

奥氏体耐热钢SP2215焊接工艺研究

袁勇, 罗永飞, 窦泉山, 何小明

东方电气集团东方锅炉股份有限公司 四川自贡 643001

摘要: 自主研发的新型奥氏体耐热钢SP2215具有良好的高温持久强度和较好的抗腐蚀、抗氧化性能, 极有可能替代HR3C耐热钢。对奥氏体耐热钢SP2215进行了热丝TIG焊工艺研究, 同种、异种材质焊接接头各项力学性能良好, SP2215钢同种材质所选焊丝的焊接接头高温持久强度与母材相当, 为电站锅炉使用奥氏体耐热钢SP2215的过热器和再热器提供焊接技术支撑, 同时便于锅炉焊接技术人员借鉴参考。

关键词: SP2215; 焊接接头; 力学性能; 高温持久强度

Research on welding process of autonomous new austenitic heat resistant steel SP2215

YUAN Yong, LUO Yongfei, DOU Quanshan, HE Xiaoming

Dongfang Boiler Co., Ltd., Zigong 643001, Sichuan, China

Abstract: The self-developed new austenitic heat-resistant steel SP2215 has good high-temperature endurance strength and good corrosion/oxidation resistance, which is highly likely to replace HR3C heat-resistant steel. This article studied the hot wire TIG welding process of SP2215, and found that the mechanical properties of the welded joints made of the same or different materials are good. The high-temperature endurance strength of the welded joints made of the selected welding wires for SP2215 is comparable to that of the base material, providing welding technical support for the use of SP2215 in superheaters and reheaters in power plant boilers, and facilitating reference for boiler welding technicians.

Keywords: SP2215; welding joints; mechanical properties; high-temperature endurance strength

1 序言

目前, 国内620~650℃蒸汽温度的660MW、1000MW超超临界锅炉、二次再热锅炉的过热器和再热器管屏大量使用奥氏体不锈钢Super304H (S30489、10Cr18Ni9NbCu3BN, 以下简称Super304H钢) 和HR3C (S31059、07Cr25Ni21NbN, 以下简称HR3C钢), 锅炉设计者充分发挥了这两种材料的高温持久强度, 或抗腐蚀、抗氧化性能^[1]。尽管Super304H钢具有优良的高温持久强度, 但由于Cr含量(名义成分18%)较低, 造成抗烟气腐蚀和抗氧化性能较差, 因此高温

运行时易产生氧化皮, 且氧化皮脱落容易导致堵管或爆管; 而HR3C钢由于Cr含量(名义成分25%)高, 使其抗烟气腐蚀和抗氧化性能良好, 但是其高温持久强度却不如Super304H钢, 因此设计时不得增加钢管厚度, 导致管屏制造难度和制造成本相应增加, 并且该材料经高温长期时效后脆化问题严重^[2]。针对Super304H钢和HR3C钢的不足, 北京科技大学谢锡善等^[3]在深入分析SA-213TP347H钢、Super304H钢和HR3C钢强化机理的基础上, 自主开发了一种多相(MX+富Cu相+NbCrN)复合强化的新型奥氏体耐热钢SP2215 (S30989、

07Cr23Ni15Cu4NbN，以下简称SP2215钢）。MX + 富Cu相 + NbCrN共3种强化相的共存，使SP2215钢强化效果优于MX强化的TP347H钢、MX + 富Cu相强化的Super304H钢和MX + NbCrN强化的HR3C钢，SP2215钢不仅具有优良的高温持久强度，还具有与HR3C钢相当的抗腐蚀、抗氧化性能。考虑到材料替代的经济性，因此SP2215钢替代HR3C钢用于锅炉过热器和再热器已成为可能^[3-6]。

