

# 浅谈焊接过程中的变形及其预防措施

吴国祥

福建省龙岩市农业学校

**[摘要]**机械制造过程中,机械加工与焊接加工占了相当大的比重,尤其是焊接加工,因其工艺、设备简单、生产率高而被广泛采用,但是在焊接过程中容易产生焊接变形,本文论述了焊接加工过程中变形的种类以及如何防止焊接变形供同行借鉴以求达到抛砖引玉的效果。

**[关键词]**焊接;变形;预防

**[DOI]** 10.12252/j.issn.2096-627X.2021.10.1109

在工业生产中,经常需要将两个或两个以上的零件按一定的形式和位置连接起来,根据连接的特点,可以将其分为两大类:一类是可拆卸连接,即不必毁坏零件就可以进行拆卸,如螺纹连接、键连接等;另一类是永久性连接,其拆卸只有在毁坏零件后才能实现,如铆接、焊接等,其中应用最广泛的是焊接。

## 一、引起焊接变形的原因

焊接是指借助加热、加压等手段对工件进行加工处理的方法。电焊时,电弧温度在6000~8000℃左右,熔滴平均温度达到2000℃,碳钢熔池中心温度达到1750℃,金属都具有热胀冷缩的特点,只是不同金属的热胀冷缩系数不同而已。焊接过程中熔池金属以及熔合区附近的金属其热膨胀和冷收缩的时间都很短,换句话说就是快速地膨胀和快速地冷却,所以,焊接变形既有焊接过程中发生的瞬态热变形又有室温条件下的残余变形。

## 二、焊接变形带来的危害

焊接变形是焊接过程中常见的焊接结果,此问题会对本零件产生重大不利影响,极大降低了本零件的加工效果,增加了后续组合加工余量的预留量,增加了加工制造成本,对零件的使用造成一定的隐患,进而影响零件的正常使用。在变形过程中,焊件内部应力状态发生变化,冷却后遗留变形与应力并非暂时出现,而是长期残余的。就焊接工作而言,其残余变形与应力往往是同时产生的,但前者产生的危害要大于后者,其可以使焊件或本零件的角度或尺寸发生变化,进而影响后续的组装与应用工作,甚至影响整体结构的稳定性与承载力,对本零件整体质量造成影响。另外,校正工作所耗费的精力与物力远大于焊接工作,甚至会导致产品报废。了解焊接内应力的发生原理、焊接工作变形规律等要素可以有效减少其危害,因此在实际焊接过程中要注重对相关理论的应用,进而起到良好的预防效果。

## 三、焊接变形的影响因素

### (一)被焊工件的材料

焊接过程的材料不但指母材金属的材料,而且还包括使用的填充金属的材料,众所周知,不同金属材料的热物理性能参数和力学性能参数是不同的。热力学系数决定了热传导系数,热传导系数越小,温度梯度越大,焊接过程中的变形越严重,力学性能(强度、硬度、刚度、弹性、塑性、韧性、热膨胀系数)中热膨胀系数的影响最为明显,焊接变形会随着热膨胀系数的增加而增加。焊母材本身与填充焊接材料在焊接时可以直接参与到熔池或熔合区的物理反应或化学反应,因此材料的选取同样是影响焊接效果的重要因素,若选取不当会导致焊接区出现缺陷,引起焊接区性能变化。因此,为确保最终焊接效果,需要提起对材料选取工作的重视。

### (二)被焊工件结构的影响

笔者曾在一家企业从事水泥非标件的设计与制作,水泥非标件中大部分是焊接件,以TD250斗式提升机壳体为例,其外形尺寸为530×220×2000毫米,框架一般用L30×30×3毫米的角钢焊接而成,四面的封板用厚度为3毫米的Q235钢板焊接,

由于板长且薄,稍不注意就会把本应该焊成矩形的截面焊成平行四边形。笔者与操作工人经多次尝试,最后采用反变形法和点焊、跳焊几个方法一同使用解决了这个问题。

笔者作为人力资源与社会保障局的焊工考评员,多次参与焊工中、高级资格考试的考评,发现有不少考生在管与管对接,管与板垂直接口的焊接过程中,因焊接方法不正确而使管与管对接无法保证180°,管与板对接无法满足90°的情况。总之,被焊工件的结构形状不同就应该灵活多变采用不同的焊接方法。

### (三)工艺方法的影响

同一种母材在不同焊接方式与工艺方法的条件下,其焊接效果存在一定差距,可以说焊接工艺对焊接效果的影响较大。焊接工艺包括了焊机的输出电压、焊接电流、焊接方法、工件的定位方法,焊接的顺序、焊接夹具的使用等。焊接工艺产生的影响主要体现在:一是焊接热源特点,即可焊接功率密度、加热最高温度等要素,这些都影响着焊接过程中产生的热循环要素,进而影响了街头的性能。二是熔池区域保护方式,保护方式包括熔渣保护、气体保护等,这些都是重要的影响因素。三是焊接顺序,焊接顺序在管与管对接时表现得尤为重要。焊接方法中的平焊、立焊、横焊、仰焊的选择也显得不可或缺。如何选择合适的焊接电流?应视焊接方法以及工艺的厚度来合理选择,对于薄板工件如果选择的电流偏大,那么工件容易被焊穿,易造成焊缝咬边,同时也增加了金属飞溅、接头组织也会变化。对于厚板工件选择的电流偏小,那么会造成焊不透、夹渣等缺陷,无法保证单面焊双面成型以及降低接头的力学性能。所以应适当选择焊接电流,焊接时决定电流强度的因素很多,如焊条类型、焊条直径、焊件厚度、接头形式、接缝位置和层数等。

