S460M钢桩焊接工艺的研究和应用

刘刚

广州贝龙环保热力设备股份有限公司　广东广州　510700

摘要：对于TMCP钢S460M，使用药芯焊丝气体保护焊和埋弧焊，按照EN ISO 15614-1：2017标准要求进行焊接工艺评定试验，通过控制预热温度和热输入，验证两种焊接方法都能够满足拉伸、弯曲、冲击和硬度等性能要求，焊接接头性能良好。

关键词：海洋工程；TMCP钢；S460M；焊接工艺

1　序言

为了提高钢材的强度和韧性，通常有添加合金元素和控制冶金组织这两种基本途径。控制轧制细晶粒钢板（TMCP钢）是在控制轧制过程的基础上，实施空冷或控制冷却及加速冷却技术，在不添加过多合金元素，也不需要复杂后续热处理的条件下生产出的高强度、高韧性钢材。同时由于碳当量相比正火钢较低，因而具有良好的焊接性能，使得能够实现以较低的建造成本，满足工程设计要求[1]。

TMCP钢S460M是按照欧洲钢铁标准EN 10025-4生产的控制轧制细晶粒钢板，东欧某国跨海大桥钢桩的桩靴设计全部采用此S460M钢，钢桩通过卷板成形，桩靴的厚度为60mm。钢结构工程整体按照EN 1090进行建造，焊接工艺试验按照EN ISO 15614-1：2017进行，并且业主要求在焊接过程中制作多套产品焊接试板，以控制工程焊接质量。针对工程特点，我们拟定了FCAW和SAW两种焊接方法，并通过了焊接工艺和产品试板试验。

2　钢材的焊接性能分析

（1）化学成分　TMCP钢S460M钢板经分析得到P、S含量（质量分数，下同）分别为0.009%和0.0019%，其他合金元素含量及选用的药芯焊丝GFR-81K2熔敷金属和埋弧焊焊丝CHW-S9的化学成分见表1。

（2）力学性能　依据母材及焊材的材质证明，S460M钢板、药芯焊丝GFR-81K2熔敷金属和埋弧焊焊丝CHW-S9配合焊剂CHF101的熔敷金属的力学性能要求见表2。通过对比分析，拟定焊材的力学性能可以满足S460M钢板设计要求。

表1　钢材和焊材的化学成分　（%）

牌号	化学成分（质量分数）											碳当量
	C	Si	Mn	Al	Nb	V	Cr	Ni	Cu	Ti	Mo	
S460M	0.06	0.28	1.51	0.033	0.025	0.036	0.25	0.02	0.02	0.014	0.01	0.37
GFR-81K2	0.026	0.32	1.23	—	—	0.01	0.02	1.85	0.01	—	0.01	0.36
CHW-S9	0.075	0.17	1.43	—	—	—	0.02	0.01	0.10	—	0.32	0.39

表2　钢材和焊材的力学性能

牌号	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率（%）	冲击温度/℃	冲击吸收能量/J
S460M	≥430	530~710	≥17	−20	≥40
GFR-81K2	≥470	550~690	≥19	−60	≥27
CHW-S9+CHF101	≥460	530~680	≥20	−20	≥47

（3）焊前预热　虽然TMCP钢的碳当量相比正火钢较低，但是焊缝金属主要通过增加合金元素强化，以达到与母材相当的强度，因此焊缝金属的碳当量相对较高。另外，由于钢桩厚度较大，且不能进行热处理，特别是在冬季施工时，存在快速冷却的情况，所以综合考虑后，为避免冷裂纹风险，应适当进行焊前预热，以使得热影响区的硬度在350HV以下。

（4）焊接热输入　由于S460M钢是通过快速冷却工艺提高强度，在大热输入的焊接方法时，存在热影响区软化的风险，因此在采用FCAW立焊和SAW平焊时应适当控制焊接热输入，以保证抗拉强度。而且采用小热输入时，能够获得韧性较好的下

