

# The Influence of High-Strength Steel Welding Deformation and Flame Correction Process on Ultrasonic Detection Signals

Hu Li

Tai'an Aerospace Special Vehicle Co., Ltd., Tai'an, Shandong, 271000, China

## Abstract

High-strength steel, which possesses the characteristics of high strength, high toughness, and lightweight, has been widely applied in various industrial fields such as mechanical manufacturing, steel structure, and construction machinery due to its advantages in these aspects. This paper, based on the actual operation scenarios in industrial sites, deeply analyzes the types and generation mechanisms of welding deformation of high-strength steel, the core points of flame correction technology, and the key influencing factors during the operation process. It carefully examines the internal reasons for interference situations and proposes methods to avoid them that are in line with the actual situation on site. Thus, it provides practical reference content for industrial sites to conduct ultrasonic testing on high-strength steel welded components, helping to improve the accuracy of the testing work and preventing the incorrect judgment or missed judgment of defective conditions due to signal interference, thereby ensuring the quality of the welding work of the components.

## Keywords

High-strength steel; Welding deformation; Flame correction; Ultrasonic testing; Signal interference

## 高强钢焊接变形与火焰矫正工艺对超声检测信号的影响

李虎

泰安航天特种车有限公司, 中国·山东 泰安 271000

## 摘要

具备高强度、高韧性和轻量化这些性能特点的高强钢, 依靠这些方面的优势, 在机械制造这个行业、钢结构这个领域、工程机械这类产业等众多工业领域当中得到广泛应用。本文结合工业现场实际操作场景, 深入分析高强钢焊接变形的类型、产生机理, 火焰矫正工艺的核心要点及操作过程中的关键影响因素, 仔细分析会出现干扰情况的内部原因, 提出符合现场真实情况的用来规避的办法, 从而为工业现场在对高强钢焊接构件开展超声检测这项作业时提供具有实用价值的参考内容, 帮助提升检测工作的准确程度, 防止因为信号出现干扰的情况而造成有缺陷情况被错误判断或者遗漏判断, 从而保障好构件焊接工作的质量。

## 关键词

高强钢; 焊接变形; 火焰矫正; 超声检测; 信号干扰

## 1 引言

伴随工业生产朝着高强度、轻量化、高可靠性这些方向向前发展, 高强钢在各种各样起到承载作用的构件以及核心部件里面的应用情况变得越来越普遍, 特别是在工程机械领域、大型钢结构领域、压力容器领域等, 高强钢焊接构件的质量情况, 直接跟设备运行时的安全状况以及人员的安全状况相关联<sup>[1]</sup>。焊接操作属于高强钢构件加工的核心工序, 不过鉴于焊接操作过程中里面的温度分布不均匀、热胀现象和冷缩现象配合不协调, 肯定就会产生焊接变形的现象。变

形的程度过大, 不但会对构件的尺寸精准程度以及装配性能带来影响, 还有可能致使焊接接头产生额外的应力, 让构件的承载能力降低。

## 2 高强钢焊接变形的类型及产生机理

焊接是风电塔筒制造的核心工艺之一, 依靠热源使母材和填充金属局部熔化, 形成冶金结合的永久性连接。焊接工艺的核心参数包括电流、电压、焊接速度及预热温度, 其中预热温度(80~150℃)通常根据钢材的碳当量和厚度确定。不同的电流、电压组合会影响电弧的稳定性和熔滴过渡形式, 进而影响焊缝的成型质量。焊接过程中涉及热传导、熔池流动及相变等, 必须严格控制热输入。采用脉冲电弧焊接技术可使热输入波动降低40%, 有效抑制晶粒粗化, 提

【作者简介】李虎(1986-), 男, 中国山东肥城人, 高级技师, 从事焊缝超声波探伤一次合格率研究。

高接头韧性,避免材料性能劣化。常用的焊接方法有埋弧焊、气体保护焊等。埋弧焊因熔敷效率较高、焊缝质量稳定,广泛应用于塔筒筒体的纵缝和环缝焊接。焊接质量控制需结合无损检测技术,确保焊缝内部无气孔、夹渣及裂纹等缺陷。

在**高强钢**开展焊接操作的过程当中,收缩变形是最为常见、最为基本的变形类型,同时它也是其他各种类型变形产生的基础。这种变形情况主要分成纵向收缩和横向收缩这两种类型,在全部的焊接构件当中都会以不同的程度体现出来。纵向收缩指的是沿着焊接出现的焊缝其长度方向进行收缩的变形情况,主要产生的原因是在进行焊接操作的过程中,焊缝以及周边的区域被加热到高温状态,原子和原子之间的距离增大,从而出现热膨胀的现象。而在焊接操作结束之后,焊缝区域的冷却速度相对比较快,原子间的距离变小收缩。因为焊缝的纵向长度相对比较长,出现了收缩量之后累积起来,那么就会表现成纵向收缩而产生变形情况。就好像形状为长条状的**高强钢板**进行对接之后开展焊接操作的时候,焊缝长度的方向就会出现比较明显的长度缩短情况<sup>[2]</sup>。横向收缩意思是跟焊缝长度方向相垂直的位置进行收缩的变形情况,主要是由于在开展焊接操作过程中,焊缝两侧的金属被加热之后产生膨胀的现象,受到构件自身所具有的约束以及周边没有被加热的金属的阻碍作用,没有办法自由地膨胀,在冷却收缩的时候同样也会受到约束,进一步就会产生横向收缩的情况,最终使得构件在宽度方面或者厚度方面出现尺寸缩小的情况,就好像**钢板**开展搭接之后进行焊接操作的时候,搭接的边缘位置会由于横向收缩的情况而出现错边或者缝隙的现象。

