

JMatPro 协助下的 N06625 及其复合板焊接工艺

周文超, 周 为

(宜宾职业技术学院, 四川 宜宾 644003)

摘要: N06625 镍基合金焊接质量高低直接关系到焊后是否继续保持焊前良好力学性能和优异耐蚀性能。试验研究了 N06625 镍基合金及其复合板焊接工艺, 并用 JMatPro6.1 软件分析了母材和焊材的影响焊接性的热膨胀系数、热导率、平衡相图、TTT 图和 CCT 图, 用来指导焊接工艺制订。结果表明, 通过焊前严格清理、纯氩气保护、选择合理成分的焊材、制订合适的焊接工艺参数和针对性的焊接操作技术, 可以避免热裂纹和耐蚀性变差等缺陷, 获得优质焊缝; 试板焊后经过拉伸试验、弯曲试验、冲击试验、金相检测及腐蚀试验均合格。

关键词: N06625 镍基合金; JMatPro; 焊接措施; 力学性能; 耐蚀性能

中图分类号: TG457 **文献标志码:** B

0 前言

N06625 新牌号属于镍铬钼铌系镍基耐蚀、耐热固溶强化型镍基高温合金, 又称超级不锈钢。其在 650 °C 以下具有优良的持久性能、疲劳性能、耐腐蚀和抗氧化性能, 尤其是具有优良的耐点蚀、耐间隙腐蚀性能以及抗氯离子应力腐蚀裂纹, 可在 982 °C 以下工作, 非常适用于有高耐蚀性且要求较高强度或者耐热的一些条件下使用, 它在大气、天然水、海水中性盐及碱性等弱介质中, 基本上是不腐蚀的。在磷酸、盐酸、氢氟酸、硝酸、有机酸、强碱、还原性盐、氧化性盐中耐蚀性很好。因此, N06625 镍基合金既耐蚀又耐热, 将广泛应用于化学工业、海洋设施、环保设备、热交换器、航空航天、船舶工业、核工业、石化工业、燃气轮机、热处理设备、电气元件、工业炉中。采用 N06625 镍基合金制造压力容器, 不仅耗资大, 而且造成资源浪费。利用爆炸焊复合的方法将 N06625 镍基合金和钢板制成复合板, 这种复合板作为压力容器主体材料不仅综合利用了 N06625 合金和钢的优点, 而且极大地降低了制造成本。

