气电立焊液体冷却铜滑块工艺及装备研究

山海关造船重工有限责任公司 （河北 066206） 沈振玉

一、概述

垂直气电焊作为高效焊接技术，代表着焊接技术自动化程度及焊接技术水平的高低。然而传统的陶瓷衬垫在气电立焊中并不完美，焊接质量达不到工艺规范要求，成形差、容易烧穿等不足也日益凸显出来。为了进一步提高气电立焊技术、完善气电焊工艺，我们在工作中积极探索新思路，研制发明了气电立焊液体冷滑铜滑块技术。此项技术一经采用，不仅使气电立焊焊接质量显著提高，而且有效提高了气电立焊自动化水平。结合双火焰切割机的使用，使焊接效率成倍提高，为企业创造效益、提高企业竞争力提供充分的技术保障。通过试验表明，气电立焊液体冷滑铜滑块技术不仅效率高、成形好、具有可操作性能，而且也为公司节约了大量的耗材资金。

山海关船厂1993年购进一台神户制钢SG－2Z气电立焊设备，随着造船吨位的逐年增加，2007年重新启用，并购进了8台气电立焊设备，有进口的也有国产的。通过近几年的使用，此工艺方法显露出了一些不足，现有造船工艺满足不了气电立焊工艺的要求，有坡口加工工艺方面的问题，还有焊接设备功能的问题等，降低了气电立焊的适用范围，使设备的利用率大打折扣。我们通过改进装配工艺及坡口加工工艺，来满足气电立焊的工艺要求。再进行焊接工艺及设备功能的改进，现已达到一定的水准。

二、工艺及装备研究

1. 坡口加工采用双火焰自动切割机

经过研究，我们利用焊接小车、轨道及半自动切割机改装成垂直切割设备，实现切割与气电立焊自动焊接机联合作业。利用气电立焊小车（AS－2）垂直行走功能，对双火焰割炬进行改装，实现板口立位切割作业。变手工切割为半自动机械切割，摆脱高空作业对人站立不稳的影响。采用水平双火焰割炬改装成双火焰垂直自动切割机，可以一次加工成V形坡口，确保坡口间隙宽窄一致。不仅切割速度快，质量好，而且可满足气电立焊焊接设备的工艺要求，是实现高速切割的理想设备（见图1）。

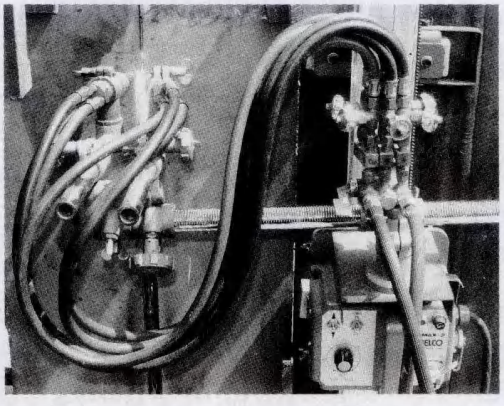

图1 试验切割

设备直缝焊管轧制减径部分的系统控制方案，该控制系统解决了无缝药芯焊丝生产线中焊管轧机的转速协调控制问题，保证了整体设备稳定运行。该套设备总体的开发及设备费用远远低于国外相同规模的生产线，填补了我国药芯焊丝生产领域的一项空白。MW

（20120512）

新的切割机具有以下功能及优势：

（1）原有的焊接小车改装后，自动立缝切割机能够沿原小车的轨道上下行走，并且行走速度与稳定性达到了切割要求。

（2）实现了割炬的立位切割，并能一次性加工成V形切口，实现了高效切割。

（3）实现了高效切割与气电立焊联合作业，提高了板口切割与焊接的质量和效率。

改装后我们对气电立焊操作工进行了气割、焊接综合培训，培训合格后上岗作业。将改进后的双火焰垂直切割设备应用到3万t散货船（1～5号船）、CSR3万t散货船（1～6号船）；35 000t、76 000t、93000t散货船号船上，获得成功应用，既提高了合拢口的焊接质量与效率，也大大降低了造船成本。使用双火焰垂直切割机切割效果达标，此工艺完全符合气电立焊的工艺要求。

