

FSRU改装疲劳损伤焊缝打磨工艺探讨

刘立维

上海中远海运重工有限公司 上海 201913

摘要:以某浮式储存和再气化装置改装为例,经过评估,货舱区域部分结构节点的疲劳损伤超过船级社规范要求,需要对焊接接头进行改善以便达到设计疲劳寿命要求。本文简要分析针对焊缝的打磨改善疲劳性能的工艺方法,为其他类似的改装项目提供参考。

关键词:FSRU; 疲劳损伤; 焊缝打磨

中图分类号:U671.8 **文献标志码:**A

引言

FSRU (Floating storage and regasification unit) 是浮式储存和再气化装置的简称,集液化天然气(LNG)接收、存储、转运、再气化外输等多种功能于一体的特种装备,一般长期停靠在固定码头,接收来自LNG运输船(LNGC)内的液化天然气,然后使用船上安装的再气化模块将超低温液态天然气转换成可直接使用的常温气态天然气,通过管路输送至岸上电站、工厂等终端用户。

处于成本考虑,FSRU通常由退役或临近退役LNGC进行改装,由于退役或临近退役LNGC船体结构疲劳寿命临近或超过设计寿命极限,通常需要对疲劳寿命不足节点进行延寿改善,焊接后处理改善疲劳强度的方法应被视为一种到达疲劳寿命要求的补救办法,目的是提高焊缝的疲劳寿命,同时在船舶修理改装过程中,通过打磨焊缝趾端和结构自由边已获得更好的S-N曲线,通过打磨后疲劳寿命可以达到材料屈服极限的0.01倍^[2]。并且能消除之前萌生的裂纹,从而消除前期运营产生的累积疲劳损伤。

1 FSRU 参数

本文研究的目标船为一艘2002年交付舱容137000立方米的MOSS型LNGC改装而成,货舱由5个直径约38米的铝合金球罐组成,球罐由围裙结构进行支撑,5个半球盖坐落在主甲板上,半球盖与铝合金球罐之间的间距约2米。改装后的FSRU设计寿命为20年,其中10年作为FSRU使用,另外10年仍应能够作为LNG运输船运行。

2 疲劳损伤

2.1 总的疲劳损伤

本项目改装前作为LNG运输船进行营运,总的疲劳损伤是改装前的疲劳损伤加上改装后运营的疲劳损伤的总和。

2.1.1 改装前的工况按照LNG船在全球范围内航行,

分别假设50%处于满载状态和正常压载状态。

2.1.2 改装后的工况按照以下情况:

(1) 作为FSRU停泊在码头的10年:满载条件、正常压载条件和中间装载条件。

(2) 作为FSRU停泊在码头的10年:满载条件、正常压载条件和中间装载条件。

2.2 处理措施

根据船级社规范的要求,可以通过焊缝趾端的打磨消除原来累积的疲劳损伤,参考焊缝疲劳损伤报告和疲劳节点改善图,对于总的疲劳损伤超差的点可以使用以下方式进行处理:

1) 对于未来营运疲劳损伤值未超过1.0的节点通过对焊缝进行打磨,消除原来积累的疲劳损伤以达到总的疲劳损伤值低于1.0,但打磨程序需要得到船级社批准;

2) 对于未来营运疲劳损伤值已经超过1.0的节点通过对焊缝打磨已经不能满足疲劳损伤要求的情况下,先对焊缝进行打磨然后再进行加强,直到总的疲劳损伤值低于1.0。

3 焊缝打磨工艺流程

打磨的方法可显著改善接头疲劳强度,该方法通过打磨去除导致疲劳裂纹起裂的焊缝趾端缺陷及获得焊缝趾端平滑过渡几何外形、降低焊缝趾端应力集中,来提高接头的疲劳性能^[3]。如果接头存有未焊透缺陷,裂纹将不在焊缝趾端起裂而转移到根部,此时焊缝趾端打磨反而会降低疲劳强度,因此有一套完整的程序来控制整个打磨的过程是很有必要的。

在实际操作打磨的过程中需要严控打磨的流程和要求,以保证打磨后的效果符合相关要求。在操作过程中在打磨焊缝趾端时不可避免地在焊缝趾端部位留有划痕,这些划痕虽浅但却很尖锐,可能严重降低接头疲劳强度,特别是与应力方向垂直时。为了获得较大疲劳强

度提高量,需小心对焊缝趾端进行打磨以达到光滑程度并注意打磨方向。试件的焊缝较短并不强求效率,质量容易达到理想程度,而实际结构焊缝很长,存在焊缝交叉,很难做到整个结构打磨质量都能满足要求;另外,实际焊接结构较为复杂,有些焊缝并不利于打磨工作实施。

3.1 打磨要求

焊接部位可用机械打磨工具将焊缝趾端打磨出合适的几何形状以降低应力集中和消除焊缝趾端缺陷。打磨深度应比任何可见的咬边至少低0.5毫米。打磨总深度应不大于2毫米和打磨板局部总厚度7%的较小者。应采用批准的方法对任何不满足该要求的咬边进行修理。

为避免小半径凹槽产生有害的切口效应,打磨直径应与所打磨焊缝趾端处的板厚相当。10到50毫米板厚的焊接接头对应的打磨直径应在10至25毫米范围。打磨后凹槽半径不应小于0.25倍的板厚。打磨后的焊喉厚度和焊脚长度须满足规范要求。打磨焊缝趾端几何形状示意图如下图1值^[1]:

