



自动立向上角焊工艺研究及在船体建造中应用价值分析

丁斌福 郭旭 陈晓俊

【摘要】 我公司建造的12缆深海物探系列船舶及大型散货轮，其结构多使用薄板，通过使用多功能焊接小车进行立角焊的施焊，获得更小的焊脚尺寸，焊缝成形美观，既降低焊接变形，也减少打磨，成为船体建造中提高焊接效率、降低成本、保证质量的一种可行性方法。

关键词： 焊接效率；高效焊丝；焊接自动化；价值分析

1. 概述

就目前在建船舶而言，船体大部分角焊缝的焊脚设计尺寸为5mm左右，由于焊工技术水平的差异及不规范操作，导致焊缝形状各异，而现场实际施焊的焊脚大都超出设计尺寸，且焊缝余高较大，所以许多焊缝都需要进行打磨（见图1），从而导致焊接材料和劳动力及动能的大大浪费。另外，船厂对焊工需求较多，而焊工流动性大，造成焊工整体的技能水平下降，容易导致施工现场焊工的青黄不接，延误生产进度。通过使用HCD500—6多功能焊接小车进行立角焊施焊，配合使用高效焊丝，不仅焊接效率高，而且焊接质量可控，焊缝成形美观，是解决上述问题的一条很好途径。

2. 现状分析

12缆深海物探系列船舶及大型散货轮，结构中使用9~12mm

薄板居多，焊脚设计尺寸为5mm，抗变形要求高，在船舶建造过程中对焊接质量及整船重量要求严格。在船舶建造过程中焊缝的数量不可改变，但是可以通过减小焊缝尺寸控制焊接接头，从而控制船舶整体质量达到要求。立角焊缝尺寸的大小还对钢板的变形有很大影响，尺寸越大，相对应的焊缝热输入越高，热输入的增加使得焊缝附近的母

材温度升高，而其他位置温度相对偏低，造成大的温差，从而使焊缝周围的钢板发生变形，如果附近有抗变形因素，钢板不能得到变形释放温差造成的应力，就会造成局部应力集中，造成潜在的危害，不易被察觉，形成隐患，在将来有可能会造成其他安全事故。

就目前船厂而言，焊工上岗需要持有特定位置船级社认证的



图1 实际施焊宽窄超标焊缝及打磨后焊缝

焊工证书，方能进行现场施工。一名没有纯熟经验的初学者或者非熟练工往往因为经验不足而难以上岗，而企业方面也总是因为难以招到熟练工人而不得不提高人工待遇成本。近些年，由于自动化焊接技术逐步在各制造行业得到广泛应用，所以我们造船行业要结合自身特点、自身的生产方式、自己的产品，合理选择适合船舶建造的焊接自动化技术。通过选用适合自身的新技术、新工艺提高生产效率，降低劳动成本，合理分配劳动力，从而扭转船厂现场劳动力不足的瓶颈现象。

3. 自动焊立向上角焊工艺研究

为了加大自动焊接技术的研发，争取早日完成自动立角焊的工艺试验，并能够运用到生产施工中，公司开展以下方面的试验研究。

(1) 设备选型 通过与国内其他造船厂及设备厂商参观交流，最终选用HCD500—6多功能焊接小车，其质量轻巧，采用蓄电池持续工作时间8h（无需另行接入电源），可用于垂直、水平角焊或对接焊作业的工件。配合内置高性能永磁体及导向轮在水平及立角焊作业时无需使用导轨，可自动跟踪焊道（如板材筋板、横梁等工件的焊接，见图2）。

多功能焊接小车对焊工技术水平要求不高，焊工无需进行长时间的培训就可上岗，并且可以获得良好的焊缝成形，焊缝无需后续的打磨工作，减少劳动工时，降低人员成本。通过培训学

习，现场实际操作，如果使用熟练，可从一人一台增加至一人多台。与人工施焊相比，完工效率可成倍增长，且焊接质量可靠，不会因人员因素造成焊缝质量的不稳定。

(2) 焊材选型 通过焊接试用发现，要满足立角焊5mm甚至4.5mm的焊脚，一般的焊丝难以实现。高效焊丝X是一种立角焊专用焊丝则可达工艺要求，焊接时无需摆动，焊接速度快，焊缝成形美观，可通过调节焊接速度从而控制焊脚的尺寸，使其达到设计要求。其性能如表1所示。

(3) 工艺试验及取证 通过对工艺的摸索发现，HCD500—6多功能焊接小车配合使用常规CO₂药芯焊丝Y，焊接速度优于人工施焊速度，也可以获得良好的焊缝成形。但是常规CO₂药芯焊丝Y无法实现设计焊脚5mm的要求，焊接时必须摆动，实际焊脚在7mm焊接效



图2 HCD500—6多功能焊接小车外观

率低，能源及焊材消耗大且需要进行打磨。如果配合使用高效焊丝，即立角焊专用焊丝X，最小施焊焊脚可以达到设计焊脚5mm的要求，焊接速度是常规CO₂药芯焊丝Y的两倍，焊缝成形好，无需打磨，各焊脚工艺参数及焊缝成形如表2所示。