针对SP2215钢管应用的可行性，国内焊接研究学者利用手工钨极氩弧焊方法针对SP2215同种钢焊接接头的性能、SP2215 + SA-213T92异种钢焊接接头的力学性能和微观组织，以及抗烟气腐蚀等开展了研究。研究表明，SP2215钢不仅具有良好的焊接工艺性和接头性能，还具有较强的抗烟气腐蚀能力^[7-9]。但是，针对小口径钢管对接主要应用的热丝TIG焊工艺并未开展系统研究。尽管手工钨极氩弧焊和热丝TIG焊都属于氩弧焊，但是作为机械焊的热丝TIG焊，焊接过程连续不中断，使得焊道的道间温度、焊接热输入都比手工钨极氩弧焊高很多，因此造成焊接接头性能存在一定的差异，尤其是冲击性能和硬度比较明显，而且SP2215钢由于没有匹配的焊接材料，因此可选焊接材料的焊接接头高温持久强度也没有验证，基于此，本文结合620~650℃蒸汽温度的超超临界锅炉和二次再热锅炉的过热器和再热器蛇形管材料分布，利用热丝TIG焊设

备对SP2215钢 + SP2215钢、SP2215钢 + Super304H钢、SP2215钢 + T92钢进行焊接工艺试验和分析，以及进行SP2215钢 + SP2215钢接头高温持久性能试验，以便进一步促进SP2215钢推向市场，使自主研发的材料获得应用。

2 焊接试验

2.1 试验材料

SP2215钢、Super304H钢和SA-213T92钢的化学成分见表1、力学性能见表2（数据来源于GB/T 5310—2023《高压锅炉用无缝钢管》）。首先，由于SP2215钢是国内自主研发的新型奥氏体耐热钢无缝钢管，目前国内还没有开发出匹配的焊接材料，只能选择镍基焊接材料，依据耐热钢焊接选材原则，以及高温高压使用的焊接接头在满足母材常温力学性能的同时，还必须满足长期运行的高温持久强度，所以热丝TIG焊可供选择的镍基焊丝有ERNiCoCrMo-1和ERNiCr-3，化学成分见表3（数据来源于ASME 锅炉及压力容器规范 2019 版的第Ⅱ卷 材料C篇《焊条、焊丝及填充金属》），至于哪一种焊丝更适合SP2215钢，则应率先进行焊丝对比试验，依据焊接接头的常温力学性能来确定焊丝；其次，再使用确定的焊丝进行SP2215钢接头高温持久性能试验；最后，进行SP2215钢 + Super304H钢、SP2215钢 + SA-213T92钢的焊接工艺试验，验

表1 母材化学成分（质量分数） (%)

材料牌号	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	P	S
SP2215	0.03~0.11	≤0.79	≤2.04	22.00~24.00	13.00~17.00	3.00~4.00	≤0.035	≤0.015
Super304H	0.07~0.13	≤0.30	≤1.00	17.00~19.00	7.50~10.50	2.50~3.50	≤0.030	≤0.010
SA-213T92	0.07~0.13	≤0.50	0.30~0.60	8.50~9.50	≤0.40	—	≤0.015	≤0.005
材料牌号	Nb	Mo	N	B	Al	W	V	Ti
SP2215	0.25~0.75	—	0.145~0.355	0.0017~0.0070	—	—	—	—
Super304H	0.30~0.60	—	0.050~0.120	0.0010~0.0100	0.003~0.030	—	—	—
SA-213T92	0.04~0.09	0.30~0.60	0.030~0.070	0.0010~0.0060	≤0.020	1.50~2.00	0.15~0.25	≤0.01

表2 母材力学性能

牌号	抗拉强度/MPa	规定塑性延伸强度/MPa	断后伸长率 (%)	20℃冲击吸收能量/J	显微硬度HV
SP2215	≥655	≥295	≥35	—	150~230
Super304H	≥590	≥235	≥35	—	160~230
SA-213T92	≥620	≥440	≥20	≥40	200~265

表3 焊丝化学成分（质量分数） (%)

