

集装箱船厚板焊接质量与变形的控制

张 彪

中船(天津)船舶制造有限公司 天津 300456

【摘要】随着国际贸易的快速发展,对集装箱船,特别是大型集装箱船的需求持续增长;然而,集装箱船的扭转箱结构采用多层多通道焊接来焊接大而厚的高强度钢板。焊接变形复杂且难以控制,结构精度直接影响集装箱在使用过程中的装卸效率。

【关键词】焊接变形;大厚板多层多道焊;高效有限元分析

针对厚、高强度、难焊的钢板,从钢板材料性能、焊接材料选择、坡型选择、焊接方法等方面详细记录和分析了EH级厚板的生产过程。特别是在生产过程中引入了内部质量和变形控制。

1 分析面外变形控制措施

对称焊接控制平面的外部变形。对于厚板的多层焊接,控制焊接变形的常用方法是采用对称顺序焊接技术,即上下交替焊接,每次焊接后焊接接头反向。基于OpenMP多线程并行技术和虚拟组件技术,采用热塑性有限元法对焊接温度场进行汇总,以显示第二次焊接过程中的最高温度分布,即熔池形状。焊接后平面外部变形向下弯曲,变形小于1mm,这种方式虽然可以有效控制焊接平面的外部变形,但焊接性能较低,对电梯设备有一定要求。

变形控制外部变形。焊接前施加一定的变形抗力,控制厚板焊接表面在硬载荷下的外部变形。很难确定压铸件的重量来控制焊缝的变形。尽量用铸铁,保证焊接时外表面不会变形。数值计算中很难考虑压载的施加和释放。本研究基于刚度均匀性原则,提高焊接结构的刚度,使焊接时外侧焊缝不变形,模拟钢板等效焊接变形应力的控制效果。焊接路径单元激活技术用于热分析,在焊接前不参与焊接过程,只提供与钢筋应力相对应的焊接结构的刚度。同时去掉重量后会有一些抛物线变形。焊接结构的刚度是一样的,用来估算端子更换的应力效应,所以不考虑端子放电后的回弹。此外,当焊接结构具有足够的刚度或结构的当前刚度与气缸的张力相匹配时,通常拆卸气缸。此时焊接结构的刚度可以提供拉线拔出后相同的应力强度,回弹变形可以忽略。当焊接硬度相当高时,使用铸铁后焊接表面外部变形;在严格的约束下,减少了外部变形。如果在焊接前施加反向变形,可以有效地补偿外部变形,并获得更高的焊接接头设计精度。同时,由于反向变形,焊接接头本身的刚度略有变化;施加的反向变形不应与预期的焊接变形相匹配。经过计算分析,1mm的反向变形可以很好地控制焊

缝的外部变形。因为外部变形是线性的,所以通过坐标变换将1mm反向偏移应用于焊缝的中心。在其他地方,根据线性插值法,连续施加相应的反向位移;由于刚体运动的限制,没有必要在焊接接头的两侧施加相反的位移。在焊接工艺(对称顺序焊、压力焊和反向变形焊)的基础上,选取焊缝上的点,分析焊缝表面变形的发展。对称顺序焊接和反向变形可以控制外焊变形,提高设计精度,但效率较低。

2 优化坡口控制面外变形

对称顺序焊接要求结构实时反向焊接,必须加载和释放反向变形的重量。焊接变形控制虽好,但实际设计效率太低。在优化厚板形状时,采用非对称的上下齿廓,利用下焊缝的外部变形来修正上焊缝的外部变形,具有焊接性能高、控制精度高、无反向刚性应力的优点。建立了各种厚板成品零件的切割和焊接模型,将焊接区域划分为网格密集的单元。根据中心位置、焊缝宽度、焊缝深度和剩余高度,通过自编程序自动选择和配置焊缝。同时也考虑了焊接材料的沉积和回流等实际物理现象。厚板多层焊接成品格网数量多,焊接工艺复杂。用OpenMP并行计算的热塑性有限元分析可以预测温度场和外部变形,为第一次焊接提供熔池。第三次焊接后,厚板在焊缝底部有较大变形;但由于以下七个通道,外焊变形得到了彻底的修正,最终几乎没有外焊变形。通过对比常规焊接变形的发展和焊接角度的优化可以看出,常规焊接变形增大,直到焊接结构反向,使得焊接结构相对刚性,反向焊接变形不足以修正之前的形状变形。优化的焊接角变形也增加,直到焊接结构反转并且焊接结构的刚度保持较低。反向焊接变形校正前外部焊缝的变形,直到焊缝的结构刚度承受焊缝的变形。

3 焊接过程中的注意事项

(1)焊接前的清洁。焊接前应清理焊接区域,清除焊角两侧20mm范围内的水、油、残渣、氧化物和腐蚀,可减少焊接过程中焊接杂质和氢的来源。

(2)使用点焊。CO₂半自动焊,焊接材料为GFR-81K2,

预热要求与正式焊接一致。预热采用环氧乙烷火焰，点焊长度 $\geq 100\text{mm}$ ，高度 $\leq 6\text{mm}$ ，点焊间距约 500mm ，点焊无裂纹、孔洞、夹渣等缺陷。

(3) 选择弧形板和抽取板。抗扭箱采用超厚板，弧形板和拉延模板的选择将直接影响接头端的质量。超厚板焊接过程中，引弧板和抽芯板不能简单地合二为一，坡口形状必须与主材一致，引弧板厚度差，抽芯板和焊接要控制在 2mm 以内。

(4) 边坡的准备。焊缝的形状和角度直接影响焊接金属的沉积和结晶过程。土质边坡以X形为主，上坡 50° ，下坡 70° 。上坡深度和焊接留下的根部占板厚的 $2/5$ 。在实际焊接过程中，经常因焊接变形而焊接大量车架，翻转后的碳化工作量大大增加。为了减少翻转后的焊接变形和碳化损失，根据实际情况对焊接角度进行了改进。根部厚度和位移角的减小减少了主焊缝中的金属填充，既减少了焊接材料的损耗，又大大减少了回收后的工作量。改进后， 85mm 厚钢板的切割成型可三次完成。

(5) 焊接参数。厚板电弧焊的两个关键点是焊接

的内在质量和变形。通过适当提高预热温度和热输入，可以减少变形，从而减少结晶裂纹的倾向。 85mm 厚的钢板由于钢板的厚度，焊接参数很强。为了防止裂纹凝固和根部熔化，前两个和后两个用小电流快速焊接。

(6) 控制厚板的变形。对于 85mm 厚板接头，实际生产中采用如下焊接顺序:第 $1\sim 10$ 道正面焊，反面焊，背面碳弧气。完成后焊接 $11\sim 22$ 次，然后返回，焊接 $23\sim 48$ 次，最后返回 $49\sim 62$ 次。焊接过程中需要注意的是，焊缝的电加热要跟在车前后，温度要保持在 100°C 以上，焊接过程中建议在板材两侧放置 10t 切片，以减少焊接时的变形。

总之，改进坡道设计优化，提高焊接设计效率。如果厚板对接焊中上下焊缝的数量在不对称的X斜面上 $3:7$ ，这种方法将对控制平面外焊缝的变形有更好的效果。

【参考文献】

[1]蔡春龙.船体结构焊接变形的预测与控制研究进展.2021.

[2]刘建志,关于集装箱船厚板焊接质量与变形的控制.2022.