

浅谈海洋平台不锈钢工艺管道焊接变形控制

刘 春

博迈科海洋工程股份有限公司 天津 300457

【摘要】：海洋平台是我国海上发展的重要装备。在海洋平台的生产中，焊接变形量大，对其的长期安全运行构成了极大的威胁。因此，掌握焊接工艺，有效控制焊接变形，精确预测焊接工艺参数，是海洋平台工程质量控制的关键。对不锈钢管材在焊接过程中出现的变形进行了分析。通过在焊接过程中，采取了适当的焊接顺序和焊接方式、提升技术人员水平等操作对焊接过程中的焊接变形进行了有效的控制。

【关键词】：不锈钢工艺；海洋平台；管道焊接；变形控制

Discussion on welding deformation control of stainless steel process pipeline on offshore platform

Chun Liu

Bomaik Offshore Engineering Co., Ltd. Tianjin 300457

Abstract: Offshore platform is an important equipment for China's offshore development. In the production of offshore platform, the welding deformation is large, which poses a great threat to its long-term safe operation. Therefore, mastering the welding process, effectively controlling the welding deformation and accurately predicting the welding process parameters are the key to the quality control of offshore platform engineering. The deformation of stainless steel pipe during welding is analyzed. The welding deformation in the welding process is effectively controlled by adopting appropriate welding sequence and welding mode and improving the level of technicians.

Keywords: stainless steel process; Offshore platforms; Pipe welding; Deformation control

随着石油资源的日益枯竭，石油和天然气的过度开采，对各种资源的需求也在不断增加，各种限制都促使人们寻找新的能源来源，因此，深海石油的开发将会是世界上最大的能源勘探和开发，而目前，海洋资源的开采主要依靠海洋平台的生产。海洋平台是一种典型的焊接结构，其焊接质量和生产效率将直接关系到海上平台的建设周期、成本和质量，由于其结构复杂、焊接工作量大、焊接难度大、焊缝变形大等问题，对海上平台的长期稳定运行造成了很大的危害。准确掌握焊接工艺，有效控制焊接变形，精确预测焊接工艺参数，是海洋平台工程质量控制的关键技术。

1 不锈钢焊接在海上平台上的意义

与船舶的操作条件不同，海上平台作为长期在海上活动的场所，要承受风暴、巨浪、潮流的冲击与侵蚀，其工作环境更为苛刻，对其施工技术的要求也越来越高，因此需要严格的施工规范和高精度的施工规范，才能保证平台的安全与经济。由于焊缝温度场、应力、应变、组织、性能等因素的综合作用，焊接过程中的温度场、应力、应变、组织、性能等因素都有较大的影响，使得焊缝的变形和残余应力难以预料，且由于焊接工艺、材料等因素的影响，使得焊缝的变形分布更加复杂。在海上平台结构的焊接过程中，由于焊接过程中大量的瞬时热量输入，会引起非均匀的弹塑性变形，从而影响构件的强度和韧性，进而加速疲劳裂纹、应力腐蚀集中、稳定性降低，严重影响平台的施工质量，此外，焊接变形还会影响构件制造精度，

从而最终影响海洋平台整体建造质量。在焊接过程中，仅靠经验难以有效地进行焊接变形的控制，而且操作人员的经验水平参差不齐；而大量的实验测试，则会耗费较大的财力、物力成本，与实际生产要求不符。因此，科学、系统、合理地获取海洋平台构件的焊接工艺参数，并对其进行有效的控制是非常有意义的^[1]。