焊丝牌号	C	Si	Mn	Cr	Co	Cu	P	S
ERNiCoCrMo-1	0.05~0.15	≤1.0	≤1.0	20.0~24.0	10.0~15.0	≤0.50	≤0.030	≤0.015
ERNiCr-3	≤0.10	≤0.50	2.5~3.5	18.0~22.0	—	≤0.50	≤0.030	≤0.015
焊丝牌号	Mo	Fe	Ti	Al	B	Ni	Nb+Ta	其他元素总量
ERNiCoCrMo-1	8.0~10.0	≤3.0	≤0.60	0.8~1.5	0.002~0.006	余量	—	≤0.50
ERNiCr-3	—	≤3.0	≤0.75	—	—	≥67.0	2.0~3.0	≤0.50

证所选焊丝的可行性。

2.2 试验方法

尽管GB/T 16507.5—2022《水管锅炉 第5部分：制造》对小口径钢管对接焊缝没有冲击试验要求，但是为了综合评价焊缝的性能，进行冲击试验是必要的。钢管下料长度为200mm，管端坡口采用图1所示的U形坡口。为了保证接头焊后能够取出5mm×10mm×55mm的冲击试样，因此选择了表4所列规格的材质组合和焊丝。编号S₁、S₂的试件进行焊丝选型试验，若常温力学性能满足要求，则选择合适的焊丝进行高温持久强度试验。编号S₃、S₄的试件参考HR3C钢和Super304H钢、T92钢接头焊接的已有经验选择焊丝开展焊接工艺验证试验。

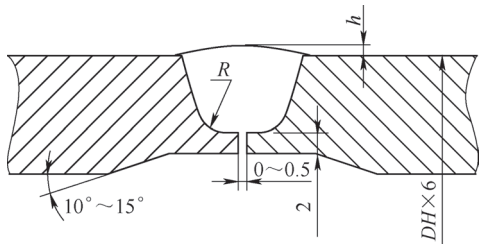


图1 管端坡口形式

焊接设备为埃迈特提供的ACR-108D-Xexp-HW型脉冲热丝TIG焊机，通过钢管旋转实现1G位置（平焊）的机械焊接。为避免焊缝氧化和产生气孔等缺欠，焊接时选用φ18mm或φ20mm的喷嘴通氩气保护焊缝，氩气纯度≥99.95%、流量15~20L/min；焊接前管内通氩气进行焊道根部保护，

表4 材质组合和焊丝

试件编号	材质组合	试件规格/mm	焊丝牌号	焊丝规格/mm	焊后热处理	备注
S ₁	SP2215钢+SP2215钢	φ50.8×9.5	ERNiCrCoMo-1	φ1.0	无	选型试验
S ₂	SP2215钢+SP2215钢	φ50.8×9.5	ERNiCr-3	φ1.0	无	
S ₃	SP2215钢+Super304H钢	φ50.8×9.5	ERNiCr-3	φ1.0	无	—
S ₄	SP2215钢+T92钢	φ50.8×9.5	ERNiCr-3	φ1.0	有	—

流量5~10L/min；钨极WCe15/WCe20，φ3.0mm或φ4.0mm均可；焊枪摆动宽度根据坡口的大小焊前设定，打底层可摆动或不摆动，其余焊层摆动，两侧停留时间0.2~0.4s，收弧时应渐变收弧，避免弧

坑带来的热裂纹，滞后送气2~3s，钢管旋转速度（即焊接速度）130~170mm/min，其他焊接参数见表5，注意打底层、填充层和盖面层焊接参数应有区别。

表5 热丝TIG焊焊接参数

焊层/层	极性	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/（mm/min）	送丝速度/（mm/min）	热丝电压/V	热丝电流/A
≥4	直流正接	160~250	8.5~11.0	80~140	700~6000	2.0~5.2	30~80

3 试验结果分析

试件焊接接头形貌如图2所示，S₁、S₂和S₃试件焊接接头经100%射线（RT）检测合格后，无需焊后热处理消应力即可取样进行力学性能试验，而S₄

试件则应按照GB/T 16507.5—2022《水管锅炉 第5部分：制造》规定进行焊后热处理，消除焊接残余应力峰值后才能取样试验。S₄试件热处理保温温度为（750±15）℃，350℃以上升、降温速度控制为≤220℃/h。