垂直切割机实际应用带来的直接效益：①使用垂直气割机对板口切割减少了打磨修补量。②此机械操作简单，而且能够有效利用火焰能率。③用垂直气割机切出的坡口宽窄一致，间隙大小相等，从而提高了气电立焊的焊接质量与效率。

2. 液体冷却铜滑块的研制

船体大合拢的焊接任务，以前采用的工艺方法为气电立焊单面水冷却焊接双面成形，在实际工作中操作繁琐，焊前板口背面需要粘贴衬垫，工人要带着沉重的衬垫钻入上边柜、下边柜及大舱，不但费时费力、成本高，而且也不安全。焊接过程中由于陶瓷衬垫产生的浮渣，影响焊接电弧的正常燃烧，造成焊接中断而产生接头，形成夹渣、气孔、烧穿等缺陷，严重地影响了工程质量与效率。我们于2010年5月份对CSR大湖4号船船体合拢焊接情况进行了调查和统计，使用一次性衬垫焊接10m焊缝需要6道工序、操作繁琐，耗时耗料，成本高；大部分时间都消耗在焊缝修补、粘贴衬垫拆卸衬垫及回收衬垫上；无效工时主要由陶瓷衬垫产生，因此，替换陶瓷衬垫的液体冷却铜滑块及装备的研制是当务之急。

经一系列的分析试验和对比选择后，我们确定了“液体冷却铜滑块及装备”的最佳方案——台车自牵引分体式液体冷却铜滑块及装备，改装后的气电立焊设备结构如图2所示。

其结构特点如下：

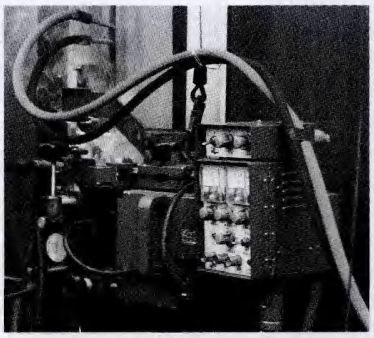

图2 改装后的气电立焊设备结构

（1）确定液体冷却滑块结构，对滑块主体、液体管、连接机构各部件尺寸进行了标注，使滑块与焊接设备成为有机的整体。

（2）用前面选择的材料加工滑块和液体管，用丝扣连拉再焊接的方法组装打磨后，试密性完全符合要求。

（3）制作牵引构件。通过组装、打磨、安装、试验，在焊接台车上下行走正常，完全符合要求。

（4）通过牵引构件将滑块与焊接设备组装调试，进行焊接试验。

（5）滑块温度测量结果：滑块冷却快慢，直接影响焊接质量，关系着试验是否成功。我们通过试验检测，循环冷却系统压力在4MPa时冷却效果最佳，滑块背面上中下温度在70～200℃之间冷却效果非常好。熔渣下流不快也不慢，在焊缝表面缓缓流动，对焊缝金属起到了保护作用，由于冷却效果快，停弧时利用收弧功能采用小电流、电压，减小了缩孔，缩孔在熔池凝固后，形成ϕ1/3mm、3～5mm凹坑，保证了再次引弧焊接时焊缝接头的焊接质量，可达到接头不再返修的效果（见图3）。

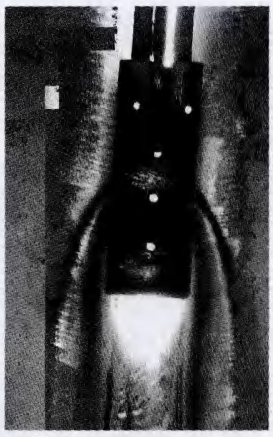

图 3

（6）由持证焊工进行切割、焊接试验，焊缝成形美观（见图4），正反面一样光顺，无焊接缺陷。内部质量经拍片检验一次合格率100%，力学性能试验全

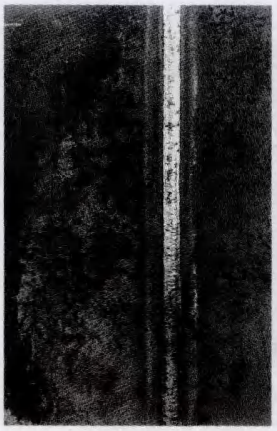
图 4

部合格。

3. 改进后整机结构的特性

（1）焊接设备　气电立焊焊机，主要由主机、辅助控制箱、焊枪、导轨、铜滑块以及焊接电缆等组成，并配有焊接电源、送丝机构、正面水冷却装置、反面液体冷却铜滑块及装置、CO_2气体流量显示器与供气排。