2 焊接不锈钢管材的变形原因

根据以往的经验，在某些特定的情况下，接近焊接处的温度会升高，金属会有明显的膨胀，而在远离焊接处的冷却金属则没有明显的膨胀性能，并且会在一定程度上阻碍更热的金属的膨胀，从而使工件的金属发生变形。当工件在冷态下，由于热收缩力的存在，这种热收缩力会使焊缝金属的收缩加速，但是，局部的收缩力会分散到工件的金属中，这时，工件的刚性部位没有收缩力，也就不会在工件内产生内应力。同时奥氏体不锈钢具有相当高的热膨胀系数，其热膨胀系数约为碳钢的40%左右，而不锈钢具有高电阻和低导热系数，这些特性使其在焊接时容易产生很大的内应力，如果在焊接时不能有效地控制这种内应力，就会加重变形^[2]。同时，由于不锈钢的液体粘度比较高，所以很难进行焊接，为了保证焊接的顺利进行，在进行焊接时，需要适当的提高焊接电流，因为在进行过程中，由于输入热量的增加，导致了焊缝的变形^[3]。此外，在焊接过程中，如果点焊、固定焊的长度和数量不能满足焊接施工的需要，或顺序不正确，都会造成焊接变形。

3 控制焊接变形的的方法

在焊接过程中，对焊接变形进行了严格的控制。由于焊接后的变形校正效果非常有限，所以，本文主要从焊接前和焊接工艺两个角度探讨了如何控制焊缝的变形，并对其工艺参数的选取进行了探讨。经过多次的焊接实验，得出了较为适宜的控制变形工艺和工艺，详细介绍如下。

3.1 预焊接

在对口之前，先测量管道的坡口壁厚度，如果有偏差，就用砂轮机将内坡口磨平(1:4)，不锈钢管的错边量要小于0.5毫米，管外壁小于1毫米，最大限度地减小因壁厚造成的变形。焊接组对应尽可能减少对口间隙，一般为2~4 mm。管道的周向倾角应该是一致的，倾斜角为 $30^{\circ} \pm 5^{\circ}$ 。

3.2 焊接技术

在不锈钢管道的焊接过程中，对金属夹具的材质和硬度有着严格的要求，根据焊接经验，不锈钢材质对金属夹具的材质要求比较低，在钢管和管件的组合中，一定要保证内壁的平整，如果是同直径的内壁，则要保证错边量的均匀，但偏差不能大于1.5 mm。当出现的偏差超过设计规范时，应根据有关的标准要求及时进行加工和处理。(1)点焊，点焊操作应由专门的焊工进行，并实行标准化的焊接操作，通常应保证点焊的长度为15~20 mm。点焊的硬性要求是：所用焊材必须与根部焊道所使用的填充焊材一致，不得任意乱用焊材；焊接过程要符合正规的焊接程序；根据管子的直径来决定点焊的长度和数目；直径168毫米或以下的管子，必须将管子的焊缝分为四个对称的平面点焊；直径大于219毫米的管子的点焊间隔不能超过130毫米，根据管径的增大，点焊数量可以相应增加，并对称分布的方式增加，如图1。



图1 定位焊示意图

完成后，由专业人员对焊缝进行全面的检查，如有质量问题，应立即组织人员进行维修^[4]。(2)封底焊，采用手工钨极氩弧焊，在封底焊时，按点焊次序进行分段对称焊，首先搭桥焊，然后用砂轮机将搭桥钢筋磨去(注意不损坏母材，清理残