3.1 焊缝化学成分

在焊缝表面取样，按照GB/T 11170—2008《不锈钢 多元素含量的测定 火花放电原子发射光谱法（常规法）》规定，用直读光谱分析仪进行化学成分分析，其中N元素用氧氮分析仪分析，焊缝实测化学成分见表6。由表6可知，S₁试件焊缝的化学成分与S₂、S₃和S₄焊缝的化学成分存在差异的主要原因是由于使用了不同牌号的焊丝及母材合金元素过渡共同产生的，焊缝化学成分没有异常。

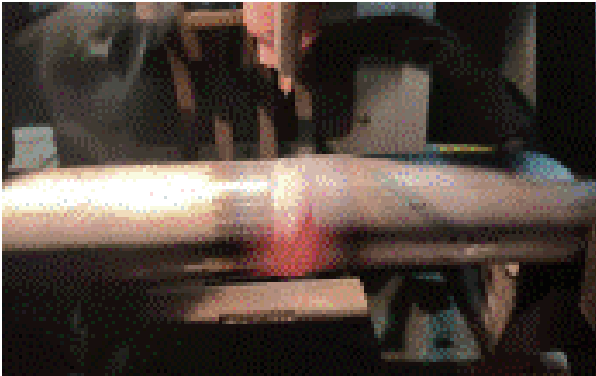


图2 试件焊接接头形貌

表6 焊缝化学成分 (质量分数) (%)

试件编号	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
S ₁	0.07	0.15	0.39	0.010	0.003	19.43	39.7	5.70
S ₂	0.02	0.10	2.54	0.004	0.001	17.10	60.5	0.13
S ₃	0.02	0.11	2.62	0.008	0.003	17.53	61.3	0.10
S ₄	0.02	0.09	2.85	0.007	0.004	17.85	64.2	0.08
试件编号	Cu	Nb	Al	N	Ti	Co	Fe	B
S ₁	0.57	0.11	0.87	0.072	0.31	8.24	24.80	0.002
S ₂	0.08	2.28	0.09	0.080	0.28	0.04	12.23	0.001
S ₃	0.65	2.29	0.09	0.048	0.29	0.06	14.95	0.001
S ₄	0.09	2.40	0.10	0.030	0.31	0.05	11.75	0.001

3.2 力学性能

按照GB/T 228.1—2021《金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法》，在焊接接头上制取全截面拉伸试样，进行室温拉伸试验，结果见表7。断裂位置都在焊缝上，说明焊缝的抗拉强度低于本次试验用母材的抗拉强度。根据表7试验数据和表2母材力学性能分析可知，S₁试件的抗拉强度高于S₂试件抗拉强度的根本原因是S₁试件焊缝中存在较多的钴元素（Co），Co可有效提高金属的强度；其次，S₁试件抗拉强度（716MPa、730MPa）高于SP2215钢热丝TIG焊接接头使用ERNiCoCrMo-1焊丝符合NB/T 47014—2023《承压设备焊接工艺评定》规定；而S₂试件抗拉强度（650/649MPa）都低于SP2215抗拉强度的下限值655MPa，尽管有研究表明只要焊缝金属的强度不低于母材强度的80%，即可保证接头与母材等强^[10]，但是不符合NB/T 47014—2023规定，因此SP2215钢热丝TIG焊只能选择ERNiCoCrMo-1

焊丝。S₃试件接头抗拉强度尽管有一组抗拉强度（651MPa）低于SP2215钢抗拉强度的下限值（655MPa），但是高于Super304H抗拉强度的下限值（590MPa），且有较多富裕，因此SP2215钢+Super304H钢接头热丝TIG焊选择ERNiCr-3焊丝符合NB/T 47014—2023规定。S₄试件接头抗拉强度均高于SP2215钢和T92钢抗拉强度的下限值，完全满足NB/T 47014—2023规定。