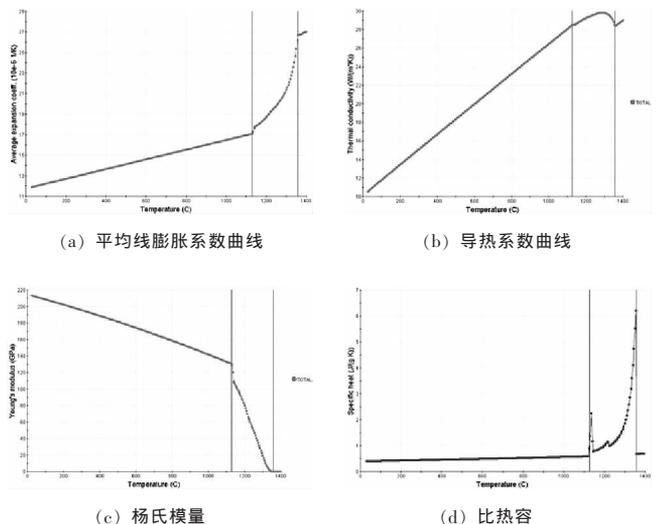
收稿日期: 2013-05-31

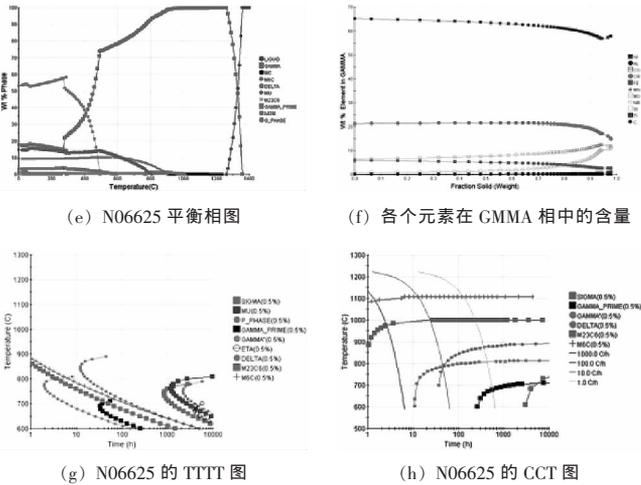
为了公司将来开发 N06625 镍基合金复合钢板产品, 笔者对 N06625 的焊接性问题进行了一系列研究。试验着重研究了焊前严格清理、纯氩气保护、选择合理成分的焊材、制订合适的焊接工艺参数和针对性的焊接操作技术。

1 N06625 合金焊接问题

1.1 用 JMatPro6.1 软件计算 N06625 镍基合金及焊丝的热物理性能

将 N06625 镍基合金、焊丝以及 Fe 稀释后的镍基合金的成分输入到 JMatPro6.1 软件中, 分别计算出 3 种材料的热物理性能, 如图 1, 图 2, 图 3 所示。





