焊接热输入对核岛设备用碳钢埋弧焊熔敷金属性能的影响

四川大西洋焊接材料股份有限公司 贾兴旺 兰志刚 蒋勇 余应堂
中广核工程有限公司 匡艳军 黄腾飞 邱振生
苏州热工研究院有限公司 王淦刚 赵建仓 朱平

1. 概述

埋弧焊是压力容器等重要钢结构制作的主要焊接方法，但由于焊接热输入量较大，易造成熔敷金属组织劣化、韧性较低，因此在埋弧焊焊丝、焊剂研究开发过程中需要研究不同焊接热输入条件下的熔敷金属组织、性能状态及变化趋势，从而确定埋弧焊焊丝、焊剂适用的焊接参数范围，以保证核电工程应用条件下采用该焊材所得到的埋弧焊接头的性能。

本文研究了4种焊接热输入条件下的埋弧焊焊丝、焊剂熔敷金属的组织及性能状态，分析了其变化趋势，给出了合理的焊接热输入区间，为焊材的工程应用提供支撑。该项目得到广东省产学研结合项目（20110905）专项资金资助。

2. 试验条件

（1）试验材料 焊剂CHF701HR1粒度为10~60目（0.28~2.00mm），主要化学成分如表1所示。根据国际焊接学会推荐的碱度公式计算得出试验中使用的焊剂碱度≈3.0。焊接前焊剂应在350℃下烘焙2h。焊丝牌号为CHW—S2MoHR1，ϕ4.0mm，化学成分如表2所示。母材选用P295GH钢，板厚30mm。

（2）试件制备条件 试板尺寸如图1所示，焊道布置如图2所示，焊接参数如表3所示。

3. 试验结果

（1）熔敷金属拉伸性能 4种焊接热输入条件下的熔敷金属室温和高温拉伸试验结果如表4所示，根据试验结果绘制的焊接热输入与强度的曲线如图3所示。由表4中数据可以看出，室温和高温抗拉强度、屈服强度以及伸长率均能满足设计要求，从图3曲线可看出，抗拉强度及屈服强度变化趋势不明显。

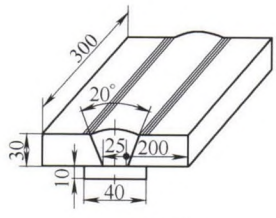


图1 试板尺寸

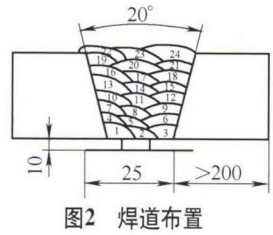


图2 焊道布置

表1 焊剂的主要化学成分（质量分数） （%）

SiO_2	CaF_2	CaO+MgO	MnO	TiO_2+Al_2O_3
10～15	20～40	25～40	≤10	10～30

表2 焊丝的化学成分（质量分数） （%）

C	Mn	Si	S	P	Cr
0.072	1.19	0.053	0.004	0.007	0.005
Ni	Mo	V	Cu	Co	—
0.012	0.58	0.001	0.109	0.022	—

表3 焊接参数

编号	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/m·h^{-1}	道间温度/℃	焊接热输入/kJ·cm^{-1}
1	500	30	25	240~250	21.60
2	550	30	25	240~250	23.76
3	600	30	25	240~250	25.92
4	650	32	25	240~250	29.95

（2）熔敷金属冲击试验　熔敷金属0℃和－20℃下的冲击试验结果如表5所示，根据试验结果绘制焊接热输入-冲击吸收能量曲线如图4所示。由表5数据可以看出，两种温度下的冲击吸收能量均能满足设计要求。从图4可看出，焊接热输入量由21.6kJ/cm增加到29.95kJ/cm时，0℃和－20℃冲击吸收能量均呈下降趋势。当焊接热输入量从21.6kJ/cm增加到25.92kJ/cm时，下降趋势相对平缓，当焊接热输入量增加到29.95kJ/cm时，0℃冲击吸收能量下降趋势平缓，－20℃冲击吸收能量则出现陡降现象，降幅超过40%。

