芯焊丝、以及使用混合保护气等措施加以解决。

4、选择合理的焊接工艺参数和焊接顺序

通常，大型结构件焊缝尺寸都较大，需填充的焊接材料多，输入焊接热能大，焊件的变形相对要大，且焊缝内部易产生缺陷。因此，对于焊缝尺寸较大的焊接结构件（通常指角焊缝焊高尺寸 6mm 以上）可采用适当的小直径焊条（丝）、小电流、大线速度、多层多道焊等焊接工艺来控制焊接变形。但应注意，过小的焊接电流会导致焊不透等缺陷。定位焊位置要选在刚性大，焊接变形小的地方，以便定位焊能定位准确；在确定焊接顺序时，对称结构要采取两边同参数同时施焊，以使焊接热变形相互抵消一部分，达到减少焊接变形的目的。自拼车大梁是焊接工字钢结构，采用专用组焊工装压紧定位，两名焊工在两侧从中间用相同的工艺参数同时跳焊。由于焊缝尺寸较大，采用多层多道焊，经过采取以上工艺措施，有效地控制了焊接变形，十几米长的工件其平面度，上下翼板的平行度均控制在图纸所要求的范围之内。

5、使用专用焊接工装

大型焊接结构件由于工件尺寸较大，整体的焊接变形积累值就越大，因此大型焊接件通常都采用专用焊接工装组焊，工件定位后压紧焊接，避免了在自由状态下组焊，工件在工装内始终处于最佳的焊接位置，可以得到较小的焊接变形。如在套装井架制造过程中，在组焊单片时使用单片组焊专用工装，在井架大组合时在专用的铸梁平台上组焊，从而合理的控制了井架的变形问题。

四、焊接应力的消除与焊接变形的矫正

焊接变形与焊接残余应力密切相关，正是因为焊缝内部存在焊接残余应力才导致了焊接变形的产生。若焊缝中存在着较大的残余应力，则在使用过程中会产生应力集中现象，严重的会导致焊缝产生裂纹，造成工件的损坏，给设备造成重大的安全隐患。同时随着工件的使用，焊接残余应力不断释放，又会产生新的变形。因此，在工件组焊完以后，通常要进行消除应力处理和调矫变形，使其能够满足图纸要求和使用要求。

1、消除焊接应力的方法

目前常用的消除应力方法有：自然时效、振动时效和热处理去应力，它们各有自身的特点。自然时效简单易行，无需任何设备，只需一块适当的空地就行，几乎不发生任何费用。但自然时效周期较长，且不能完全消除残余应力，因此对生产周期短，交货要求急的产品不太适应。振动时效因其设备简单、操作简单、生产周期短（通常不超过 30 分钟）、减小应力效果好等诸多优点得到了越来越多地应用。但振动时效只能减小残余应力的峰值而不能消除残余应力，故振动时效对减少现存变形的效果不大但对防止以后使用中将会产生的变形能起到较好地预防作用。热处理整体消除焊接应力的效果最好，在适当的温度下停留适当时间，几乎可将焊接残余应力完全消除。它对重要的小型焊接件来说是行之有效的；对大型焊接件，由于受加热炉尺寸的限制通常不能整体加热消除应力。在焊件变形处局部加热消除焊接应力和应变亦能取得较好效果，但应注意加热温度要严格按国家有关碳钢、低合金钢的标准规定的热处理温度进行。实际生产中局部加热温度较难精确控制，通常用测温计监控工件的实际受热温度。

2、焊接变形的矫正

对大型焊接结构件的焊接变形通常采用机械矫正和热处理矫正两种方法。用机械矫正法矫正焊接变形是目前生产中广为采用的一种矫正方法，它是通过对焊件变形施加反方向的机械作用力来达到矫正变形的目的。不需要复杂的设备，操做起来亦很简单，效果往往不错。缺点是对消除焊接残余应力的效果不明显，在使用过程中随着残余应力的释放会产生新的变形。热矫正是在焊件局部变形处对处于拉伸部分进行局部加热，使其冷却时收缩产生反变形从而达到矫正变形的目的。目前常用的加热方法有火焰加热和电加热两种。热矫正的优点是矫正变形彻底，对任何复杂形状的工件都能取得很好的效果。缺点是对矫正温度要求严格，实际操作中矫正温度不易控制。生产中常把上述几种方法综合使用，如在机械矫正前先进行振动时效处理，对局部变形大的地方辅助于热矫正处理。

综上所述，从设计及工艺两方面综合考虑各种影响焊接变形的因素并采取相应的措施，方能有效地控制焊接变形，取得令人满意的效果。

来源：摘自网络