按照GB/T 2653—2008《焊接接头弯曲试验方法》，在焊接接头上取全厚度面弯、背弯试样，进行180°室温面弯和背弯试验，结果见表7。由表7可知，焊缝和热影响区无开口缺陷，符合NB/T 47014—2023规定。

按照GB/T 229—2020《金属材料 夏比摆锤冲击试验方法》规定，在焊接接头上切取冲击试样进行室温冲击试验，试样尺寸为5mm×10mm×55mm，结果见表7。将5mm试样折算成10mm标准试件的冲击吸收能量，所有试件热影响区和焊缝的室温冲击吸收能量接近或超过100J，超过GB/T 16507.5—2022和GB/T 5310—2023规定冲击吸收能量的下限值，证明所选焊丝和热丝TIG焊工艺焊接参数是合适的。

按照GB/T 4340.1—2009《金属材料 维氏硬度试验 第1部分：试验方法》规定，在焊接接头上制取试样进行维氏硬度试验，结果见表7。由表7可知，焊缝和热影响区硬度值均匀、无突变，均在表2母材硬度范围内。

表7 力学性能试验数据

试样编号	抗拉强度 /MPa	断裂位置	弯曲试验	室温冲击吸收能量/J	硬度HV10
S ₁	716、730	焊缝	面弯和背弯 无开口缺陷	热影响区：54、51、52 焊缝：46、50、44	热影响区：189、188、199 焊缝：168、170、178
S ₂	650、649	焊缝	面弯和背弯 无开口缺陷	热影响区：81、80、74 焊缝：60、68、63	热影响区：185、188、207 焊缝：154、156、166
S ₃	676、651	焊缝	面弯和背弯 无开口缺陷	SP2215钢侧热影响区：56、61、61 焊缝：70、54、74 Super304H钢侧热影响区：53、53、57	SP2215钢侧热影响区：216、194、195 焊缝：184、164、168 Super304H钢侧热影响区：186、174、176
S ₄	690、680	焊缝	面弯和背弯 无开口缺陷	SP2215钢侧热影响区：50、50、45 焊缝：56、51、50 T92钢侧热影响区：52、51、51	SP2215钢侧热影响区：206、203、216 焊缝：169、179、162 T92钢侧热影响区：258、251、238

所有焊接接头宏观、微观检测均没有发现裂纹、疏松、过烧和超标的异常组织等缺欠，焊缝成形良好，焊缝组织为奥氏体+碳化物。

3.3 高温持久性能

通过常规力学性能试验确定了SP2215钢热丝TIG焊对接接头选择ERNiCoCrMo-1焊丝是满足标准

要求的,但是能否满足高温长期稳定运行,则需要进行高温持久性能试验来证明。按照GB/T 2039—2012《金属材料 单轴拉伸蠕变试验方法》制备焊接接头高温持久试件并进行试验,结果见表8。由表8可知,断裂位置均在焊缝和热影响区,利用表8数据得出700℃高温持久强度外推曲线如图3所示。

外推公式: $\lg \sigma = 2.6187 - 0.1451 \lg \tau$
外推结果为: $\sigma_{10^5}^{700} = 78.2 \text{MPa}$

试验结果与GB/T 5310—2023《高压锅炉用无缝钢管》中S30989钢(SP2215钢)持久强度推荐值的比较见表9。由表9可知,SP2215钢采用ERNiCoCrMo-1焊丝热丝TIG焊接头700℃外推10⁵h持久强度值为78.2MPa,与SP2215钢母材700℃外推10⁵h持久强度值相当,满足标准要求。选取700℃、120MPa、断裂时间3931.5h的持久残样进行分析,图4所示为断裂侧金相组织(100μm)。由图4可知,焊缝组织为奥氏体+碳化物,断裂位置为焊缝热影响区,呈沿晶开裂。

