



过滤器组件真空电子束焊接成形控制研究

王文平 张志伟 王永钢 王建

【摘要】以NHPLV过滤器组件为例,研究了焊接参数对 $\phi 0.01\text{mm}$ 不锈钢丝编织的过滤网与实体材料焊接成形的影响及焊接胎具的设计制作。结果表明:通过选择合理的焊接参数和制作专用的工装,焊接后材料连接成形良好,形成了连续、均匀、紧密贴实的焊缝,解决了类似零件的过滤网与实体材料焊接所需能量较大的焊接问题。

1. 概述

真空电子束焊接是利用加速和聚焦的电子束轰击置于真空或非真空的焊件所产生的热能,具有焊接热变形小、焊接速度快、焊缝物理性能好、电子束穿透能力强及再现性好等特点,适合于航天过滤器产品中滤网的焊接。

航天一般采用真空电子束焊接过滤器产品用的过滤器组件,焊接质量通常与焊接材料、焊接结构、焊接工装及焊接参数等因素有关。为了保证航天用滤网的焊接质量以及研究不同滤网材料焊接工艺的变化规律,需要对滤网的真空电子束焊接工艺进行重点研究。

2. 航天用过滤材料的特点及NHPLV过滤器组件简介

(1) 航天用过滤材料的特点 航天用过滤器一般采用具有较好的柔韧性和耐腐蚀性能的不锈钢编织网作为过滤材料,这种滤材是由丝径 $4\sim 20\ \mu\text{m}$ 的不锈

钢金属丝编织而成。

不锈钢编织网由丝径相同的经丝和纬丝编织,每根经丝交叉穿过每两根纬丝,同样每根纬丝交叉穿过每两根经丝,厚度一般选用 $0.08\sim 0.15\text{mm}$,过滤精度为 $10\sim 120\ \mu\text{m}$ 。不锈钢编织网滤材如图1所示。

(2) NHPLV过滤器组件简介 NHPLV过滤器组件上包括3条电子束焊缝,过滤网通过真空电子束焊接焊缝A成形为圆筒状,然后装配到骨架上(见图2),再通过电子束焊接焊缝B和C而成,其焊接要求各条焊缝无间断,保证连续、均匀、紧密贴实在骨架上,不能有 $>0.01\text{mm}$ 的

穿透孔。

3. 焊接难点

(1) A焊缝的焊接难点 过滤网是由 $\phi 0.01\text{mm}$ 的不锈钢丝编织而成,由于存在孔隙,焊接时容易产生熔穿,因亏料而塌陷。同时, $\phi 0.01\text{mm}$ 的不锈钢丝各自熔成球体造成互不相熔。

A焊缝焊接除上述问题以外,还要求焊接成形的圆筒要套在骨架上贴实。圆筒直径过大则装在骨架上松动,无法进行后续焊缝B和C的焊接,太小则安装的时候会把焊好的圆筒撑裂,无法安装到骨架上。因此,过滤网圆筒的直径尺寸需要摸索。

试验过程中使用的部分试验

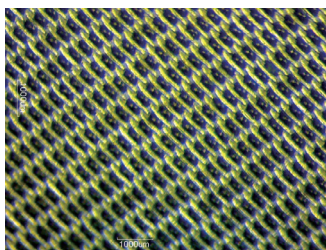


图1 不锈钢编织网滤材

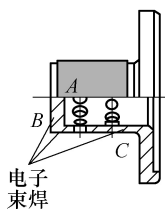
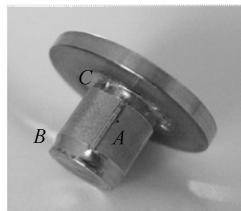


图2 过滤器组件焊接图和实物



件形成的焊接表面缺陷形貌如图3所示。

(2) B和C焊缝焊接难点 骨架是不锈钢材料加工而成,是实体材料,而过滤网中存在孔隙,由于两者表面能的差别,焊接所需能量有较大的差别,往往是过滤网已经熔化而骨架不熔化,骨架一熔化过滤网又熔穿。

滤网与骨架B和C焊缝表面未焊上和焊穿缺陷如图4所示。

4. 解决方法

(1) A焊缝焊接结构和工装的设计 过滤网与过滤网的焊接采用对接焊接结构时,中间存在较多的孔隙,焊接时造成局部熔穿,无法保证焊接的连续性。采用搭接接头的结构,容易上层熔化而下层不熔化或者熔化很少。通过多组试验比较,选择卷边对接的接头结构较好,这种焊接结构的优点是焊接时卷边的边缘熔掉填充到过滤网的空隙,从而形成连续的焊缝。为此,我们制作了专用的工装1(见图5),把过滤网卷边贴合整齐的压在一起焊接A焊缝。