经过不断的工艺试验研究，最终完成了三项自动焊机的角焊缝工艺认可试验：SH—ACTD363F—1—ABS（不摆动单道焊，专用焊丝）、SH—ACTD363F—2—ABS（摆动单道焊，普通焊丝）与SH—ACTD363F—3—ABS（摆动多道焊，普通焊丝），并取得ABS船级社颁发的工艺认可证书，焊脚覆盖范围满足了目前公司建造要求，弥补了自动立向上角焊工艺空白，为生产质量、效率、经济性提供了强有力的保障。

4. 自动立角焊工艺应用价值分析

(1) 节约生产成本 根据公司设计图样焊脚5mm为例进行分析，自动小车匹配高效焊丝与半自动焊匹配普通焊丝对比试验，采用相同的焊脚尺寸，相同的焊接参数，通过两种焊丝外观成形、焊接速度及焊材消耗量进行对比，试验参数及结果如表3所示。

根据推荐角焊形式焊接材料

表1 自动立角高效焊丝X化学成分及力学性能

化学成分 (质量分数, %)	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
	0.033	0.443	1.11	0.015	0.007	0.014	0.008
力学性能	屈服强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	伸长率 (%)	冲击温度 /℃	冲击吸收能量 /J	平均值 /J	—
测试值	485	545	29.5	-20	196 /196/202	198	—

需求估算公式，计算出焊脚为5mm时焊材需求量如表4所示。

通过表3、表4内的数据可得出：①自动焊匹配高效焊丝焊缝饱满度适中，不易形成焊瘤，焊缝成形美观；半自动焊匹配普通焊丝焊缝焊脚难控制，焊喉凸起。②自动焊焊接速度较半自动焊快50%~100%。③高效焊丝较普通焊丝节约50%。

通过试验论证进行经济效益分析：自动焊匹配高效焊丝与半

自动焊匹配普通焊丝同时进行长度为1m焊缝的施焊，设计要求焊脚尺寸为5mm，对所消耗的各能源分别进行统计，如表5所示。

由表5可知，HCD500—6多功能焊接小车配合使用高效焊丝，综合节约成本17.26元/m，经济效益非常可观。同时该工艺还具备：①提高生产效率和生产场的周转率。②与自动平角焊、自动立对接、自动横对接设备通

用，有利于提高设备利用率。③缩短焊工培训时间，焊工可以实现快速上岗。④可以改善生产人员的工作环境，提高一次交验合格率，加快交验速度。

（2）实际应用 在多功能小车配合相应的高效自动焊丝X已完成焊接工艺试验，同时取得了ABS船级社焊接工艺认可证书，分段制造部分焊工经短期工艺培训即达到上岗要求，并向施焊人员发放了相关的焊接工艺卡片，以便顺利将该项技术推广至生产施工。

5. 结语

通过引进多功能焊接小车，并配合使用相关的专用高效焊丝，可以提高船舶建造生产效率，焊缝成形良好，无需打磨，减少了人工成本；提高生产场地及人员的周转率；缩短焊接操作人员的培训周期，焊工可以快速上岗，减小船厂对高水平焊工的依赖性；且多功能焊接小车能与平角焊自动小车设备通用，有利于提高设备利用率。

目前该工艺已应用在散货船及海工船的部分分段建造中，在制作过程中安排专业技术人员到现场进行指导，并将推动该项技术在今后的产品中逐步扩大使用范围。据现场施工人员反映，该工艺的应用可以提高船舶建造生产效率，焊缝成形良好，无需打磨，减少了人工成本，缩短焊接操作人员的培训周期，焊工可以快速上岗。

作者简介：丁斌福等，上海船厂船舶有限公司。

MW 20160619

表2 自动立角高效X焊丝工艺参数及焊缝成形

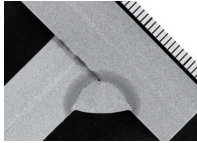
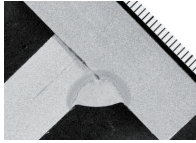
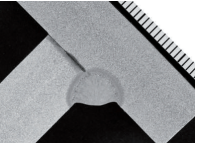
焊脚尺寸/mm	7	6	5
工艺参数	150A、28V 150mm/min	150A、28V 200mm/min	150A、28V 250mm/min
外观成形			
断面宏观			

表3 5mm焊脚试验参数

焊丝	设计焊脚/mm	间隙/mm	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接方式
X	5	0~1	150	28	自动焊、不摆动
Y	7	0~1	170	24	自动焊、摆动

表4 设计焊脚5mm两种焊丝的试验结果对比

焊丝牌号	焊接速度/cm·min ⁻¹	焊丝消耗量/g·(1m) ⁻¹	焊缝外观
高效焊丝X（自动）	25	140	美观，平滑
普通药芯焊丝Y（半自动）	14	270（7mm焊脚）	焊脚较大，凸

表5 1m立角焊缝（焊脚5mm）

项目	高效焊丝X		常规药芯焊丝Y		备注
	消耗量	成本/元	消耗量	成本/元	
焊丝	0.14kg	1.82	0.27kg	2.43	X：13元/kg，Y：9元/kg
气体	100.8L	0.16	201.6L	0.32	0.0016元/L，流量20L/min
电能	0.55kW·h	0.39	0.83 kW·h	0.58	0.7元/ kW·h
焊接工时	0.14h	3.5	0.28h	7	25元/h，按燃弧率60%计
打磨工时	—	—	0.40h	10	25元/h
打磨耗材	—	—	1片	2.8	2.8元/片
合计	—	5.87	—	23.13	节约成本17.26元/m