### (四)使用条件的影响

焊接工作需要建立在一定的使用条件要求下才能进行,使用条件的严格程度很大程度上影响了工艺焊接效果。使用条件包括载荷性质、温度水平等,其在高温环境下需要考虑整体结构蠕变问题,在低温环境下需要考虑脆性断裂问题,在腐蚀介质环境下需要考虑应力腐蚀等问题。因此可以说使用条件的严格程度工艺焊接效果成正比,不应脱离使用条件因素来评价焊接性。

## 四、焊接变形的分类及预防措施

### (一)变形分类

焊接工作中的变形结果种类较多,且变形过程较为复杂。从变形形态对整体结构的影响程度方面分析,可以将其分为以下类型:一是局部变形,是指发生在整体结构某个部分或某个结构的变形,此类型对整体结构的影响较小,甚至细小变形对整体使用性能基本不造成影响,此类别的矫正较为简单。二是整体变形,是指整体结构、整体形状、尺寸大小等方面的变化较大,对其使用性能造成严重影响,包括接近报废或已经报废的构件。从变化形状方面分析,主要可分为以下形式:1.收缩变形。焊接尺寸比焊前缩短的现象称为收缩变形,它分为纵向

收缩和横向收缩两种。2. 弯曲变形。弯曲变形的大小以挠度 $f$ 为来度量,  $f$ 是焊后焊件的中心偏离原来焊件中心轴的最大距离, 挠度越大, 弯曲变形越大。3. 角度形。焊后由于焊缝的横向收缩不均匀使得两焊件相对角度发生变化的变形叫角变形。在焊接对接接头、T型接头、搭接接头及堆焊时都可能会产生角变形。4. 波浪变形。此变形形式又被称为“失稳变形”, 大多发生在厚度6mm以内的薄板焊接工作中。出现此情况的原因主要包括: 一是焊接过程中由于横向与纵向的压力较大, 导致其整体结构丧失稳定性, 进而产生波浪形状的变形; 二是焊接过程中由于角焊缝位置的收缩导致整体结构呈波浪变形。5. 扭曲变形。扭曲变形是指构件焊后两端绕中性轴相反方向扭转一定角度, 一般是在装配之后焊接之前产生的。6. 错边变形。错边变形是两块板材在焊接过程中因刚度或散热程度不等所引起的纵向或厚度方向上位移不一致而造成的变形, 主要是装配不良或被焊工件热胀冷缩系数不同而引起。

## (二) 预防措施

1. 焊前预防。焊前预防有反变形法、预拉伸法以及刚性固定法三种。(1) 反变形法是根据预测的变形大小和方向, 在待焊工件装配时造成与焊接残余变形大小相当、方向相反预变形量, 焊后残余变形抵消了预变形量的方法, 调整构建几何形状与尺寸, 使其恢复到要求的标准。(2) 预拉伸法是在薄板焊接时采用预热的作用使变形抵消的方法。通过对机械预拉伸与加热预拉伸方式的应用, 可以使薄板获得预先设定的拉伸与伸长尺寸, 此时在张紧的薄板上进行焊接工作, 焊接后去除预拉伸与加热便可以使薄板恢复初始状态。总之, 此方法适用于薄板平面构件的焊接工作中, 可以有效避免其波浪变形情况。

(3) 刚性固定法是采用夹具固定消除焊接变形的的方法。此方法能够有效减少变形情况的发展, 在焊接工作开展过程中不必按照特定顺序开展。但此方法存在一定的应用不足, 即在大件焊接工作中的应用效果不佳, 容易出现不牢固等问题, 撤出固定后会出现少许变形、较大残余应力等情况。这就表明此方法适用于小件焊接工作中, 即厚度在6mm以内且韧性较好的薄材料。另外, 此方法与反变形法的配合应用效果较好, 比如在形状复杂、小尺寸、成批生产的焊接工作中, 可以御前设置相应的胎具, 这样不仅可以避免变形情况, 还可以提升生产效率与质量。但针对大尺寸工件, 可在易变形位置焊接相应的支撑, 避免焊接变形情况。

