



法国液化空气焊接公司P91钢埋弧焊焊接工艺

钟利 莫青杉

【摘要】 本文通过对P91钢的埋弧焊焊接工艺过程和结果的描述，结合ASME标准的要求，归纳法国液化空气焊接公司P91钢埋弧焊焊接工艺要点。

关键词： P91钢；埋弧焊；焊接工艺

1. 概述

P91钢是新型铁素体耐热钢。相比于早期的钢材EM12、SA-335P9，P91钢通过提高钢质的纯净度，采用Nb、V、N进行微合金化以及控轧控冷的（TMCP）成材加工工艺优化其物理性能，尤其是高温性能。经试验，该钢在593℃、10万h条件下的持久强度达到100MPa，韧性也较好。20世纪90年代以来，P91钢在世界范围内获得广泛应用。我国也在20世纪90年代中期在各大电厂开始广泛使用P91钢。法国液化空气焊接公司作为火电用P91钢焊接材料的供应商之一，其产品在锅炉厂和管道公司得到广泛使用。

2. 试验材料及方法

试验母材为P91钢，规格：457mm×38mm，其化学成分如表1所示。

焊接材料为法国液化空气焊接公司奥林康品牌埋弧焊丝OE S1CrMo 91和焊剂OP 90W，其化

学成分如表2、表3所示。

焊接方法采用埋弧焊焊接工艺，焊接参数如表4所示。焊接过程中，钢管顺时针方向旋转，焊枪位置处于钢管12点钟方向靠内侧的位置，即焊缝的焊接处于上坡焊的位置，到管道12点钟方向有2°~5°的角度，如附图所示。

示。



焊接图示

表1 P91钢母材化学成分（质量分数）（%）

C	Si	Mn	P	S	N	Al	Cr	Ni	Mo	V	Nb
0.11	0.32	0.47	0.014	0.003	0.038	0.018	8.50	0.13	0.85	0.22	0.076

表2 OE S1CrMo91的化学成分（质量分数）（%）

元素	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Cu	V	Nb	N	Al
ASME规范	0.07~0.13	1.25	0.50	0.010	0.010	8.50~10.50	1.00	0.85~1.15	0.10	0.15~0.25	0.02~0.10	0.03~0.07	0.04
实测值	0.10	0.51	0.25	0.003	0.008	9.10	0.63	0.95	0.052	0.222	0.046	0.04	0.003

表3 OP 90W的化学成分（质量分数）（%）

MnO	TiO ₂	CaO	CaF ₂	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO
0.81	0.02	9.2	24.9	1.8	4.3	24.4	27.9

表4 P91埋弧焊焊接参数

焊丝直径/mm	干伸长/mm	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/mm·min ⁻¹	层间温度/℃
3.2	20~25	320~420	30~32	300~400	200~330

3. 试验结果

焊缝金属化学成分和焊后热处理力学性能如表5、表6所示。

在实际应用中，P91钢埋弧焊的焊接难点：一是裂纹；二是强度和冲击韧性的匹配。其根本原因是P91钢是经过TMCP工艺形成的，而焊接破坏了原先TMCP得到的性能，导致HAZ的韧度和焊缝金属的韧度远低于母材。P91钢焊接材料的研发，通过化学成分的控制成功的解决了韧度这一问题，但是成分的精确控制对工艺参数的选择和规范焊接工艺流程提出了更高的要求，因此在焊接过程中须严格遵循焊接工艺。

重点注意事宜如下：①焊前打磨，保证焊缝的清洁干净。②焊前预热到200℃以上，层间温度≤350℃。③焊前调整机头位置，保证焊道的布置。④焊缝成形呈凸形，避免焊缝呈凹形。⑤焊后消氢处理（290~350）℃/2h。⑥确保回用焊剂的清洁度和干燥，焊接作业

表5 OE S1CrMo91+OP 90W焊缝金属化学成分（质量分数）（%）

元素	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni
ASME规范	0.08~0.13	1.20	0.80	0.010	0.010	8.0~10.5	0.80
实测值	0.11	0.46	0.24	0.005	0.008	9.00	0.62
元素	Mo	Cu	V	Nb	N	Al	Mn+Ni
ASME规范	0.80~1.20	0.10	0.15~0.25	0.02~0.10	0.03~0.07	0.04	1.20
实测值	0.94	0.046	0.20	0.040	0.04	0.002	1.08

表6 OE S1CrMo91+OP 90W焊缝金属力学性能

—	测试温度	屈服强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	伸长率 (%)	冲击韧性 /J	热处理温度 /℃×h
ASME	—	540	620-760	17	27	760×2
实测值	+20℃	562	684	21	85, 78, 86	760×2

完成或中断后，料斗内的所有未用焊剂都应转移至一个可加热的料斗内（120~150℃），保存最长≤24h。在重新使用前，该部分焊剂应与两倍量的新焊剂混合后才可用于焊接。

法国液化空气焊接公司非常重视跟进标准的更新，根据ASME BPVC-I-2015（P92页）最新要求提出承压管的填充材料Mn+Ni的含量≤1.2%，从上述焊接结果可以看到OE S1CrMo91+OP 90W焊缝金属

Mn+Ni=1.08%，满足了ASME的最新要求。而ASME提出该要求（Mn+Ni<1.2%），是为了确保P91钢的 A_{c1} 线在热处理温度760℃之上。

4. 结语

电厂蒸汽管道P91钢的焊接需要高度重视，严格遵守工艺规范，以确保焊接接头质量，从而避免安全事故的发生。

作者简介：钟利等，法国液化空气焊接公司。MW 20160826

（上接第42页）

热影响区的粗晶区是焊接接头最薄弱的区域之一，对于单丝埋弧焊而言，一般在熔化线外1mm的位置。当热输入过大时，容易产生粗大组织。本次试验所得的热影响区粗晶区为下贝氏体及少量的板条状马氏体。在低碳低合金钢中的下贝氏体中的铁素体形态呈平行的板条束，碳化物分布于铁素体的内部，因此它的强度和韧性都优于上贝氏体；而

板条状马氏体的形成温度较高，具有自回火的特点，因此有较好的强韧性。由于母材中的合金元素，在热输入2kJ/mm的规范下，有效地控制了奥氏体晶粒长大，并得到具有较好韧性的组织。

4. 结语

通过对BHM-16焊丝+XUN-121焊剂组合其熔敷金属化学成分的调整，得到了韧性较好的细小粒状贝氏体及少量的先共析铁

素体组织，其各项力学性能达到船级社规定的VY46M级焊材的技术要求。

两种国内焊丝+焊剂组合的焊接工艺性能与水平相当，完全满足F46级钢的埋弧焊焊接需求，可以在大型海洋工程产品中使用。

作者简介：李好生等，昆山中冶宝钢焊接材料有限公司。

MW 20160826