### 3 高强钢焊接变形对超声检测信号的影响

#### 3.1 对超声检测信号幅值的影响

信号幅值属于超声检测这个过程当中用来判断缺陷大小以及严重程度的最为核心的指标。在正常的情况之下,超声波在均匀的高**强钢**内部进行传播时,能量损耗相对较小,反射信号幅值处于稳定的状态。缺陷越大,反射信号幅值就会越高。而焊接变形会通过两种不同的方式对信号幅值产生影响,从而导致幅值出现异常的波动,进而对缺陷判断造成影响<sup>[3]</sup>。

#### 3.2 对超声检测所产生的信号传播速度方面的影响

拉应力会使得原子间距增大,从而让传播速度降低;压应力会使得原子间距缩小,从而让传播速度升高。焊接变形越严重,残余应力就会越大,传播速度的波动范围也就会越大。例如扭曲变形产生的扭转应力,会导致构件不同部位的传播速度出现明显的差异。此外,焊接变形导致的焊缝成形不好,比如焊缝宽窄不一样、高低不平,会改变超声波的传播路径,导致超声波发生折射、散射,传播速度出现波动。比如角变形导致焊缝两侧出现台阶,超声波传入之后,会在台阶处发生折射,传播方向发生改变,传播速度看起来发生

变化,检测人员如果没有及时发现,会错误判断为构件内部存在缺陷,或者错误判断缺陷的位置和大小<sup>[4]</sup>。

#### 3.3 对超声检测所产生的信号波形形态方面的影响

信号波形形态是超声检测过程当中用来区分缺陷类型的重要依据。不同类型的缺陷,反射信号的波形形态是不同的。比如裂纹的反射波形尖锐、陡峭,夹渣的反射波形平缓、幅值较低,气孔的反射波形呈现锯齿状。而焊接变形会导致超声检测信号波形发生畸变,干扰检测人员对缺陷类型进行判断,甚至导致缺陷类型误判。在进行超声检测的时候,会接收到多个杂波信号,这些杂波信号与正常的缺陷反射信号叠加,导致波形形态不规则,检测人员无法准确判断是否存在真实缺陷,以及缺陷的具体类型,给检测工作带来比较大的困扰<sup>[5]</sup>。

## 4 高强钢火焰矫正工艺及对超声检测信号的附加影响

### 4.1 高强钢火焰矫正工艺核心要点

**高强钢**进行火焰矫正和普通**碳钢**做火焰矫正不一样,因为**高强钢**里面合金元素的含量比较高,并且它的耐热性还有韧性比较特殊,要是对加热温度、加热速度、冷却方式等这些参数控制得不好,不但没办法达成矫正的效果,还很有可能使得构件出现新的变形情况、产生裂纹,甚至会让构件的力学性能出现下降。**高强钢**火焰矫正时加热温度一般要控制在600-800℃,这个温度范围属于**高强钢**的塑性变形区域,在这个时候构件塑性比较好,能够依靠加热收缩产生塑性变形,从而抵消焊接所产生的变形;要是加热温度过低,塑性不够,就没办法产生足够的塑性变形,矫正的效果就不好;要是加热温度过高,会造成构件表面出现氧化现象、晶粒变得粗大,甚至会出现过热以及过烧的状况,让构件的强度还有韧性降低,还可能产生新的裂纹。在现场操作的时候,通常是借助观察钢材颜色的方式来判断温度,在600-800℃的时候,钢材呈现出暗红色或者樱红色,这个时候加热温度是合适的。

### 4.2 火焰矫正工艺对超声检测信号造成的附加影响

火焰进行加热会使得构件表面出现氧化、脱碳的情况,进而对超声波耦合的效果产生影响。在火焰矫正的过程当中,构件表面被加热到高温,会和空气中的氧气发生反应,从而产生氧化皮,氧化皮质地比较疏松、表面不平整,覆盖在构件表面;同时,高温会使得构件表面碳元素出现流失,从而出现脱碳层,脱碳层的组织结构和基体金属不一样,声学特性也存在差异。在进行超声检测时,氧化皮会使得探头和构件表面接触不良,耦合效果变差,超声波没办法顺利传入构件内部,从而使得反射信号幅值降低、波形出现畸变,甚至没办法接收到信号;脱碳层会改变超声波的传播速度并且让能量出现损耗,从而使得信号幅值产生波动、传播时间出现偏差,对缺陷的判断和定位产生影响。在现场检测的时

