第二十一届北京·埃森焊接与切割展览会
THE21TH BEIJING ESSEN WELDING & CUTTING FAIR

HALL E1-E6 馆

北京·埃森焊接展（二）

——智能焊接技术专题





智能焊接车间齿条对接窄间隙机器人双面立焊焊接工艺研究

孙敏锋　杜仕忠　田小林　陈博

【摘要】介绍了由振华重工牵头的国家智能制造装备发展专项“海上钻井平台装备制造智能焊接车间”项目概况，并以齿条对接窄间隙机器人焊接工艺试验为例，详细叙述了焊接工艺评定试验的过程及结果，阐述了该智能焊接工艺的优越性，为业内齿条焊接等相关项目提供了借鉴与参考。

关键词：智能焊接车间；窄间隙；MAG焊

1. 海上钻井平台装备制造智能焊接车间简介

由振华重工牵头联合唐山开元、上海交大和北人机器人三家单位研制的国家智能制造装备发展专项“海上钻井平台装备制造智能焊接车间”项目是国家首个海工装备制造智能车间，实现了数字化设计、机器人自动化焊接、厚板高效化焊接技术、信息化的车间管理，构建了一种大型结构件智能化焊接车间生产模式。该项目中的桩腿主弦管焊缝自动化无损检测、桩腿齿条板对接高效自动化焊接、机器人自动打底焊接等多项技术属于行业一流、国内领先水平，填补了国内海工装备制造领域多项技术空白。截至目前，该项目共申请专利16项，已授权11项，软件著作权5项，发表论文22篇，获公司级科技进步奖4项。

该智能焊接车间拥有国内首条海工装备核心部件的高效化、智能化、自动化和数字化焊接生产制造生产线，该生产线全部采用大厚板智能型焊接机器人，极大提高了桩腿生产效率，打破了国外在这一领域的垄断，将使我国目前平台桩腿80%依赖于进口的局面得以扭转。2012年国内首批出口国外的平台桩腿正是振华重工采用了该智能焊接车间中的一次成形大模数齿条高精度加工技术，其精度和质量受到德国验船师称赞。智能焊接车间生产线分布如图1所示，生产线中部分智能化装备如图2~图4所示。



图1　智能焊接车间生产线分布



图2　齿条数控火焰切割系统齿条板切割

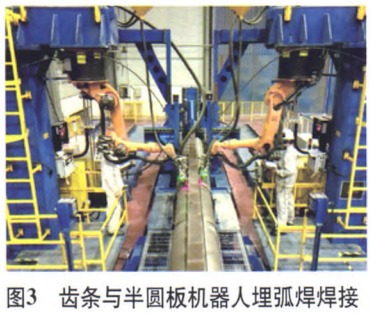


图3　齿条与半圆板机器人埋弧焊焊接



图4　桩腿相控阵机器人探伤系统

2. 齿条对接窄间隙机器人双面立焊焊接工艺

“海上钻井平台装备制造智能焊接车间”项目主要包含以下子项目：①桩腿齿条切割工艺及生产线。②齿条与半圆板内焊工艺及系统设备。③齿条与半圆板机器人埋弧焊工艺及生产线。④齿条与半圆板焊缝相控阵探伤系统。⑤齿条对接窄间隙MAG焊工艺及生产线（见图5）。⑥桩腿窗户板全位置窄间隙热丝TIG焊工艺及设备。⑦焊接车间网络信息化及焊接专家系统。⑧海工平台设计PDM和WRP信息化系统。

下面仅对齿条对接窄间隙机器人双面立焊焊接工艺及生产线（见图6）进行介绍。该生产线主要由2套KR30—3 型KUKA机器人、2套日立立向窄间隙MAG焊接机头、2套松下500GL3焊接电源、2套松下冷却水箱、1套机械清根装置、2套焊渣清理装置、1套变形检测装置、1套组对夹具、2套温度检测装置、1套电控系统及1套焊接烟尘净化系统等组成。机器人窄间隙焊接系统具备电弧跟踪功能，通过电弧跟踪可以实现对窄间隙焊缝两侧及底部的跟踪，确保焊接过程中熔池的稳定，实现高质量的焊接。

（1）焊前准备　我们针对厚度为177.8mm、材质为DILLIMAX 690E（ASTM A517Q）齿条板进行焊接工艺评定试验，焊接材料选用神钢的MG—S88A。DILLIMAX 690E（ASTM A517Q）的化学成分与力学性能如表1，表2所示，MG—S88A焊丝的化学成分如表3所示。



图5　齿条对接窄间隙机器人焊接工位



图6　齿条对接窄间隙机器人双面同时自动化焊接

表1　DILLIMAX 690E（ASTM A517Q）齿条化学成分（质量分数）（%）

C	Si	Mn	P	S	N	Cu	Mo	Ni	Cr	V	Nb	Ti	B
0.135	0.286	1.32	0.010	0.0006	0.0050	0.066	0.598	2.367	0.528	0.003	0.019	0.003	0.016

表2　DILLIMAX 690E（ASTM A517Q）齿条的力学性能

屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率(%)	冲击吸收能量/J (-37℃)（T/4）	冲击吸收能量/J (-27℃)（T/2）	硬度HBW
696	800	15	124/175/181	80/86/79	252/253/253

表3　MG—S88A焊丝化学成分（质量分数）　（%）

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Ti
0.06	0.48	1.47	0.005	0.002	0.22	3.50	<0.01	0.75	0.10