（2）主机　主机由可拆卸式小车、控制盒、摆动器、反面液体冷却铜滑块、焊枪，以及铝质导轨等组成。可拆卸式小车由电动机驱动，沿着固定于工件且平行于坡口的导轨移动。控制盒、摆动器、反面液体冷却铜滑块装于移动小车上，焊丝则由放置在焊接装置附近的送丝机构输送至焊枪处。

（3）控制盒　作为整机的控制操作用。在控制盒面板上，装有电压表、电流表，电弧电压、焊接电流、行走速度及干伸长度调节器，启动、停止及焊丝送丝送进按钮，快速行走开关及源自动行走指示灯等。干伸长度调节器用于调节焊丝的伸出长度，顺时针旋转旋钮，使熔池水平。当该旋钮旋至“停止”位置时，自动行走失去作用，行走速度由手动控制，在此情况下，行走速度通过行走速度调节器来控制，使得熔池水平面处于适当的位置。当自动行走焊接指示灯亮，如果干伸长度控制旋钮处于“停止”位置，则指示灯熄灭。

行走速度调节器是在干伸长度调节器处于“停止”位置时，用此调节小车的上升速度。在自动行走工作状态时，此调节器不起作用。快速行走开关用于在不进行焊接时，当此开关处于向上位置时，小车向上走动；相反处于向下位置时，小车向下行走；焊接时，开关处于向上位置，小车向上快速移动，开关处于向下位置时，则小车不向下走动。

启动按钮用于引燃电弧，按下此按钮时，同时引燃电弧和启动小车行走。当按下停止按钮时，焊接和小车行走停止。

（4）辅助控制箱　安装在焊接电源上，用以供电给控制盒，并作为焊接电源和控制盒之间的连接供电。在辅助控制箱的面板上设有控制电源开关、指示灯以及熔体等。控制电源开关用以接通或断开控制线路的电源供给；指示灯则表示控制电源接通。

（5）焊接电源　采用XD（OTC）－600A型CO_2焊机的焊接电源，并以辅助控制箱作为连接和控制用。

（6）送丝机构　采用XD600G（OTC）型CO_2焊机的送丝机构，同时配用WTC－5001型软管和专用水冷焊枪。

（7）水冷却装置　采用CS—400A型水冷装置，其水压为0.3～0.5MPa，每个装置能同时供正、反两组冷却铜滑块使用。

（8）导轨　为侧齿条型铝质导轨，专用于安装主机，每根导轨长度为0.5～2m，并装有6块永久性磁铁，被固定在被焊工件上。导轨之间以销型接头连接，在安装导轨前应清洁工件表面处，为了防止导轨的跌落，应用铁链或绳索固定住导轨的端头。导轨长度根据焊缝总长选用。焊接时，焊接机头是悬挂在磁力轨道一侧装有齿条机头上，机头带动正面滑块及新加装的滑块、提拉杆、横拉杆等装备，沿着齿条向上爬行。

4. 创新点

（1）以铜滑块代替一次性衬垫，免去了耗材的使用，降低了焊接成本。

（2）采用水冷铜滑块作为衬垫，不易焊穿，降低了焊接操作难度。

（3）减少了焊接过程中由于衬垫熔化产生浮渣而被迫中断焊接的次数

（4）降低了焊缝接头产生焊接缺陷的几率。

（5）改变了作业环境：避免了舱内作业，提高了焊接效率。

（6）免去了上舱、下舱、托带衬垫、上下攀爬带来的不安全因素。

（7）焊接时烟尘减少，焊后不产生工业垃圾，避免了无用的劳作。

（8）采用了冷却水管穿过被焊板口的方法。

（9）增加了设备的功能：台车不但托带正面工装，且带动背面滑块随焊接速度同步前行。

（10）滑块可随板口错边而转动，实现衬垫依附严谨，避免焊穿及满溢等缺陷的产生。

（下转第54页）

V_1月牙形大摆动运条法试件的宏观金相：采用冷酸法对试样焊缝区域进行宏观金相检验，经观察焊缝区、熔合线和热影响区均无微小裂纹、气孔、夹渣等缺陷。微观金相，焊缝区：由片状铁素体＋珠光体组成，组织均匀分布，晶粒度等级为10.3。热影响区：由针状铁素体＋珠光体组成，晶粒度等级为10.5。