贝氏体组织，有利于通过冲击试验。

（5）焊接性分析　S460M钢板虽然为高强钢，但由于状态为TMCP钢，其碳含量≤0.10%；碳当量值=0.37%（＜0.40%），具有较好的焊接性，不容易产生气孔和延迟裂纹缺陷。因此选择相同强度等级的焊材，配合焊前预热、焊接热输入和层间温度等控制，应该能够获得符合要求的焊接接头。

3　焊接工艺试验

（1）试验方案　按照EN ISO 15614-1：2017的规定，当冲击和硬度试验均有要求时，硬度试样应取低热输入值的焊接位置，冲击试样应取高热输入值的焊接位置，因此对于FCAW拟定进行横焊和立焊两块对接焊接试板，而SAW仅焊接一块平焊位置的试板。FCAW试板的坡口形式均为X形，SAW对接焊接试板为带钢衬垫的V形坡口。焊接工艺评定试板的厚度拟定为32mm，根据EN ISO 15614-1：2017中8.3.2.2表7规定可以覆盖厚度为16~64mm，符合产品的焊接需求。

（2）焊接参数　3块试板的焊接参数见表3。焊前进行预热至115℃，层间温度在200℃以内。试板焊接过程中，使用电流钳、秒表和测温枪等详细测量并记录每道的焊接参数。不同焊接方法对熔池的有效热输入不同，按照EN ISO 15614-1：2017第8.4.7条要求，计算热输入时应考虑热输入系数k，k值按ISO/TR 17671-1标准第9节表2确定，其中FCAW的有效热输入系数k=0.8，SAW的有效热输入系数k=1.0，因此表3及后续的热输入均为乘以有效热输入系数k后计算得到的数值。

表3　3块试板的焊接参数

试板编号	焊接方法	焊接位置	层/道	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/mm·s^{-1}	热输入/kJ·mm^{-1}
1	FCAW	横焊	打底	190~200	22~23	3.75	0.9~0.96
			填充	200~220	23~24	4.33~10.17	0.39~0.92
			盖面	200~220	23~24	8.0~8.83	0.46~0.5
2	FCAW	立焊	打底	200~220	23~24	2.76~3.5	1.16~1.52
			填充	200~220	23~24	3.0~3.33	1.19~1.3
			盖面	200~220	23~24	3.0~3.33	1.19~1.3
3	SAW	平焊	打底	520~532	26~29	8.17~9.0	1.58~1.8
			填充	519~582	27~31	5.83~8.33	1.93~3.04
			盖面	606~612	28~32	7.67~9.5	1.90~2.38

（3）检验方法和结果　按照EN ISO 15614-1：2017，在通过目视检测、磁粉检测和超声波检测合格后，进行各项力学性能检测。每块试板的力学性能检测包括2个拉伸试验、4个侧弯试验、2组冲击试验、1个宏观金相和硬度试验，具体检测结果见表4，每块试板的焊道顺序如图1~图3所示的宏观金相照片。

表4　焊接工艺试验检测结果

试板编号	抗拉强度/MPa	侧弯试验（D=4s，a=180°）	冲击吸收能量（-20℃）/J	硬度HV10
1	575、590	合格	焊缝：118、137、130 HAZ：201、200、232	母材：180~208 焊缝：198~226 HAZ：192~276
2	585、600	合格	焊缝：113、127、111 HAZ：150、126、284	母材：203~225 焊缝：215~254 HAZ：198~245
3	570、585	合格	焊缝：138、150、124 HAZ：174、80、122	母材：188~220 焊缝：197~222 HAZ：190~215

