

工程应用获好评，焊材工艺显其能（下）

——双相不锈钢焊接材料应用综述

太原理工大学焊接材料研究所 （山西 030024） 孙 威

（2）双相不锈钢与异种金属焊接材料的选用 从表4和表5可以看出，双相不锈钢与其他双相不锈钢焊接时，在准成分匹配原则前提下，采用Ni含量比母材高、N含量略低于母材的双相不锈钢焊接材料，以保证焊缝冷却过程中有合适的奥氏体相含量。双相不锈钢与奥氏体不锈钢焊接时，通常采用低C和Mo含量介于二者之间的奥氏体不锈钢焊接材料，如E309MoL-16和E2209-16，控制焊材中的C和Mo仍然是为了保证焊缝合理的双相组织。对于双相不锈钢与碳素钢或低合金钢的焊接，通常选用含有少量铁素体的奥氏体不锈钢焊接材料，亦即倾向于高合金一侧钢的成分匹配，如E309L-16或E309MoL-16，以保证接头的抗裂性和使用性能。

需要说明的是，在AWS标准中，尚未查到表4中所述的E2510焊接材料。在AWS A5.4标准中，目前有一个E2594-16焊接材料，该焊条的合金系是25Cr-10Ni-4Mo-N。它是为超级双相不锈钢2507开发的专用焊条，从焊条和超级双相不锈钢2507的成分和力学性能综合考虑，完全可以作为E2510焊材使用。

表4 双相不锈钢及异种金属的焊接材料

钢 种	2304 (Cr18)	2205 (Cr22)	255 (Cr25)	超级 双相钢
2304 (Cr18)	E2209 E2304	E2209	E2209	E2209
2205 (Cr22)	E2209	E2209	E2510	E2510
255 (Cr25)	E2209	E2510	E2510	E2510
超级双相钢	E2209	E2510	E2510	E2510
304	E309LMo E2209	E309LMo E2209	E309LMo E2209	E309LMo
316	E309LMo E2209	E309LMo E2209	E309LMo E2209	E309LMo E2209
低合金高强度钢	E309L	E309L	E309L	E309L

表5 双相不锈钢及异种金属焊接材料熔敷
金属化学成分及力学性能

焊条型号 (AWS A5.4)	化学成分 (质量分数, %)									
	C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	S	P	Cu	N
E309L-16	0.02	23.9	12.6	0.05	1.0	0.33				
	~	~	~	~	~	~	0.02	0.03	0.09	-
	0.04	24.5	13.2	0.09	1.5	0.38				
E309MoL-16	0.02	23.0	12.5	2.7	0.8	0.90	0.02	0.03	0.75	-
E2209-16	0.02	22.5	9.5	3.2	0.8	1.0	0.02	0.03	0.20	0.16
E2594-16	<	25.2	9.8	4.0	0.8	0.6	0.02	0.03	-	0.25
	0.04									
焊条型号 (AWS A5.4)	力学性能									
	屈服强度 R_{eL} /MPa	抗拉强度 R_m /MPa	断后伸长率 A_l (%)	焊缝中 FN(%)						
E309L-16	455~469	579~586	38~47	10~18						
E309MoL-16	580	700	30	15~25						
E2209-16	650	800	27	30~55						
E2594-16	700	850	30	35~50						

3. 双相不锈钢焊接材料的种类及工艺方法

双相不锈钢的种类比较多。有资料显示，工程结构应用最多的当数SAF2205（00Cr22Ni5Mo3），约占80%，超级双相不锈钢SAF2507（00Cr25Ni7Mo4N）约占13%。

本文以SAF2205为例，讨论它的焊接方法及所用焊接材料。从表6和表7可以看出，双相不锈钢焊接材料有五大类，这是产品结构特点和所用焊接方法所决定的。根据结构提供的板厚（或壁厚）、坡口形式、间隙、钝边、焊缝位置等参数，可以灵活选用以下几种工艺方法：①板厚不太厚时，采用GTAW打底+GTAW填充工艺。②中厚板，单边V形坡口时，采用GTAW打底+SMAW填充工艺，亦可采用GTAW打底+GMAW填充工艺。③厚板单边V形坡口时，采用GTAW打底+SMAW填充一层+SAW填充工艺。④能开双面坡口的亦可采用