（3）熔敷金属金相组织　4种焊接热输入量的熔敷金属金相组织如图5~图8所示。熔敷金属组织为片状、块状先共析铁素体沿柱状晶晶界分布，晶内为针状铁素体与珠光体。从图5~图8可以，随着焊接热输入量的增大，晶粒尺寸有所增大，但增大不明显。

4. 结果分析

从金相组织图中可以看出，熔敷金属组织为片状、块状先共析铁素体沿柱晶晶界分布，晶内组织为铁素体与珠光体。

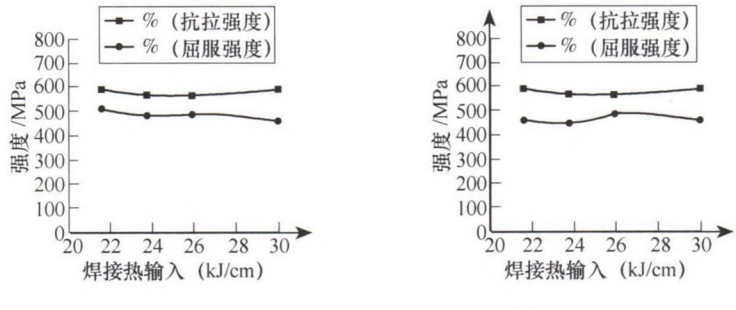
当焊接热输入量为21.6kJ/cm

表4　不同焊接热输入下熔敷金属拉伸试验结果

编号	室温拉伸			350℃ 高温拉伸		
	R_m/MPa	$R_{p0.2}$/MPa	A（%）	R_m/MPa	$R_{p0.2}$/MPa	A（%）
1	590	509	28	600	455	28
2	567	484	26	557	445	23
3	573	491	28	562	475	27
4	583	458	27	605	450	24

表5　不同焊接热输入下熔敷金属冲击试验结果

编号	冲击吸收能量/J（0℃）				冲击吸收能量/J（－20℃）			
	单个值			平均值	单个值			平均值
1	260	215	211	229	182	189	193	188
2	198	208	202	203	163	176	173	171
3	198	187	175	187	179	137	158	158
4	162	172	177	170	95	86	92	91