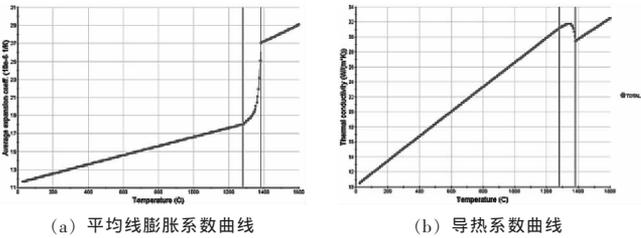
(e) N06625 平衡相图

(f) 各个元素在 GAMMA 相中的含量

(g) N06625 的 TTT 图

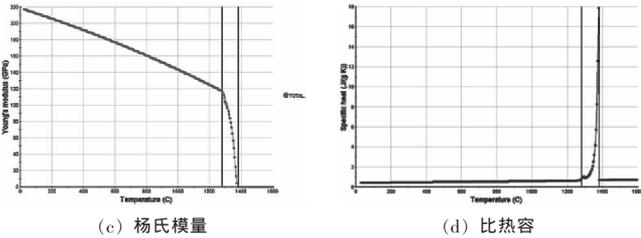
(h) N06625 的 CCT 图

图 1 JMatPro 软件计算出的 N06625 镍合金的热物理性能



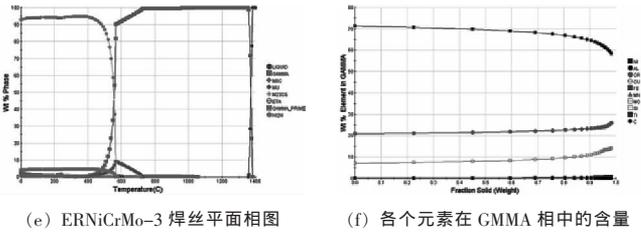
(a) 平均线膨胀系数曲线

(b) 导热系数曲线



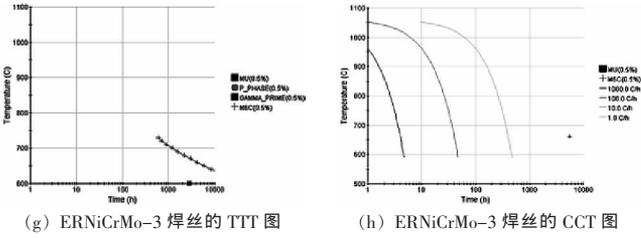
(c) 杨氏模量

(d) 比热容



(e) ERNiCrMo-3 焊丝平衡相图

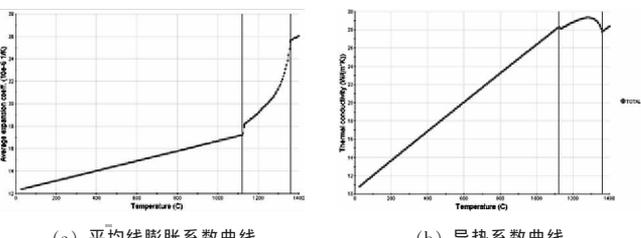
(f) 各个元素在 GAMMA 相中的含量



(g) ERNiCrMo-3 焊丝的 TTT 图

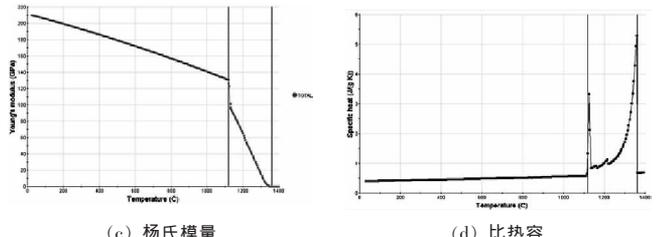
(h) ERNiCrMo-3 焊丝的 CCT 图

图 2 JMatPro 软件计算 ERNiCrMo-3 焊丝镍合金的热物理性能



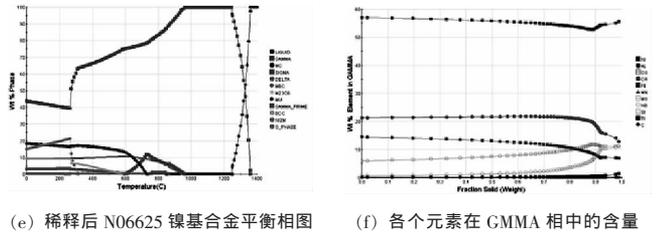
(a) 平均线膨胀系数曲线

(b) 导热系数曲线



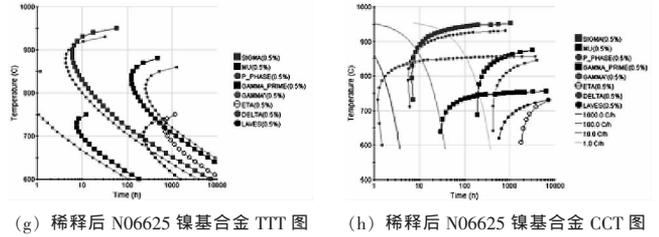
(c) 杨氏模量

(d) 比热容



(e) 稀释后 N06625 镍合金平衡相图

(f) 各个元素在 GAMMA 相中的含量



(g) 稀释后 N06625 镍合金 TTT 图

(h) 稀释后 N06625 镍合金 CCT 图

图 3 JMatPro 软件计算 Fe 稀释后的 N06625 镍合金的热物理性能

由图 1a, b, c, d 知, 液固相温度区间都为 1 358~1 128 ℃, 冷速 1 ℃/s, 结晶温度区间为 230 ℃, 热物理系数突变区就在固液两相区, 可以看出冷却时收缩较大, 焊缝两边刚性大, 容易拉裂。图 1e 是 N06625 镍合金的平衡相图, 显示室温平衡组织为 Ni_2M 相 (53.53%, 25 ℃) + GAMMA 相 (17.5%, 25 ℃) + MU 相 (14.7%, 25 ℃) + DELTA 相 (9.3%, 25 ℃) + GAMMA_PRIME 相 (3.2%, 25 ℃) + M_6C 相 (1.27%, 25 ℃) + G 相 (0.5%, 25 ℃); 液固相温度区间为 1 358~1 261 ℃, 结晶温度区间为 97 ℃; 从 GAMMA 相中析出 MC 相的温度区间为 1 236~907 ℃, 析出量很少; 从 GAMMA 相中析出 M_6C 相的温度区间为 1 009~766 ℃和 70~0 ℃, 析出量很少; 从 GAMMA 相中析出 DELTA 相的温度区间为 900~0 ℃, 最多析出量是当温度 540 ℃时 MU 相为 10.29%; 从 GAMMA 相中析出 MU 相的温度区间为 809~0 ℃, 最多析出量是当温度 80 ℃时 MU 相为 15.62%; 析出 $M_{23}C_6$ 相的温度区间为 770~47 ℃, 析出量很少; 析出 GAMMA_PRIME 相的温度区间为 595~0 ℃, 析出量不多 <4.9%; 析出 Ni_2M 相的温度区间为 492~0 ℃, 最多析出量是当温度 289.5 ℃时 Ni_2M 相为 58.41%; 这一点