候,要是没有把火焰矫正之后的氧化皮清除掉,非常容易出现信号异常的情况,从而导致错判、漏判。

## 5 减少超声检测信号干扰的实用措施

### 5.1 优化焊接工艺,减少焊接变形产生

对焊接顺序进行合理的安排布置,依据构件的结构情况和尺寸大小,采用“对称着去焊接、一段一段地焊接、跳着去焊接”的方式,保证构件各个部位加热和冷却能够均匀,让收缩不均匀所导致的变形减少,就好像长条形状的构件采用分段跳着去焊接,T型接头采用对称着去焊接,防止扭曲变形和弯曲变形出现;对焊接参数进行控制管理,根据高强钢的材质状况和厚度尺寸,对焊接电流、焊接速度、焊条角度进行调整改变,避免焊接电流过大、焊接速度过快,让热输入量减少,使温度梯度降低,让收缩变形减少,就比如薄板焊接采用小电流、快速地去焊接,防止波浪变形出现。

### 5.2 对火焰矫正工艺进行规范,让附加干扰降低

对火焰矫正工艺进行规范,能够有效地让矫正过程中产生的附加干扰减少,结合现场操作的经验情况,重点把三个方面的工作做好:一是对加热参数进行严格的控制,严格按照高强钢的材质情况,把加热温度控制在600-800℃,通过观察钢材的颜色来判断温度,避免过热、过烧的情况出现,加热时匀速地移动火焰,保证加热能够均匀,根据变形的类型选择合适的加热方式,避免局部加热过度;二是对冷却方式进行规范,火焰矫正之后采用自然冷却的方式,严禁用水冷却或者强制冷却,把构件放在平整、干燥的地面上,避免外力约束,保证冷却能够均匀,让新的残余应力和组织缺陷减少;三是减少矫正的次数,尽量一次矫正就达到效果,避免多次加热,矫正之后及时把构件表面的氧化皮清除掉,采用打磨的方式,让构件表面变得平整、光滑,为超声检测提供良好的耦合条件,让表面状态对检测信号的干扰减少。

### 5.3 对超声检测操作进行优化,对信号干扰进行规避

针对由焊接变形以及火焰矫正所产生的干扰,对超声检测操作进行优化,能够有针对性地对干扰进行规避,让检测准确性得到提升。在现场操作当中,主要要做好如下四个方面:一是要把检测前的准备工作做好,在检测之前,要把构件表面的氧化皮、铁锈、油污等杂物彻底地清除掉,对构件表面进行打磨,让表面变得平整、光滑,确保探头和构件

表面能够良好地耦合,减少因为接触间隙而导致的信号干扰;二是要对检测参数进行调整,根据构件的焊接变形状况以及火焰矫正状况,对探头角度、检测频率、灵敏度进行调整,例如表面不平整的构件,要适当地增加耦合剂的用量,对探头角度进行调整,确保超声波能够顺利地传入,对于存在残余应力的区域,要适当地提高灵敏度,把杂波信号和缺陷信号区分开来;三是要选择合适的检测方法,针对不同类型的焊接变形,要选择合适的超声检测方法,例如弯曲变形、波浪变形的构件,采用多角度检测的方式,避免因为单一角度检测而导致的漏判,对于火焰矫正后的区域,采用扫查检测的方式,全面地捕捉信号,减少杂波干扰;四是要加强对检测人员的操作培训,提升检测人员的经验以及判断能力,使其能够准确地把焊接变形、火焰矫正所产生的杂波信号和真实缺陷信号区分开来,避免出现误判、漏判的情况。

## 6 结论

高强钢焊接变形以及火焰矫正工艺都会对超声检测信号产生明显的干扰,这种干扰会直接影响到超声检测的准确性,进而影响到高强钢焊接构件的质量判断以及安全使用。焊接变形主要是通过改变构件表面状态、内部残余应力以及组织结构,对超声检测信号的幅值、传播速度以及波形形态进行干扰,不同类型的焊接变形,干扰的方式和程度是不同的;火焰矫正作为现场常用的变形矫正手段,虽然能够有效消除焊接变形,但是局部加热和冷却过程会产生新的表面氧化、组织变化以及残余应力,对超声检测信号产生附加的干扰,叠加焊接变形的干扰,进一步降低检测的准确性。

### 参考文献

- [1] 胡赢,陈旺明,李怿炳,翟勇,安康.风电塔筒高强钢焊接过程与质量控制[J].工程建设与设计,2025,(24):240-242.
- [2] 金志飞,张印.雷达天线骨架高强钢机器人焊接工艺分析[J].金属加工(热加工),2024,(08):46-48.
- [3] 刘欢,金群,谭芝芝,吴志强,刘帅,韩绍华.混凝土泵车臂架焊接有限元仿真分析[J].建设机械技术与管理,2024,37(01):64-67.
- [4] 熊云峰.船舶与海洋装备高强钢焊接质量控制研究[J].海峡科学,2023,(12):108-111+116.
- [5] 吕金波,朱倩倩.高强钢焊接变形智能检测校正技术及装备设计[J].建筑机械,2023,(10):132-134+139.