2. 焊接过程中的预防。(1) 合理选取焊接方法。焊接方法有很多, 包括平焊、立焊、横焊等方法。焊接工作要以“先短后长”原则开展, 比如针对长度在1m以上的长焊缝, 需要通过逐步焊接、跳跃焊接等形式缩短焊接长度, 避免连续焊接, 这样可以有效减少焊接变形量。(2) 合理选择接头形式。接头形式包括对接接头、搭接接头、角接接头等。针对厚板焊接工作, 可采取多层焊形式; 针对T形厚板焊接工作, 可采取开坡口对接焊缝形式; 针对双面均可焊接情况时可采取双面对称坡口焊接形式, 并按照构建中心线对称顺序开展。(3) 合理选择焊接电流。针对纵向加强肋和横向加强肋的焊接工作可以应用间断方法, 由数名人员对称焊接, 可以同时开展。(4) 合理选择焊接顺序。针对焊缝较多的构件要合理选取焊接顺序, 结合构件结构、焊缝位置、焊接布局等要素合理设置顺序, 按照“较大收缩量焊缝-较小收缩量焊缝”“拘束度较大且自由度较低的焊缝-拘束度较小且自由度较高的焊缝”顺序开展焊接工作。

## 五、焊后矫正

### (一) 机械矫正法

机械矫正法又叫敲击法, 就是用锤子敲击被焊工件, 使工件产生与焊接变形相反的塑性变形, 并使两者相互抵消来达到消除焊接变形的的方法。这种方法适用于低碳钢等塑性较好的金

属材料焊接变形的矫正。

### (二) 火焰矫正法

用氧乙炔火焰或其他气体火焰以不均匀加热的方式引起结构变形, 来矫正原有的焊接残余变形的的方法。一般是将构件的伸长部位加热到600~800℃, 然后让其冷却, 用加热部分冷却后产生的收缩变形来抵消原有的变形。

## 六、常见复杂构建预防变形方法

### (一) 钢架焊接预防措施

钢架焊接工作的开展关键在于确保钢架强度与预防变形, 使其强度满足载荷变化需要, 其预防措施主要包括以下: 一是焊缝尺寸。焊缝的大小与高度都要按照预设标准开展, 焊接工作严格按照标准进行, 坡口处理干净。二是调整钢架焊接顺序。一般按照先腹杆与节点板焊缝, 后上下弦与节点板焊缝的顺序, 在实际焊接中不应集中在某处, 而是需要在节点板之间间隔实施。三是合理选取焊接方法。焊缝尽量选取船形焊接方式。

### (二) 锅炉集箱管接头焊接预防措施

锅炉集箱管接头的焊接工作具有集中、偏向某一侧的特点, 给焊接工作的开展带来一定难度, 导致焊接后往往会出现较大的变形。对此, 可采取相应的预防措施, 具体如下: 首先要选取合适焊接顺序, 选取跳焊顺序开展, 在第一根集箱位置间隔2~3个管接头焊接一个接头, 第一根集箱完毕后选取同样方式焊接第二跟, 以此进行接下来的焊接工作。此顺序焊接完毕后, 补充剩余的焊接部分。经过第一轮的焊接后, 大部分的管接头温度已经降为适宜温度水平, 经过反复跳焊可以在确保适宜温度环境下完成焊接工作, 进而最大限度减少变形的发展, 提升焊接质量水平。其次要消除残余应力。此方法能够解决应力集中的问题, 进而避免变形情况, 消除方法较多, 主要包括: 一是自然时效, 此方法的应用周期较长, 难以适应当下生产需求。二是热时效, 此方法消耗能力较多, 需要建设相应的场地与设备, 需要投入较多资金, 且其消除效果不稳定, 不同的炉况会产生不同的消除效果。三是振动时效, 此方法具有一定的便利性, 但其消除率较低。其工作原理是借助工件的共振效果, 对工件施加应变应力, 使其内部吸收能力, 降低工件内部的残余应力, 使其尺寸精度趋于稳定。四是豪克能消除, 此方法的消除率较高, 可达到80%~100%, 产生的压应力处于理想水平, 对焊接效果有极大益处。此方法的消除原理在于借助大功率豪克能推动冲击工具以高频冲击物体表面, 此过程可产生每秒2万次以上的频率, 这一高频、高效特点, 会导致金属表面产生加大压缩力, 进而产生压缩塑性变形。另外, 在实际应用过程中, 它能够改变原有应力场, 对冲击部位进行强化, 进而避免焊接变形或开裂情况的出现。

## 参考文献:

- [1] 姜海城. 矿用电缆槽焊接变形的预防与矫正[J]. 煤矿机械, 2020, 41(03): 133-134.
- [2] 娄晓路. 钢闸门制作过程焊接变形的预防和控制措施研究[J]. 中国金属通报, 2020(02): 255-256.
- [3] 王琨. 航空小结构件焊接变形预防及控制[J]. 焊管, 2019, 42(11): 56-60.
- [4] 陈争军. 浅谈钢闸门制作过程焊接变形的预防和控制[J]. 杨凌职业技术学院学报, 2019, 18(01): 14-17.
- [5] 王星星. 试论焊接变形的影响因素及预防措施[J]. 机械管理开发, 2018, 33(04): 55-56.
- [6] 中国劳动社会保障出版社《焊工工艺学》

作者简介: 本文作者为机械高级工程师、机械高级讲师、多次参与ZL50装载机的设计。