表6 国外双相不锈钢典型焊接材料的化学成分

焊接方法	焊接材料	技术标准(AWS)	化学成分(质量分数, %)									
			C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	S	P	Cu	N
SMAW	OK67.50	E2209-17	<0.03	22.3	9.5	3.0	0.9	0.7	0.02	0.03	0.3	0.16
	Blue Max Arosta 4462	E2209-16	0.020	22.5	9.5	3.2	0.80	1.0	0.02	0.03	0.20	0.16
GTAW	OK Tigrod 2209	ER2209	<0.025	22.5	8.5	3.3	1.7	0.5	—	—	0.30	—
	Blue Max LNT 4462	ER2209	0.018	22.7	8.5	3.0	1.5	0.5	0.02	0.03	0.30	0.15
GMAW	OK Autorod 2209	ER2209	<0.025	22.5	8.5	3.3	1.7	0.5	—	—	0.30	—
	Blue Max LNM 4462	ER2209	0.018	22.7	8.5	3.0	1.5	0.5	0.02	0.03	0.30	0.15
FCAW	DW-2209	E2209T1-1/4	0.026	22.96	9.68	3.28	0.89	0.55	0.005	0.018	—	0.14
	SW-2209 Cored	E2209T1-1/4	0.03	23.5	8.70	3.20	1.10	0.70	0.010	0.020	—	0.10
SAW	OK Autorod 16.86	ER2209	0.02	22.0	9.0	2.8	1.3	0.8	—	—	—	0.15
	Blue Max LNS 4462	ER2209	0.03	22	8	3.0	0.9	0.7	—	—	—	0.15

表7 国外双相不锈钢典型焊接材料的力学性能

焊接方法	焊接材料	技术标准(AWS)	保护气体	屈服强度 R_{el}/MPa	抗拉强度 R_m/MPa	断后伸长率 $A_5(\%)$	铁素体FN (质量分数, %)
SMAW	OK67.50	E2209-17	—	691	857	25	25~40
	Blue Max Arosta 4462	E2209-16	—	650	800	27	30~55
GTAW	OK Tigrod 2209	ER2209	纯氩	600	765	28	—
	Blue Max LNT 4462	ER2209	纯氩	625	810	28	—
GMAW	OK Autirod 2209	ER2209	纯氩	600	765	28	—
	Blue Max LNM 4462	ER2209	纯氩	625	810	28	—
FCAW	DW-2209	E2209T1-1/4	80%Ar+20%CO ₂	617	808	29	—
	SW-2209 Cored	E2209T1-1/4	100%CO ₂	680	820	27	68
SAW	OK Autorod 16.86	ER2209	—	630	780	28	—
	Blue Max LNS 4462	ER2209	—	550	800	27	30~50

SMAW打底+GMAW填充或SAW填充工艺,反面清根后用GMAW或SAW填充。这期间自然不可忽略焊缝反正面的气体保护工序。

对于FCAW,既可作为GTAW打底后的填充工艺,也可以直接用于坡口打底焊接,可以免除坡口反面充氩保护工序。其工艺要点是:①采用正确的坡口形状和尺寸。②选用合理的焊接材料(见表6、表7)。③选用正确的焊接参数及规范(包括焊丝及电焊条牌号和直径、钨极直径、焊接电流、氩气流量、电源极性、焊缝层数及道数等),特别强调,避免使用过高或过低的焊接热输入,提倡使用多层、多道焊接方式。④选用正确的焊缝层间温度。⑤无需使用焊后消除应力热处理,因为超过315℃的焊后热处理温度,会对双相不锈钢的韧性和耐蚀性产生不利影响。⑥坚持正确的焊接顺序(与介质接触的焊道先焊),接头装配定位焊和熟练、高超的手工操作技能等。

上述方法及工艺的应用,取得了较为满意的效果。但是该工艺的不足之处是,焊接过程中焊缝的

背面保护问题较复杂。一旦保护不好,背面焊缝即被氧化,焊缝的质量不能保证,造成不安全隐患。近年来,一种采用药芯焊丝填充打底的GTAW焊接方法获得了应用。该方法的特点是:打底焊时用药芯焊丝的熔渣对背面焊缝进行保护,免除了焊缝背面保护,焊缝的填充层可以是GTAW焊接,也可以是焊条电弧焊(SMAW)。这种打底专用药芯焊丝成分、性能调整方便,接头性能能够满足使用要求,焊接工艺性也令人满意,是一种前景看好的工艺方法。

药芯焊丝打底的GTAW焊接方法的焊接工艺要点,除了焊接材料和焊接参数的选用,以及操作技术与上述全氩弧焊有所不同外,其他要点大同小异。还有一种采用药芯焊丝(FCAW)打底+实芯焊丝(GMAW)填充的工艺方法,优势突出,在业界受到了关注或试用。该工艺免除了焊缝背面繁杂的充氩程序,也无需变换电源极性,底层清渣量小,辅助时间短,比全程使用药芯焊丝填充速度快,焊接质量稳定。