(a) 室温　(b) 350℃

图3　焊接热输入-强度曲线

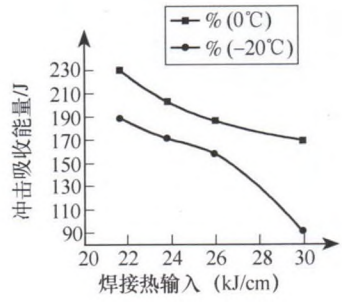


图4　焊接热输入量-冲击吸收能量曲线

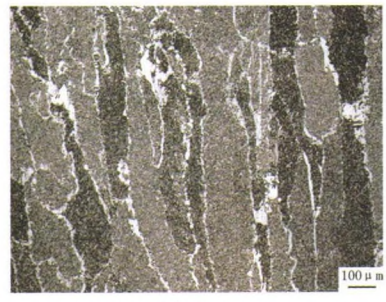


(a) 100×

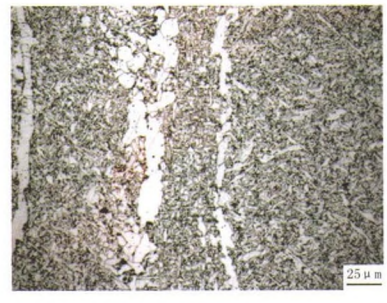


(b) 500×

图5　焊接热输入量（21.6kJ/cm）

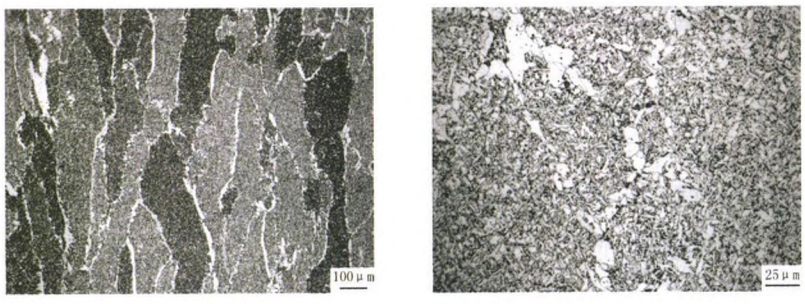


(a) 100×



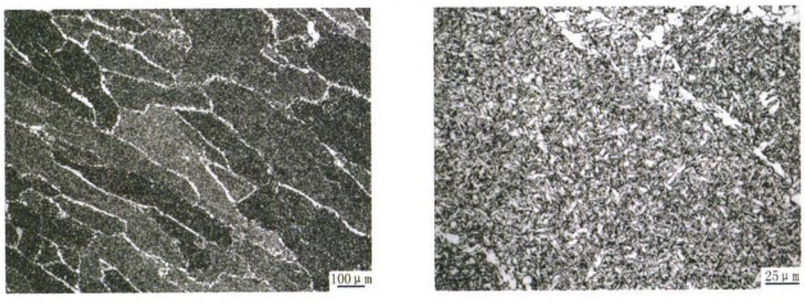
(b) 500×

图6　焊接热输入量（23.76kJ/cm）



(a) 100×　　(b) 500×

图7　焊接热输入量（25.92kJ/cm）



(a) 100×　　(b) 500×

图8　焊接热输入量（29.95kJ/cm）

时，熔敷金属力学性能很好；当焊接热输入量从21.6kJ/cm增大到25.92kJ/cm时，晶粒长度、宽度略有增大，晶内铁素体由条状变化为较宽的铁素体，局部地方出现等轴晶，抗拉强度、屈服强度变化不明显，冲击韧性略有降低；当焊接热输入量继续增大到29.95kJ/cm时，晶粒尺寸进一步增大，抗拉强度、屈服强度变化不明显，而－20℃冲击吸收能量比0℃降低的更快，说明低温冲击韧性对晶粒尺寸的敏感性更大。

对于P295GH钢的埋弧焊，焊接热输入量应控制在合理范围内，如果热输入量过大，会使焊接接头的组织晶粒粗化，对力学性能不利；如果焊接热输入量过小，效率明显低下，增加生产成本。

适当的焊接热输入量，可以避免熔敷金属因晶粒尺寸进一步增大引起的力学性能劣化。另外，适当的焊接热输入量、每一道焊缝金属填充量适中，以及多层多道焊接后焊道对前焊道的回火热处理作用，都有利于提高焊接接头的冲击韧性。

对于同一种焊接方法来说，焊接热输入量越大，高温停留时间越长，晶粒越粗大，得到的熔敷金属的冲击韧性就越低。

5. 结语

（1）在4种焊接热输入量条件下得到的熔敷金属力学性能，均能满足设计要求。

（2）当焊接热输入量为21.6kJ/cm时，力学性能最好，但焊接效率低下，焊接成本较高，工程应用中不推荐采用。

（3）当焊接热输入量为29.95kJ/cm时，熔敷金属组织晶粒粗化，抗拉强度、屈服强度变化不明显，－20℃冲击韧性下降，冲击吸收能量余量不大，工程应用中也不推荐使用。

（4）当焊接热输入在25.92kJ/cm时，熔敷金属组织晶粒粗化不严重，抗拉强度、屈服强度以及低温冲击吸收能量均有较大余量，在工程应用中推荐使用，能够有效提高焊接效率。

MW 20140218

《金属加工（冷加工）》2014年第12期要目

圆环工件上快速划中心线
浅谈轴流泵叶片加工新工艺
长导电杆车削工艺改进
江铃驱动前桥桥壳加工工艺
冷滚工艺突破方案
支柱定位加工超大薄板零件
定心式弹性内胀夹具
双导程渐厚蜗杆加工方法
一种伸缩式定位主轴结构
圆周孔G代码的用户开发
安川变频器在连杆钻铰螺纹孔数控机床上的应用
关于对大型圆弧板件的技术攻关
大型磁极冲片模具制造工艺改进
不锈钢零件压型模具设计要点
新型粉末冶金尺架的设计与工艺
某型燃调控油开关座微细异型窗口的加工和检测
寻边器碰圆上三点找圆心方法再探
VB编程在航空零件设计及工艺复杂参数计算中的应用
Solidworks中型材国标化的应用方法