表8 焊接接头持久强度试验结果

温度 /℃	加载应力 σ/MPa	试样断裂时间 τ/h	断后伸长率 A (%)	断面收缩率 Z (%)	断裂位置
700	95	2049	—	—	未断
	110	3374.5	—	—	未断
	120	3931.5	3.2	8	热影响区
	130	2953.5	2.5	7	热影响区
	140	1672.5	4.4	3	焊缝
	160	812	12.8	22	焊缝
	180	597.5	6.5	29	焊缝
	200	108	15.6	45	焊缝

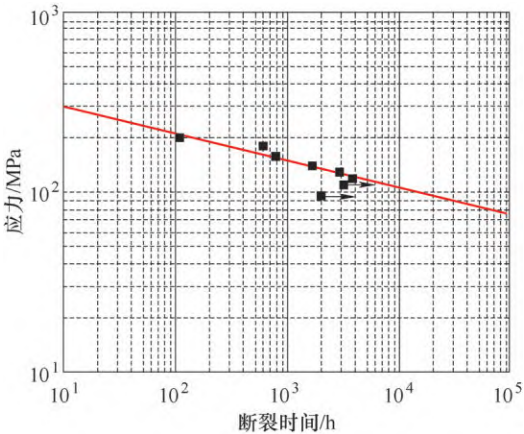


图3 700℃高温持久强度外推曲线



图4 持久试样断裂侧金相组织

表9 与标准推荐值的比较

试验名称	试验温度/℃	$\sigma_{10^5}^{700}/\text{MPa}$
SP2215钢焊接接头	700	78.2
GB/T 5310—2023母材推荐值	700	78

4 结束语

通过前述试验,初步掌握了SP2215钢+SP2215钢、SP2215钢+Super304H钢、SP2215钢+T92钢的热丝TIG焊工艺和特性,为锅炉过热器和再热器使用自主研发的新型SP2215钢奠定了焊接技术基础。

1) 建议开发与SP2215钢匹配的焊丝,控制焊接成本,增加推广应用价值。

2) SP2215钢热丝TIG焊选用ERNiCoCrMo-1焊丝的焊接接头常温力学性能符合NB/T 47014—2023要求,且高温持久性能与SP2215钢母材推荐值相当,因此推荐SP2215钢对接接头热丝TIG焊选用ERNiCoCrMo-1焊丝。

3) SP2215钢选用ERNiCr-3焊丝,热丝TIG焊接头的常温抗拉强度低于SP2215钢规定的抗拉强度下限值,因此不推荐使用。

4) SP2215钢+Super304H钢、SP2215钢+T92钢焊接接头参考了HR3C钢异种钢焊接使用的焊丝,选用的ERNiCr-3焊丝热丝TIG焊接头力学性能均满足NB/T47014—2023规定,因此推荐SP2215钢+Super304H钢、SP2215钢+T92钢焊接选用ERNiCr-3焊丝。

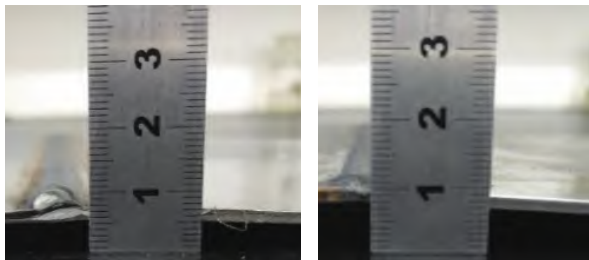
参考文献:

[1] 迟成宇,于鸿垚,谢锡善. 600℃超超临界电站锅炉过热器及再热器管道用先进奥氏体耐热钢的研究与发展[J]. 世界钢铁, 2012, 12 (4) : 50-65.
[2] 刘巍栋,蔡文河,赵勇,等. 630~650℃超超临界 (下转第42页)