(2) A焊缝焊接参数以及卷边预留量优化 第一,焊缝焊接参数的优化。因过滤器产品本身是用于过滤系统中杂质的,要求不能在焊接过程中带进任何多余杂质。高真空度条件下可以防止金属元素的氧化和烧损,可减少污染,故采用高真空度电子束焊接滤网。本文选用真空度为 $9 \times 10^{-2} \text{Pa}$ 。

大多数电子束焊接中,加速电压往往不变。当加速电压升高时,焊缝熔深增大,焊缝横截面深宽比增大。如果被焊工件厚度

较大,可提高加速电压,以获得窄而平的焊缝。

焊接速度和电子束功率共同决定着焊缝的熔深、焊缝的宽度以及被焊母材的熔池形状(冷却、凝固及焊缝熔合线形状)。焊接速度提高,热输入减小,焊缝熔深、熔宽均减小。因此,焊接速度的选取对焊缝的成形质量影响较大。

根据以往焊接不锈钢材料的经验,上述两种焊接参数选用60kV作为加速电压,焊接速度为300mm/min。

电子束的功率由电子束电流与加速电压决定。当加速电压不变,为保证不同焊接件的焊接质

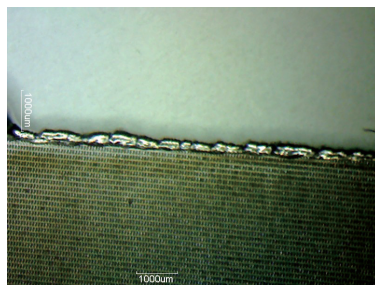
量及焊接工艺,需要调整电子束的电流值。电子束电流加大,熔深和熔宽都会增加。过滤器滤网的材质相对金属件不致密,并且其厚度较薄,在加速电压选定为60kV的条件下,电子束电流应在0.3~1.0 mA之间进行调节。

在电子束电流选定的范围内 $<0.6 \text{mA}$,焊缝表面未完全熔合,如果增大到 1.0mA ,焊缝表面会出现不连续的现象,在 $0.6 \sim 1.0 \text{mA}$ 之间选择 0.8mA 作为电子束焊接电流,焊缝连续,表面质量较好。因此,后续焊接滤网选择电子束电流为 0.8mA 。电子束电流试验参数如表1所示,过滤网焊后焊缝外观和断面如图6所示。

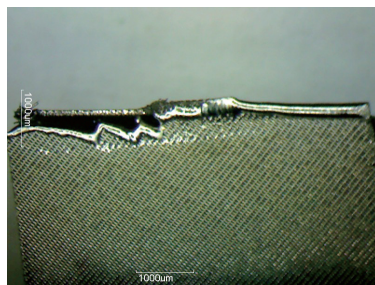
第二,卷边预留量优化。过滤网与过滤网卷边对接焊接时形成连续的焊缝,实现了A焊缝的焊接,焊出紧密贴实的圆筒,需通过计算与摸索得出过滤网长度。计算如下:周



(a) 焊缝外观不连续和不均匀形态1



(b) 焊缝外观不连续和不均匀形态2

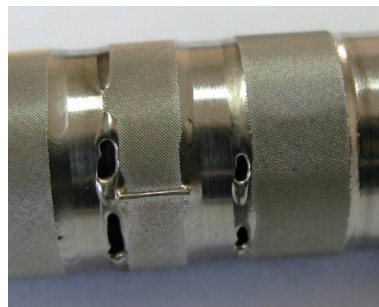


(c) 焊缝外观未熔合

图3 焊接中的部分试验件表面缺陷



(a) 滤网与骨架B和C焊缝表面未焊上



(c) 滤网与骨架B和C焊缝表面焊穿

图4 滤网与骨架B和C焊缝表面缺陷



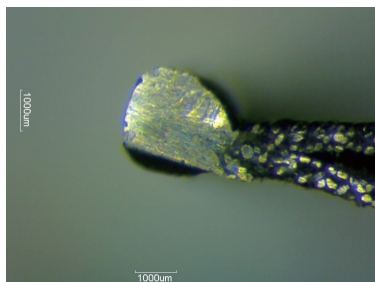
图5 安装A焊缝过滤网的工装1

表1 电子束电流试验参数

电子束流 /mA	0.3	0.6	0.8	1.0
表面状态	未熔合	未熔合	连续均匀	不连续



(a) 过滤网焊后焊缝外观



(b) 过滤网焊后焊缝断面

图6 过滤网焊后焊缝外观和断面

长： $3.14 \times 6\text{ mm}$ （骨架外径） $=18.84\text{ mm}$ 。

经过多组试验焊接确定最终的过滤网长度 20.6 mm ，过滤网长度和焊后装配情况如表2所示。采用此过滤网长度，能够焊接后形成装配紧密的过滤网圆筒。

其焊接过程操作要点如下：

将过滤网裁剪成 $(20.6 \times 25)\text{ mm}^2$ 的矩形，沿 20.6 mm 的方向对折过滤网，注

意不要出现死折，对折边要对齐，安装到工装上，严格控制工装1上方的卷边预留量，测量好工装上方网的卷边预留量在 $1.0\sim 1.2\text{ mm}$ 之间，拧紧工装两边的螺钉。焊接时候将此预留量部分熔化形成焊缝，形成规则的圆筒状过滤网。