坡口形式如图7所示。钝边尺寸3mm，根部间隙1mm，坡口角度为1.5°。

（2）焊接参数　工艺评定试验采用的主要焊接参数如表4所示，选用85%Ar+15%CO_2作为保护气体，齿条窄间隙坡口对接焊缝成形及其宏观断面如图8所示。

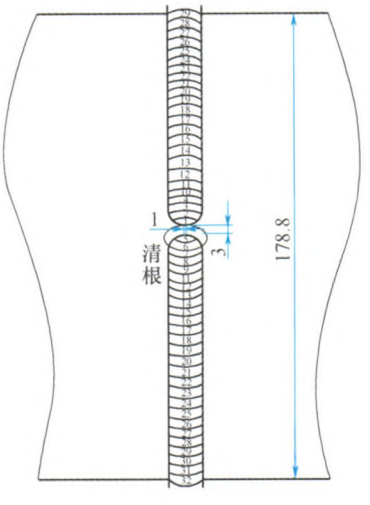


图7　坡口形式

（3）焊接注意事项　桩腿通过夹具固定，水平度和垂直度达到指定要求，焊接之前要对激光进行校正，严格按照工艺流程进行焊接和后热处理。

（4）力学性能试验结果　对焊接接头分别进行拉伸、弯曲、冲击及硬度性能测试。样品经20%硝酸酒精溶液腐蚀，未见缺陷。其力学性能试验结果如表5~表8所示。

3. 结语

“海上钻井平台装备制造智能焊接车间”项目的实施符合国家“中国制造2025”发展需求，有力推动了振华重工制造方式由人工向自动化、高效化、绿色化和智能焊接的转型，也将带动国内大型厚壁构件制造工艺技术重大创新和海洋能源工程装备制造自动化装备国产化配套能力与水

表4 焊接参数

焊道	焊接方法	焊接材料/mm	焊丝干伸长/mm	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/mm·min^{-1}
打底	GMAW	MG—S88A ϕ1.2	12	108	22	54
填充				118	23	62
盖面				105	22	54

表5 拉伸试验结果

编号	抗拉强度/MPa	断口位置	验收标准/ MPa	结果
095-11	898	焊缝	≥790	合格
095-12	900	母材		合格
095-13	907	母材		合格
095-14	905	母材		合格
095-15	899	母材		合格
095-16	908	焊缝		合格
095-17	890	焊缝		合格
095-18	903	母材		合格
095-19	896	母材		合格
095-110	905	母材		合格
095-111	893	母材		合格
095-112	908	焊缝		合格

表6 弯曲试验结果

编号	弯曲角度	压头直径/mm	结果
095-21，21，22，23，，24，25，26，27，28，29，210，211，212，213，214，215，216，217，218，219，220，221，222，223，224	180°	63.5	合格

表7 低温冲击试验结果（≥46J-40℃）

编号	试样尺寸/mm × mm × mm	缺口位置/方向	试验温度/℃	冲击吸收能量/J	平均值/J	结果
095-31	10 × 10 × 55	T/4 焊缝	-40	90/101/89	93	合格
095-32		T/4 熔合线+1mm		108/136/95	113	合格
095-33		T/4 熔合线+5mm		138/131/88	119	合格
095-34		T/2 焊缝		81/77/70	76	合格
095-35		T/2 熔合线+1mm		128/158/69	118	合格
095-36		T/2 熔合线+5mm		53.4/69.1/58.6	60.4	合格
095-37		根部焊缝		60.7/50.8/51.7	54.4	合格
095-38		根部熔合线+1mm		143/164/163	157	合格

表8 硬度试验结果 （HV10）

编号	硬度测试位置	硬度（≤420HV10）	结果
095	焊缝	上表面：278/281/289	合格
		根部：299/289/289	合格
		下表面：297/297/309	合格
	热影响区	上表面：左：343/405/392 右：397/385/411	合格
		根部：左：334/353/345 右：319/363/354	合格
		下表面：左：415/413/352 右：412/419/344	合格
	母材	上表面：左：285/273/273右：288/290/292	合格
		根部：左：269/284/296 右：303/297/285	合格
		下表面：左：293/292/290 右：298/292/299	合格

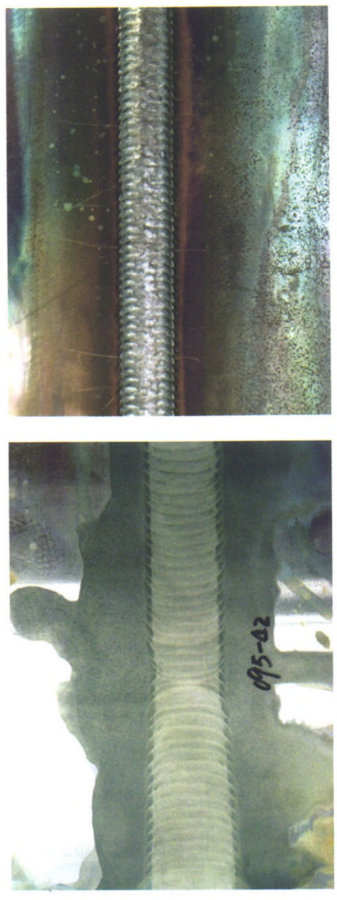


图8 齿条窄间隙坡口对接焊缝成形及其宏观断面

平迈上新台阶。

齿条对接窄间隙焊接工艺的成功开发与应用，解决了齿条焊接中的手工操作速度慢、质量无法稳定保证等问题，不仅提高了焊接质量与生产效率，也大大降低了生产成本。

作者简介：孙敏锋，上海振华海洋工程集团有限公司总经理助理兼海工平台事业部总经理。杜仕忠等，南通振华重型装备制造有限公司。

MW 20170508