V_2小摆动运条法试件的宏观金相：采用冷酸法对试样焊缝区域进行宏观金相检验，经观察焊缝区、熔合线和热影响区均无微小裂纹、气孔、夹渣等缺陷。微观金相，焊缝区：由片状铁素体＋珠光体组成，组织均匀分布，晶粒度等级为10.7。热影响区：由针状铁素体＋珠光体组成，晶粒度等级为11.6。

由V_1月牙形大摆动运条法试件和小摆动运条法试件可以看出，两种试件的焊缝区和热影响区的组织成分相同，但是V_1试件的焊缝区和热影响区的晶粒比V_2粗大，V_2试件的晶粒尺寸较小，晶粒细化均匀，主要原因是立焊时锯齿形小摆动焊接阻碍了晶粒的长大，晶粒比较细小，后道焊缝使晶粒又得到了充分地细化。

四、结语

（1）摆动运条HAZ高温停留时间长，热输入增加，导致晶粒粗大，影响焊接接头的力学性能，特别是冲击性能显著下降。

（2）摆动运条由于对焊缝两侧反复加热和冷却，反复对根部焊缝和填充金属加热，影响了焊接接头的综合力学性能。

（3）直线运条可使高温在HAZ停留时间短，对焊缝没有反复加热的作用，同时有效地防止偏析。

实践证明，屈服强度超过400MPa的高强钢必须采用“多层多道错位焊接技术”，使焊接接头获得良好的综合力学性能。**MW**

（20120423）

（上接50页）

（11）突破了冷却液过板循环冷却，变舱内作业为舱外操作，简化了工作程序，提高了生产效率。

四、实船试验数据

现已将液体冷却铜滑块及装置用在30 000t、35 000t、93 000t等散装货船上进行了船体大合拢口焊接。

在30 000t系列散装货船，船体大合拢口中就先后切割、焊接了619.2m，从焊前准备到焊接结束总用时才6192min，仅仅不到10天时间就保质、保量、保节点地完成了切割和焊接。

35 000t散装货船、系列船中共切割、焊接约500m焊缝。且每条焊缝10m，用时约3h，均一次性完成船体大合拢口焊接。

93 000t散装货船HBC、TBC、WBC等四条系列船中共切割、焊接约500m焊缝。且每条焊缝20m，用时约6h，均一次性完成船体大合拢口焊接。

在保证焊枪角度≥5°（摆动器上面刻度），液面距出气口5mm，反面滑块松紧适当的情况下，不同的板厚焊接电流、电弧电压等焊接参数的变化如附表所示。

焊接参数

名称 / 板厚/mm	焊接电流/A	电弧电压/V	摆幅/mm	正、背停/mm
10~18	340~360	34~36	–	–
18~22	360~380	36~38	4~6	0.5、0.2
22~28	380~400	38~40	6~9	1.2、0.6
28~32	400~450	40~45	9~11	1.4、0.8

五、结语

在对30 000t、35 000t、93 000t散装货船，船体大合拢口焊接跟踪调查得出：平均焊接10m焊缝，用时约3.65h。所使用的16块滑块无一损坏，经久耐用。

省去了舱内贴衬垫的人员，焊后修补量降低了90%。浮渣少了、中断焊接次数降低了、烧穿少了，返修率降低了，效率提高了3倍之多。

此次革新，对船体大合拢口焊接不但成本低，安装方便，操作简单，而且节能、环保、生产质量好，效率高，具有很好的推广和应用价值。2011年“推广和应用液体冷却铜滑块的研制”项目获国家级QC科技创新成果奖。**MW**　（20120520）