余)，然后进行封底焊。通过这种方法，可以均匀地分布焊缝的内部应力，减少焊接的变形。(3)矫正法焊接，在封底焊接完毕后，如果出现微小的变形，可以使用焊补方法进行焊接。采用管道弯曲表面的另一端进行焊接，通过焊缝的冷却收缩力来控制管道的变形。(4)刚性固定法焊接，在进行焊接之前，将预制好的钢管部分固定在托架上，并严格执行焊接过程之中的规定参数，输出热量需达到将层间温度控制在100摄氏度的效果，以方便对焊接过程中的变形进行控制。(5)反变形法焊接，按照焊接变形的原理，在焊接之前，将两组对的零件在反向方向上留有一定的变形，大约是2毫米/100毫米。若施焊点位于管子下方，则应事先对管子施加一股反作用力，以消除焊接后的变形(沿焊缝两侧各有一股向下的力)，使之均匀且尺寸合适^[5]。(6)预热焊接法，加热工艺焊件在焊前进行加热，可以减少焊缝的温差，降低焊缝的冷却速率，减少焊缝的应力。焊件的焊接前可按焊接尺寸及施工情况进行局部或整体预热。预热温度的大小取决于焊接材料的特性、厚度、温度等因素。奥氏体不锈钢在焊接过程中通常无需预热，但在极少量或几乎没有铁素体的焊缝中，奥氏体焊缝中会出现热裂纹。在此情形下，必须进行预热^[6]。(7)焊接后的热处理法，为避免或消除焊缝的应力腐蚀裂纹，必须对焊缝进行后热处理。普通含碳的不锈钢结构必须经过固溶处理，而含有稳定成分和超低碳的不锈钢结构则要经过稳定和消除应力热处理。焊接后，将整个焊件置于加热炉内，加热速率为100~120℃每小时。将不锈钢焊件均匀加热到965℃，再经过2h左右的保温，再将其以100℃/h的速度均匀降温至200℃，最后将焊件自然冷却到100℃，出炉。

3.3 焊接工人资格

由于不锈钢管的焊接是一种专业性很强的工作，所以从事这一工作的人必须有很高的技术水平和专业水平，总之，要符合相关的条件，施工单位要对焊工进行严格的审查，保证所有参加不锈钢管道的焊工都有相应的资格证书^[7]。

(1)检验合格证书的有效期限，焊工资格审查还必须注重对其有效期的检验，一般来说，从焊工考核通过之日起，如因各种原因而中断，且中断时间长达六个月以上，则须按照标准进行再一次的资质评定和认证。(2)检验测试项目与焊接产品是否符合，焊接工人的考核中，按照标准进行选择合适之母材类别，管径，壁厚及焊接位置，在焊接工人的资质鉴定中，不仅要对其资质进行检验，还要保证焊接方法、焊接材料、母材型号、试件类别等都符合焊接工艺规程。

3.4 机械加工坡口

不锈钢管材在进行焊接时，通常都会配备手工等离子切割抛光设备进行焊接，在此期间，现场管理工作比较困难，焊接工作也比较繁重。采用机械切割技术，既能保证切削速度，又

能极大地方便现场作业和施工,从而达到加工标准化的目的。但是,对于不锈钢管材的加工,必须严格按照工艺的要求,进行标准化的工艺处理,以保证热影响区的均匀分布^[8]。

3.5 工艺管理

在不锈钢管材的焊接变形控制中,为了使变形最小化,可以从工艺控制的观点来保证各工序的标准化。可以从以下几个方面进行工艺控制:(1)严格地控制厚度偏差,保证在可接受的范围之内,对于DN150 mm的管子,通常使用角向抛光机手工抛光,对于DN150 mm至DN300 mm的管子,则需要进行手工抛光。(2)DN150 mm至DN300 mm的管线焊接时,应配有专门的对合夹具,将埋设于管线内的马凳进行固定或连接,以形成整体结构。若在进行焊接操作时,需要对焊口进行热处理,则应在进行热处理前,应立即拆卸夹具,并在热处理完成后禁止对其进行任何配件的焊接。(3)在进行对口作业之前,焊工应进行坡口管壁检查,当坡口管壁与实际有很大差异时,应在进行焊缝时进行厚薄交错,以保证焊缝均匀分布。沿周向的管口倾角必须保证尺寸均匀,并使对口的间隙控制在一个合理的范围之内,通常情况下,对口的间隙应该在2~4 mm之间,只有把这个指标控制在这个范围之内,才能降低金属的充填工作。在零件周边特征部位进行点焊作业时,为了保证点焊的施工效果,需要在进行焊接工作时,点焊长度、厚度应严格控制,焊接长度、厚度应分别大于10~20 mm。(4)现场应用推广不锈钢管的常用充气方式:①预制短管、法兰、弯头和直管(短节),对局部空间较小尺寸较短的管子,采用局部密封(为了防止气体泄漏),在管子两端用海绵、胶皮、纸壳等密封,在管子的一端插上氩气,管子的另一端要开一个小孔,这样可以保证最后的焊缝不会因为压力太大而出现凹痕。②“焊口充气法”从管子的一端或从采油树的法兰开始,用易溶纸、易胶带分隔的一组对,在焊口的两边150-200mm处涂上一层水溶纸,将焊口填满,然后进行充气焊接。③采用“背

