

焊接工艺对不锈钢焊接变形的影响

罗 坚 郑银清 杨 利

广船国际有限公司 广东广州 511457

摘 要: 在我国的船舶制造业中, 船舶焊接技术是造船过程中的关键性技术之一, 直接关系到船舶的整体质量。在船舶焊接中, 常采用熔敷效率高、操作简便、自动化的焊接工艺。近年来, 国内各大船厂根据现代造船要求, 对焊接工艺进行了改进, 以实现造船总装化、管理精细化。在不锈钢焊接中, 焊接工艺会对焊接质量造成一定的影响, 导致不锈钢焊接变形。基于此, 本文分析了焊接工艺对不锈钢焊接变形的影响, 并对解决措施展开了讨论。

关键词: 船舶; 不锈钢焊接; 焊接工艺; 变形; 影响

Effect of welding process on welding deformation of stainless steel

Jian Luo Yinqing Zheng Li Yang

Guangzhou Ship International Co., LTD. Guangzhou 511457, China

Abstract: In China's shipbuilding industry, the ship welding technology is one of the key technologies in the shipbuilding process, which is directly related to the overall quality of the ship. In ship welding, the welding process with high deposition efficiency, simple operation and automation is often used. In recent years, the domestic major shipyards have improved the welding process according to the requirements of modern shipbuilding, in order to achieve the final assembly of shipbuilding and fine management. In stainless steel welding, the welding process will have a certain impact on the welding quality, resulting in stainless steel welding deformation. Based on this, this paper analyzes the influence of welding process on stainless steel welding deformation, and discusses the solution measures.

Keywords: Ship; Stainless steel welding; Welding process; Metamorphosis; Influence

近年来, 随着工业技术水平的提升, 焊接技术被广泛应用于船舶制造业中, 在船舶的大、中、小合拢, 平面、曲面、平直立体分段, 管线法兰焊接、型材部件装焊等工序中, 都需要应用焊接技术来实现^[1]。不锈钢焊接常用于不锈钢管及其附件的焊接和焊接, 焊接时主要采用纯二氧化碳气体或二氧化碳和氩混合气体的半自动或自动焊接, 即 MAG 焊接, 也可采用钨极氩弧焊方式进行焊接。对于二氧化碳半自动或自动焊接, 常采用 $\phi 1.0\text{mm}$ 和 $\phi 1.2\text{mm}$ 的牌号 1Cr18Ni9Ti 焊丝、316L 实芯或药芯焊丝; 对于钨极氩弧焊, 则采用 $\phi 1.6\text{mm}$ 和 $\phi 2.4\text{mm}$ 的粗丝焊丝。

一、不锈钢焊接变形概述

在不锈钢焊接过程中, 由于作业环境温度较高, 导致焊接材料发生热膨胀。当温度降低后, 焊接材料会发生收缩。在冷热交替的作用下, 焊接材料会发生变形。一般来说, 当持续对焊接材料的同一侧进行焊接时, 其变形明显大于焊接材料两侧交叉焊接的变形^[2]。这是由于在一定时间内, 持续对焊接材料的同一侧进行焊接, 其冷热循环仅作用于同一侧, 会明显增加变形量, 而焊接热量及热膨胀增长, 会造成焊接区域实际温度加速升高, 使焊接区域的热导率、柔韧性降低。

二、焊接工艺对不锈钢焊接变形的影响

(一) 焊接顺序造成的影响

焊接顺序不同, 焊接件的变形程度存在差异。如果焊接顺序出错, 会对应力集中造成影响, 导致焊接质量不理想, 严重者还会造成船舶不合格、发生重大安全事故。焊接顺序主要会对焊接件的应力分布和应力状态产生影响, 这是由于金属受热时其内部会发生较为复杂的变化, 任意参数的变化都会产生影响, 比如加热温度、时间、冷却时间和加热顺序等^[3]。因此, 即使是轻微的焊接顺序变化都会使金属内部的应力大小和状态改变, 从而会影响其安全性和稳定性。一旦焊接顺序不合理, 就会造成不锈钢焊接变形, 因此, 焊接

顺序是船舶不锈钢焊接中需要着重注意的工艺要点。如果必须改变焊接顺序, 同时可能带来后续影响, 作业人员可以采取分段焊接的方式, 尽量将负面影响降到最低。总之, 焊接顺序应当根据船舶的实际情况来进行明确, 同时要要进行严格的质量检查, 从而保证焊接质量。

(二) 焊接方法造成的影响

在船舶不锈钢焊接过程中, 如果焊接方法不正确很容易导致焊接变形。目前船舶制造中不锈钢焊接常用纯二氧化碳气体、MAG 焊接和钨极氩弧焊方式进行焊接, 这种焊接方法是利用 CO₂ 等气体隔绝大气, 从而提升熔敷效率, 降低变形^[4]。在 MAG 焊接中, 当对接接头在单道焊时, 焊缝横向收缩较大, 单面焊时由于坡口角度大, 板厚上下收缩量不同, 会产生角变形, 双面焊时横向收缩减小, 角变形也随之减小。如果采用 MAG 焊接进行多层焊接, 则第一层焊缝的横向收缩符合正常规律, 接近堆焊的变形规律, 收缩变形较小, 其纵向收缩也比单层焊接小。因此, 作业人员应当根据焊接件的不同以及变形要求, 采用相应的焊接方式, 保证焊接件的质量。