将焊接成形的圆筒套裁剪成长度为 6.05 mm ，装配到过滤器骨架上，装配过程中发现会把圆筒网压折或者把过滤网边缘压毛（见图7）。为了解决这一问题，制作了工装2，先把圆筒过滤网装在工装2的中心杆上（见图8），因为中心杆的直径小于产品骨架直径 0.05 mm ，且中心杆前端倒有圆弧角，所以圆筒过滤网很容易安装到中心杆上。再使用工装2的滑块将过滤网轻轻推进到骨架上，保护了过滤网圆筒免受损坏，装配好后查看过滤网与骨架是否贴实，尤其要注意过滤网上的A焊缝处是否贴实。

（3）B和C焊缝过滤网与骨架的焊接与参数的优化 过滤网与骨架存在较大热熔差，使用焊接功率过大会将过滤网烧毁，使用功率较小只是过滤网熔化而骨架不熔化。通过多次的焊接试验总结方法如下，在进行焊接时，

先在焊缝处使用较小的焊接功率焊接一周，使过滤网边上参差不齐的不锈钢丝熔化成齐整的边缘，同时又对骨架进行了预加热，然后向过滤网的方向移动 0.13 mm ，再使用大点的焊接功率进行焊接。B和C焊缝焊接参数如表3和表4所示。进行焊接时注意焊接的起弧位置与收弧位置（见图9），在焊缝A的前端起



图7 装配过程中压坏压毛的过滤网



图8 专用工装2和过滤网安装工装2后的外貌

表2 过滤网长度和焊后装配情况 (mm)

19	20	20.3	20.6	21
紧	紧	紧	合适	松

表3 B和C焊缝小功率焊接参数

电子束电流/mA	焊接速度/mm·min ⁻¹	聚焦电流/A
0.5	480	0.515

表4 B和C焊缝大功率焊接参数

电子束电流/mA	焊接速度/mm·min ⁻¹	聚焦电流/A
1.7	480	0.515



120t转炉在线修复的 研究与实践

张庆魁

【摘要】针对各类转炉中自身的裂纹、穿孔等问题，对在线焊补修复的可操作性进行研究分析，提出了一套对炉体、托圈中的裂纹、穿孔等问题的在线修复方法。通过该方法的实施，提高了产品质量和生产效率。

1. 项目实施背景

2011年某炼钢厂60t转炉托圈内弧板出现渗水现象，2013年某炼钢厂120t转炉加料侧出现炉壳内衬塌落，钢水烧穿炉壁及托圈内弧板事故，2013年某大型炼钢厂120t转炉炉壳上部支撑法兰处出现长达1.5m左右的裂纹。转

炉为炼钢系统最为重要的设备之一，炉体上部及托圈整体均有循环水冷却系统。炉壳及托圈若自身出现质量问题，如裂纹、漏水甚至穿孔等，将会给生产带来巨大的安全事故，可实际生产中转炉的此类质量问题却屡屡出现。

由于炉体与托圈的安装方式

及其自重大等原因，拆卸非常困难，所以在设备出现问题时如何最大化降低设备停机时间，恢复生产，则显得尤为重要。

本文通过对现场在线修复施工的可操作性及效率上的研究实现对转炉的在线修复，为大大缩短修复工期提供资料。现以某钢

弧，焊接一周后在焊缝A的后端收弧，这样使焊缝A处经过了两次焊接，使其更好地熔合到骨架上。焊后仔细观察整圈的焊缝，特别注意A焊缝和B、C焊缝的衔接处，如有未熔合，向过滤网方向再移动0.06mm后，重复以上步骤可得到较好的表面焊缝质量。

5. 结语

本文针对过滤网类材料和过滤网与实体材料的真空电子束焊接难点，以NHPLV过滤器组件



图9 焊接起弧和收弧位置

为例讲解了真空电子束的焊接技巧，通过选择合理的焊接工艺和制作专用的工装，解决了这一难点。此类方法也可为其他种类的

过滤网类零件焊接提供参考。

参考文献：

- [1] 杜则裕. 材料连接原理[M]. 北京：机械工业出版社，2011.
- [2] 曹建玲，等. 航天用滤网的真空电子束焊焊接工艺研究[J]. 焊接技术，2012，41(5)：27~30.

作者简介：王文平，北京控制工程研究所。

MW 20160418