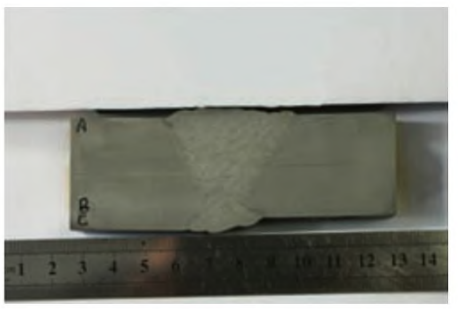


图1　FCAW横焊试板宏观金相

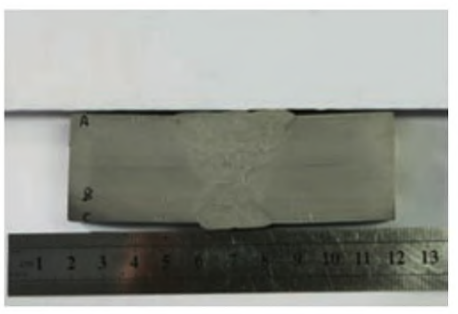


图2　FCAW立焊试板宏观金相



图3　SAW平焊试板宏观金相

铝合金地铁底架地板自动焊接变形控制

罗胜，陈春跃，黄润涛，向勇，党锐玺

中车成都机车车辆有限公司　四川成都　610000

摘要：针对铝合金焊接变形的问题，通过以A型铝合金地铁车体底架地板为研究对象，根据现状分析了底架地板变形机理，结合现场生产实际情况，提出底架地板焊接变形的控制方法，并通过现场验证，减少了调修次数，提升了产品质量。

关键词：铝合金；焊接变形；底架地板；控制方法

1　序言

A型铝合金地铁车体由底架、侧墙、车顶、端墙等大部件整体焊接而成。底架地板为大型通长双面中空挤压铝合金型材插接结构，由7块型材插接组成，采用纵向拼接整体焊接，焊接方式为MIG焊，型材材质均为EN AW-6005A-T6。底架地板型材下部位置上设置有T形滑槽，用于车下设备安装，是车体重要组成部件。由于底架地板焊缝具有通长且规则的特点，易于实现自动化操作，因此采用龙门式igm自动焊接机器人进行焊接作业。

铝合金导热系数和热膨胀系数分别是碳素钢的5倍和2倍，因此铝合金结构件焊接时工件变形较大且难以控制[1]。而地板的焊接质量直接影响车下设备的安全使用质量，因此有效控制底架地板自动焊接变形对提升产品质量具有重要意义。

2　底架地板焊接变形

2.1 V形坡口焊接收缩变形

针对底架地板型材采用的V形坡口对接接头形式，分析底架地板型材对接焊缝的焊接变形。底架

通过各组试板焊接接头抗拉强度、弯曲试验、-20℃下冲击试验、硬度试验的结果与母材参数对比，说明焊接接头的性能符合设计要求。

（4）试验结论　S460M虽为高强钢，但其供货状态为TMCP，因而碳当量较低。对于FCAW焊接，通过高低两个热输入试验，以及平焊位置SAW焊接试验。根据试验结果，焊接接头拉伸强度、弯曲性能、冲击韧度和硬度试验不低于母材标准的要求，符合EN ISO 15614-1：2017规范，能够满足使用性能。

4　结束语

本文根据EN ISO 15614-1：2017标准要求，真实记录了TMCP钢S460M的FCAW和SAW焊接工艺评定试验过程和参数，结论如下。

1）在选择正确焊接材料的基础上，应在焊前进行适当预热。EN ISO 15614-1：2017第8.4.8条中规定可以在焊接工艺评定试验合格的基础上，将预热温度降低50℃，但在具体施工时的预热温度，应综合考虑工件的厚度、化学成分、焊材的扩散氢含量和热输入等重要因素，根据EN-1011-2中的方法B可以计算出最低预热温度为80℃，但考虑拘束度以及冬季施工等影响因素，将产品焊接的最低预热温度设定为115℃。在施工过程中，对于筒节纵缝使用热电偶加热，筒节环缝使用不间断火焰加热。

2）控制较小的焊接热输入，其中FCAW为0.5~1.5kJ/mm，SAW为1.6~3.0kJ/mm。经过产品焊接试板的验证，均证明能够获得良好的焊接接头性能，有效地保证产品焊接质量。

参考文献：

[1] 中国机械工程学会焊接学会.焊接手册　材料的焊接[M].3版.北京：机械工业出版社，2008.

MW 20200826