(三) 焊接参数造成的影响

焊接参数主要包括焊接电流和电压等参数, 这些参数如果发生改变会给不锈钢焊接作业造成巨大的影响。比如电弧焊是利用电弧放电产生热量, 使焊条和焊接件相熔, 冷凝后达到焊接目的。因此, 电流的大小直接关系到焊接的温度和焊缝周围部分。一旦电流较大, 空气会升至较高温度, 导致焊缝处温度升高, 使焊接作业加快, 这对于作业人员的焊接工艺要求较高; 而电流较小, 空气升温较慢, 或环境温度低, 会导致不锈钢焊接变形。在实际作业中, 大型不锈钢焊接件或焊缝在焊接时通常需要较大的电流, 从而达到足够的温度, 以免温度过低导致不锈钢焊接件变形。如果焊接件比较小, 可以采用小电流进行焊接。

(四) 焊接件定位造成的影响

在船舶的不锈钢焊接中,焊接件的定位和固定也是导致不锈钢焊接变形的主要因素之一。在实际进行焊接作业时,焊接件的定位是关键性工序,在定位后需要对焊接件进行固定。一旦定位错误会引发应力集中、变形等多种问题,不仅会影响焊接件的使用功能,降低焊接件整体质量,还会造成材料的浪费。在船舶的不锈钢焊接中,需要提前对焊接件的受力方向和受力大小进行计算,一旦确定后不能临时变更,焊接件定位是决定受力方向和受力大小的关键因素。因此,在进行不锈钢焊接前,作业人员应当加强焊接件的定位,从而保证焊接质量,避免发生较严重的变形。同时,焊接件的固定也是导致不锈钢焊接变形的原因之一,焊接件在定位后应当进行有效固定,以免其松动移位,引发变形。不锈钢焊接件在焊接过程中会发生组织、形态等方面的变化,一旦焊接件未能有效固定,受到外力作用下,焊接件会松动、变形,严重影响焊接件的使用功能和整体质量。焊接件的定位和固定对作业人员的专业技术和实践经验要求较高,在进行不锈钢焊接时,作业人员要尤其注意焊接件的定位和固定,以免发生变形。

三、防止不锈钢焊接变形的焊接工艺控制措施

(一) 设计措施

1. 尽量减少焊缝数量

焊缝熔合线范围内的金属面积,即焊缝截面积,焊缝截面积与坡口尺寸、冷却后塑性变形、收缩变形成正比。因此,在进行焊接设计时,应当尽量减少不必要的焊缝数量,采用冲压件、型钢等代替焊接件。同时,还要选择恰当的肋板形状,合理安排肋板位置,通过减少肋板数量来减少焊缝数量,从而降低变形矫正工作量。

2. 合理选择焊接尺寸和形式

焊接尺寸与焊接变形、焊接工作量有密切关系。焊缝尺寸越大,焊接变形和焊接工作量就越大。因此,应当在保证结构稳定性的基础上,尽量减少焊缝尺寸,采用较小的坡口尺寸。如果板缝较大,可以采用X型坡口,从而降低熔敷金属量,避免变形的产生^[5]。如果采用T型接头,应当选择最小的焊脚尺寸,并采用断续焊缝形式,从而减少变形。值得注意的是,当经过计算决定采用T接头角焊缝时,应当采用双面连续焊缝,尽量缩小焊脚尺寸。对于受力较大的T型或+型接头,在确保强度的前提下,应当采用开坡口的角焊缝来减少熔敷金属量,从而避免变形。

3. 合理设计结构形式和焊缝位置

在进行结构设计时,技术人员应当确保总装时的焊接变形量和工作量最低。对于薄板结构应当减少焊脚尺寸和骨架间距,从而避免出现波浪变形。除此之外,技术人员还应当充分考虑不锈钢焊缝的横向收缩多于纵向收缩,因此,尽量避免设计曲线形结构,将焊缝位置设置在与变形量最小的方向平行的位置上,并且尽量对称于截面轴线,或接近中心线,从而减少梁、柱的变形。