接平均约有15个,此方法计算出CMT焊接飞溅量为MAG焊接飞溅量的13%。

7 焊接变形对比

以2mm对接接头优化工艺为例,CMT与MAG焊接变形对比如图8所示。由图8可知,MAG对接焊缝(350mm长度)无约束最大变形约8mm,同种外部条件下CMT焊缝最大变形约为5.5mm。由此可见,CMT焊接工艺相对于MAG焊接工艺可大大减小不锈钢的焊接变形。



a) CMT焊接翘曲约5.5mm

b) MAG焊接翘曲约8mm

图8 CMT与MAG焊接变形对比

8 结束语

本研究主要从焊缝成形、接头金相、力学性能、焊接飞溅和焊接变形等方面对比分析了不锈钢CMT焊接工艺与MAG焊接工艺的不同之处,得出以下结论。

1) 两种焊接方法的焊缝都是典型的熔化极气体保护焊焊缝成形。二者主要的组织成分都以奥氏体为主,且有少量铁素体。但由于MAG焊接热输入高,特征区域与CMT焊接相比缺少部分熔化区和等轴晶区。

2) CMT焊接所得焊缝强度和伸长率(780MPa,49%)高于MAG焊接(719MPa,33%),且CMT焊接飞溅仅为MAG焊接的20%左右。

3) 同样外部条件下同类接头优化工艺CMT焊接变形比MAG焊接小,例如2mm厚不锈钢对接无约束状态下,CMT焊接最大变形约为MAG焊的70%。

参考文献:

- [1] 周佳楠,张国栋,郑飞,等. Cr13 不锈钢 CMT 堆焊金属表面高压滚压层结构与性能研究[J]. 机械工程学报,2017,53(8):68-74.
- [2] 孟庆亮. 不锈钢薄板冷金属过渡焊接(CMT)工艺研究[D]. 长春:吉林大学,2015.
- [3] 高杰. CMT自动焊在不锈钢城轨车辆中的应用[J]. 现代机械,2014(4):13-15.
- [4] 董曼淑,蔡辰,高洪明. 高速列车不锈钢薄板 CMT 搭接焊工艺研究[J]. 机械制造文摘(焊接分册),2018(1):26-30.
- [5] 丁成钢,史春元,扬蔚,等. SUS304 不锈钢 MAG 焊接接头组织与性能[J]. 热加工工艺,2006,35(15):19-20.
- [6] 杨修荣. 超薄板的MIG/MAG 焊——CMT冷金属过渡技术[J]. 石油化工建设,2006,28(2):37-39.
- [7] 焦向东,潘际奎,张骅. 交流 MAG 焊接电弧稳定性及其控制[J]. 焊接学报,1998,19(1):47-53.
- [8] 路浩,邢立伟,陈大军. 高速列车用耐候钢活性 MAG 焊接技术[J]. 焊接学报,2013(11):105-108.

MW 20240609

(上接第38页)

- 参数锅炉受热面管备选材料建议[J]. 钢铁研究学报,2021,33(9):891-900.
- [3] 谢锡善,艾卓群,迟成宇,等. 620~650℃锅炉过热器/再热器用新型奥氏体耐热钢SP2215的研发[J]. 钢管,2018,47(1):23-29.
 - [4] 高虹,陈泽民,何周苏秦,等. 超超临界火电锅炉用新型奥氏体耐热合金无缝管的研制[J]. 现代冶金,2020,48(4):4-11.
 - [5] 吴明华,杨辉,朱秋华,等. 新型奥氏体耐热钢SP2215的开发与研究[J]. 钢管,2023,52(4):30-35.
 - [6] 梁凯,姚志浩,谢锡善,等. 新型耐热合金SP2215

组织与性能的关联性[J]. 金属学报,2023,59(6):797-811.

- [7] 赖仙红,杨华春,敬仕煜,等. 630℃锅炉高温过热器/高温再热器系统材料选择及其抗氧化措施[J]. 发电设备,2022,36(3):194-197.
- [8] 靳晓坤,张世超,刁旺战,等. SP2215/T92异种钢焊接接头微观组织与力学性能研究[J]. 稀有金属材料与工程,2023,52(9):3250-3263.
- [9] 张宇. 新型复合强化奥氏体耐热钢及焊接接头蠕变行为与机制[D]. 天津:天津大学,2022.
- [10] 佐藤邦彦. 溶接工业[M]. 日本:理工学社,1979.

MW 20240609