参考文献:

- [1] 于建华,张春瑞,吕宝军,刘家员.浅谈海洋平台不锈钢工艺管道焊接变形控制[C].2012中国钢结构行业大会论文集.,2012:192-194.
- [2] 毛晓军.浅析不锈钢管道施工的焊接变形控制[J].中国设备工程,2022(02):113-114.
- [3] 张学彪.不锈钢管道焊接变形的控制分析[J].南方农机,2017,48(14):101.
- [4] 张志富.浅谈不锈钢管道焊接变形的控制[J].科技创新与应用,2014(26):124.
- [5] 屈华鹏,郎宇平,陈海涛.海洋平台用超级不锈钢和耐蚀合金[J].热加工工艺,2015,44(10):5.
- [6] 宁连章.城市污水处理厂不锈钢工艺管道焊接质量控制技术研究[J].工程建设(重庆),2020,3(3):4.
- [7] 郑学庆.厚壁不锈钢管道焊接变形分析及控制方法[J].设备管理与维修,2020(7):2.
- [8] 李天.焊接工艺对不锈钢焊接变形的影响[J].科研,2015,000(050):290-290.
- [9] 康永,张军.探讨焊接工艺对不锈钢焊接变形的影响[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术:278-278.
- [10]何小超、武延鑫、李伟、王后伟、何波波.不锈钢管线焊接变形控制方法适用性分析[J].中国石油和化工标准与质量,2020,40(19):3.

面氩气法”对管道直径较小的管道进行整体焊接。为降低管中的氩气从对口缝中漏出,降低防护效果,提高生产成本,可在焊前沿着焊缝间隙进行焊接。

采用粘结剂,只允许焊工在一次连续焊时,将胶带剥离,这种方式适用于较小直径的管道,既节省了材料,又提高了工作效率^[9]。

3.6 不锈钢管背部防护

(1)在焊接不锈钢管材之前,应该先在管子的背面进行充氩保护,然后再将其放空,然后再将其放空。在焊接时,必须对管子进行连续的充氩。焊接完毕后,再将氩气软管拔出,使其具有良好的内外防护作用。(2)充氩气进口应尽量放置在密闭管道下方,排气口设置在较高的位置。由于氩气的重量要大于空气,所以在下层注入氩气可以确保气体在管路中的浓度,同时也可以起到更好的保护作用。(3)通过内焊的颜色,可以判断不锈钢管材的氩气防护作用,从而可以根据不同的颜色,调节氩气的大小,从而达到最佳的防护效果。不锈钢管材焊接接头的颜色以白色和金黄为主,灰色和黑色的焊缝质量最差^[10]。

4 结论

目前,我国不锈钢管材的焊接工艺多采用手工钨极氩弧焊,本文对钢管在焊缝前进行了管口组对的控制及焊接工艺的控制,使其焊缝的变形最小化。海上平台工艺管线的应用中,采用该技术能极大地保证了工程的质量和工作的顺利进行。但是,这种方法能否精确地控制焊缝的变形,取决于现场的组对和焊接工人的经验,因此,要取得良好的焊接效果,需要具有相当丰富的施工经验。本文介绍了有关不锈钢管线的施工和焊接工艺中的相关经验、方法和适宜的工艺参数。这是我们在大量的不锈钢管线组对和焊接施工实践中得到的经验和证实,以期对读者有所帮助。