(二) 工艺措施

1. 焊前预防措施

焊前预防措施主要对焊接应力进行控制,可以采取反变形法、刚性固定法和预拉伸法。①反变形法是在焊接件装配时制造与焊接残余变形大小相等、方向相反的反变形量,在完成焊接后,预变形量与焊后残余变形进行抵消,构件可以恢复到满足设计要求的形状和尺寸,可以采用弹性、塑性或弹塑性预制反变形;刚性固定法是使用刚性胎具或夹具来固定焊接件,从而起到限制变形的作用。这种方法常用于刚度较小的结构,能够有效地减少角变形、弯曲变形和波浪变形。结构刚度越大,这种方法的控制效果就越弱;③预拉伸法是利用机械或加热方式对焊接件提前进行拉伸或使其伸长,此时再进行焊接装配,完成焊接后将拉伸或加热装置去除,不锈钢构件会恢复至原始状态。这种方法常用于薄板平面构件,能够有效地防止波浪变形的出现。

2. 焊接过程控制措施

在焊接过程中,通过对焊接方法、参数、顺序进行控制,能够有效减小焊接残余应力,减少焊接变形量^[6]。①焊接顺序,先焊接

短焊缝,之后进行长焊缝焊接作业。如果焊缝超过1m,则需要两端、中间交替焊接,不可连续焊接。作业人员可以采用跳焊预留焊接长度、逐步退焊的方式,预留出100~200mm的纵向收缩变形补偿长度,从而减小变形。如果构件设计的焊缝较多,应当根据设计结构和焊缝位置,先焊接收缩量较大的位置,再焊接收缩量小的位置。如果同时存在拘束度较大、不能自由收缩的焊缝以及拘束度较小、能自由收缩的焊缝,应当优先焊接前者;②焊接方法,对于厚不锈钢板,尽量采用多层焊接方式。对于板厚较大的T形接头,应当采用开坡口对接焊。对于双面均可焊接的情况,应当采用双面对称坡口,并且使多层焊的焊接顺序与构件轴线对称。纵向和横向加强肋的焊接应当采用间断焊接方法。中心板和内环板应当由多名焊工同时对称焊接;③焊接参数,对于不同的焊接参数应当采用能量密度较高的焊接方法,利用较小的热输入对焊接温度场进行控制,从而减少不锈钢焊接变形。比如,屈服强度低于345MPa且淬硬性较弱的钢材可以采用较小的焊接热输入,尽量不进行预热或者降低层间温度和预热温度;④强制冷却,通过这种方法迅速疏散焊缝处的热量,使金属受热面积减小,从而降低焊后残余应力,避免焊接变形。

(三) 焊后变形矫正措施

1. 机械矫正措施

作业人员在完成焊接后,可以采用压力机、多辊平板机或手工锤击的方式进行变形矫正,这种方法能够对焊件进行静力加压或碾压,从而使新的塑性变形产生,原有的收缩变形将会得到有效延伸,从而达到矫正变形的目的。

2. 加热矫正

加热矫正可分为整体加热和局部加热,其中整体加热矫正是对整体构件进行加热,使其温度升高超过锻造温度,之后再行变形矫正。这种方法常用于较大的变形矫正中。但是由于整体加热会导致焊接件发生冶金副作用,因此,这种方法并不适合在船舶制造业中广泛推广和应用;局部加热矫正是针对焊件局部使用火焰进行加热,当焊件处于高温状态下,材料本身的热膨胀性能受到刚性制约,从而产生新的局部压缩塑性变形,冷却收缩后与焊后伸长变形进行抵消,从而矫正变形。这种方法操作简便,灵活性强,因此,在生产、制造中应用较为广泛。在实际应用局部加热法进行变形矫正时,需要严格控制加热的位置和温度,比如普通低合金钢和低碳钢,应当将加热温度控制在600~800℃之间。

结束语:

综上所述,在船舶制造业中,不锈钢焊接受到焊接工艺的影响,不可避免地会发生一些变形,但是通过作业人员的控制和处理,能够有效地减少变形量,使焊接达到设计要求。此环节离不开先进的设备、高技术作业人员和精细化管理的支持,因此,船舶制造业的不锈钢焊接作业人员应当深入地分析焊接工艺对不锈钢焊接变形的影响因素,在焊接过程中加强设计和工艺控制,全面减少变形量,并且采用恰当的方式进行矫正,从而保障船舶制造中不锈钢焊接件的整体质量。

参考文献:

- [1]李振亮,牛晓民,李希光,杨经纬,谢良成. 不锈钢工艺管线焊接变形因素分析及控制方法[J]. 化学工程与装备,2022,(11):241-242.
- [2]高艳华. 不锈钢焊接工艺及变形控制[J]. 中国金属通报,2022,(03):148-150.
- [3]南芳,柴俊发. 焊接工艺对不锈钢焊接变形的影响研究[J]. 中国金属通报,2021,(09):211-212.
- [4]钟华,周南阳,汤文. 奥氏体不锈钢焊接变形和残余应力仿真[J]. 工业技术创新,2021,08(04):20-30+41.
- [5]姜立岩,韩洪涛. 不锈钢焊接工艺及变形控制[J]. 轻工科技,2021,37(07):27-28.
- [6]张兴品. 焊接工艺对不锈钢焊接变形的影响分析及控制措施[J]. 中国设备工程,2021,(05):109-110.