4. 双相不锈钢焊接材料的应用

某工厂将炼油装置中气体塔顶换热器的管板和换热器改用2205双相不锈钢制造,采用GTAW打底+SMAW填充工艺方法,按表8中实例①焊接工艺施

工,强调控制焊接热输入,按JB4708—2000标准进行焊接工艺评定,并经生产实践证明,焊接接头的力学性能和耐腐蚀性能均可获得满意的质量保证。

相关研究针对石油天然气田开发中经常遇到的

表8 双相不锈钢焊接材料应用案例及焊接工艺要点

实例号	板厚/mm	接头类型	焊接方法	坡口形状	焊接材料		钨极直径/mm
					牌号/型号	直径/mm	
①	10	2205+2205 (对接接头)	GTAW打底 +SMAW填充	65° V形坡口, 间隙3mm, 钝边2mm	打底: Sandvik22.8.3.L/ ER2209	2.5	2.5
					填充: Avesta2205AC/DC/E2209-16	4	
②	15.5	2205+X60 (对接接头)	GTAW打底+ GTAW填充两层+ SMAW填充3层	70° V形坡口, 间隙3mm, 钝边1mm	GTAW打底和填充: /ER309	2	2.5
					SMAW填充: /E309 MoL-16	4	—
③	20	2205+2205 (立焊对接接头)	FCAW向下焊打底 +FCAW填充	60° V形坡口, 间隙2~3mm, 钝边0mm	FCAW: /E209TI	1.2	—
			GMAW向下焊打底 +GMAW填充		GMAW: /ER2209	1.2	
		2205+2205 (横焊对接接头)	FCAW打底+ FCAW填充	60° V形坡口, 间隙2~3mm, 钝边0mm	FCAW: /E209TI	1.2	—
			GMAW打底+ GMAW填充		GMAW: /ER2209	1.2	

实例号	电源极性	焊接电流	氩气流量/L·min ⁻¹		焊 缝 层数/道数	焊接热输入 /kJ·mm ⁻¹	层间温度 /℃
		/A	正 面	背 面			
①	直流正接	105~140	10~15	10~15	4/1	1.0~2.5	≤150
	直流反接	150~170					
②	直流正接	80~120	10~15	10~15	6/6	1.0~2.5	≤100
	直流反接	105~140					
③	直流反接	FCAW: 180~190	20%Ar + 80%CO ₂	100%Ar	N/M	FCAW(立): 9~19	100~140
		GMAW: 120~140				GMAW(立): 10~20	
		FCAW: 180~190	20%Ar + 80%CO ₂	100%Ar	N/M	FCAW(横): 6~11	100~140
		GMAW: 120~140				GMAW(横): 5~10	

2205双相不锈钢与X60低合金高强度钢焊接问题,对规格φ508mm×15.5mm的2205双相不锈钢与X60管线钢的异种钢焊接工艺进行研究。采用GTAW打底+GTAW填充两层+SMAW填充3层方法,执行表8中实例②焊接工艺,接头的各项性能检测表明,所用焊接材料及工艺方法能够获得满意的焊接接头。

美国普莱克斯(中国)焊接技术中心,针对香港某大桥两个高290m桥塔上部的120m钢结构(该部分是由厚20mm、重达2000t的2205双相不锈钢结构组成,焊接接头的位置多为立焊和横焊),选择合金成分与之相匹配的实芯焊丝和药芯焊丝,以及不同类型的保护气体,分别采用FCAW打底+FCAW填充和GMAW打底+GMAW填充焊接方法,执行表8中实例③焊接工艺展开研究。

结果表明,两种工艺方法条件下,接头的力学性能及工艺性,均可满足钢结构横焊和立焊的需要。采用ER2209实芯焊丝与Stargon SS混合气体焊接工艺(GMAW打底+GMAW填充)可比FCAW打底+FCAW填充工艺降低焊接成本30%。

5. 结语

(1) 双相不锈钢焊接性的主要问题是焊接HAZ氢致冷裂纹和HAZ中温脆化倾向。选用优质、合适的焊接材料和合理的焊接工艺,是控制和改善该钢焊接性的重要技术手段。

(2) 双相不锈钢焊接材料的选用,可以采用“准成分匹配”原则,即尽可能使焊缝的主要化学成分接近母材,控制Ni含量比母材高、N含量略低于母材,保证接头获得最佳的使用性能(含耐腐蚀性能)和焊接性。

(3) 受产品结构特点和焊接方法控制,双相不锈钢焊接材料的种类5种,工艺方法各具特色;采用专用药芯焊丝FCAW打底+实芯焊丝GMAW填充的新工艺,优势明显。

(4) 不同厚度或不同位置的双相不锈钢钢接头,分别采用匹配的焊接材料和合理的工艺,均在不同的工程中获得成功应用。实芯焊丝ER2209及其工艺方法(GTAW及GMAW)仍是目前比较成熟和可靠的工艺方法。**MW** (全文完) (20120111)