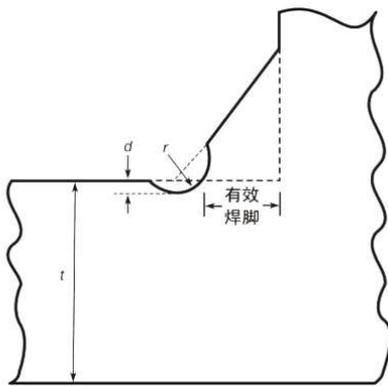


图1 打磨焊缝趾端几何形状示意图

表1 打磨前的焊缝咬边验收要求

板厚	最大咬边深度	板厚	最大咬边深度	板厚	最大咬边深度
8毫米	0.06毫米	13毫米	0.41毫米	18毫米	0.76毫米
9毫米	0.13毫米	14毫米	0.48毫米	19毫米	0.83毫米
10毫米	0.2毫米	15毫米	0.55毫米	20毫米	0.9毫米
11毫米	0.27毫米	16毫米	0.62毫米	21毫米	0.97毫米
12毫米	0.34毫米	17毫米	0.69毫米	21毫米以上	1毫米

3.4 打磨

打磨质量的控制对实际改善效果的影响是极其关键的,不仅要求焊缝趾端金属表面应尽可能打磨平滑,还要求打磨后无明显原始焊缝趾端痕迹存在并且所有打磨痕迹均垂直于焊缝趾端中心线,打磨质量取决于操作人员的技能,下面给出一些通用的建议:

- 1) 推荐使用碳化钨高速磨头。
- 2) 打磨头的中心应位于焊缝的趾端。

3.2 培训

由于焊缝趾端打磨对施工人员的操作技巧有一定的要求,所以没有经验的施工人员在上岗前必须进行培训,培训程序应包括以下方面内容:

- 1) 打磨工具的选择。
- 2) 打磨参数的使用。
- 3) 建议方法和验收要求。
- 4) 模拟试验和定期的评审。
- 5) 同时需要建议一套类似于焊工资质控制的打磨工资质控制体系。

3.3 打磨前准备

3.3.1 在打磨处理前应去除焊缝表面的焊渣并用钢丝刷进行表面清理。

3.3.2 在打磨处理前确保焊缝的目视检查、表面和体积性缺陷的无损检测完成并合格。

所有图纸要求的体积性缺陷和表面缺陷无损检测都必须完成。

3.3.3 在要求进行焊缝趾端打磨处理的区域应测量并记录焊缝的最大咬边深度。

3.3.4 由于受打磨后打磨槽深度的限制,如果咬边的深度超出规定的最大咬边深度的允许范围,则应按照船级社认可的方法进行修理。修理完成后再进行打磨作业,打磨前的焊缝咬边验收要求如下表1:

3.3.5 由于打磨后的沟槽的中心点必须位于焊缝的趾端,因此推荐使用硅橡胶或类似的材料在打磨前对焊缝进行拓模来记录焊缝的形状和焊缝趾端的位置,以方便在打磨后进行检查。

3) 打磨工具与钢板之间的夹角应呈45°至60°,与焊缝的中心线之间的夹角应大约45°的方向。

4) 在打磨时,可以采用“推”或者“拉”打磨工具的方法。由于采用“推”打磨工具的方法能得到更平直的沟槽和更均匀的深度,因此建议推荐“推”打磨工具的方法。

5) 当趾端打磨需要应用于肘板之类的附件时,打磨的沟槽在附件的端部必须延伸出高应力区域。

6) 对于大尺寸的平缓的角焊缝, 焊缝趾端处的高缺口应力会扩展到焊缝表面, 并且每层焊道间的焊道趾端比焊缝的趾端更容易成为疲劳开裂的裂纹源。对于较低焊缝夹角的情况下, 打磨处理应从焊缝趾端扩展到焊缝表面的一定区域内的焊道趾端。在这种情况下, 需要采用大尺寸的磨头。而在使用大尺寸磨头进行打磨时经常会发现磨头会“爬”上焊缝表面, 而导致打磨沟槽的中心很难恰好处于焊缝的趾端。为了使打磨沟槽的中心不偏离焊缝的趾端, 推荐采用“两步打磨法”, 首先借助一个小球形磨头工具打磨出一个焊缝焊缝趾端定位准确的沟槽; 然后再使用较大直径磨头完成整个焊缝趾端的打磨工作。

7) 打磨后应检查焊缝趾端处的半径、打磨深度, 以及确认完全去除焊缝趾端处的咬边。

8) 打磨后的焊喉厚度和焊脚长度须满足规范要求。

9) 打磨后的焊缝应进行无损检测并合格。

4 结语

焊缝趾端打磨方法优点是: 操作工具简单, 成本低, 操作要领容易掌握, 技术成熟, 适合处理横向焊缝

及纵向焊缝端部, 也适于低周疲劳结构, 是当前应用最广的焊接结构疲劳延寿技术。而缺点是: 打磨效率较低, 工作量大, 劳动强度高, 打磨过程中的质量把控难度比较大等问题。

随着船舶大型化的发展, 船舶结构的疲劳损伤已成为确保船体结构安全的重要问题, 越来越受到国际航运及修造船界的普遍重视。本文以某型FSRU的疲劳损伤焊缝打磨工艺进行探讨, 并根据船级社规范的相关要求和参考焊缝疲劳损伤报告和疲劳节点处理图, 对分析结果显示不满足要求的焊缝进行打磨处理, 对打磨要求、人员资质、打磨前准备和打磨过程中需要注意的事项进行了详细的探讨, 打磨焊缝的焊缝趾端可以改善它的疲劳性能, 消除焊缝前期积累的疲劳损伤并使得船舶延寿20年, 避免船舶结构产生因疲劳裂纹而引起的破坏。

参考文献

[1]CCS 钢质海船入级规范, 2023.

[2]DNVGL-RP-C203 Fatigue design of offshore steel structures, 2020.

[3]CCS,海洋工程结构物疲劳强度评估指南 2013