为突变点；析出 G 相的温度区间为 289.5~0 °C，析出量很少；GAMMA 相的变化规律是 1 261~908 °C 几乎为 100% 的 GAMMA 相，908~492 °C，GAMMA 相含量逐渐下降，492~289.5 °C，GAMMA 相含量陡降，289.5~0 °C，GAMMA 相含量几乎无变化。图 1f 为各个元素在 GMMA 相中的含量，凝固刚开始时，Mo 在 GMMA 相中的含量仅为 6.38%，故易向液体中偏析。图 1g 是 N06625 的 TTT 图，MU 相的等温析出温度范围为 650（等温 9 208 h 开始析出）~810 °C（等温 9 701 h 开始析出），最易析出的温度为 760 °C（等温 1 215 h 开始析出）；SIGMA 的等温析出温度范围为 620（等温 8 703 h 开始析出）~760 °C（等温 1 215 h 开始析出），最易析出的温度为 750 °C（等温 874 h 开始析出）。图 1h 为 N06625 的 CCT 图。CCT 图与焊接的联系较为紧密，在连续冷却过程中当冷速大于 100 °C/h 时，先析出 M_6C ，再析出 $M_{23}C_6$ ；当冷却速度在 100 °C/h 和 10 °C/h 之间时，析出顺序为 $M_6C \rightarrow M_{23}C_6 \rightarrow GAMMA'' \rightarrow DELTA$ ；当冷速在 10 °C/h 和 1 °C/h 之间时，析出顺序为 $M_6C \rightarrow M_{23}C_6 \rightarrow DELTA \rightarrow GAMMA'' \rightarrow GAMMA_PRIME$ ；当冷速在小于 1 °C/h 时，析出顺序为 $M_6C \rightarrow M_{23}C_6 \rightarrow DELTA \rightarrow GAMMA'' \rightarrow GAMMA_PRIME \rightarrow SIGMA$ 。连续冷却无 MU 相析出。

图 2 为 JMatPro 软件计算出的 ERNiCrMo-3 焊丝镍基合金的热物理性能。图 2 a, b, c, d 的固液相温度区间都为 1 280~1 385 °C，冷速 1 °C/s，结晶温度区间为 105 °C，热物理系数突变区就在固液两相区。与图 1a, b, c, d 对比，可看出冷却时收缩变化要小，不易拉裂。图 2e 是 ERNiCrMo-3 焊丝平衡相图，显示室温平衡组织为 NI_3M 相（93.5%，25 °C）+GAMMA_PRIME 相（4.15%，25 °C）+GAMMA 相（1.73%，25 °C）+ M_6C 相（0.62%，25 °C）；固液相温度区间为 1 359~1 383 °C，结晶温度区间为 24 °C；从 GAMMA 相中析出 M_6C 相的温度区间为 1 062~731 °C，析出量为 0~0.55%；从 GAMMA 相中析出 MU 相的温度区间为 731~400 °C，最多析出量是当温度 567 °C 时 MU 相为 9.17%；析出 $M_{23}C_6$ 相的温度区间为 720~289 °C，析出量为 0.15%~0.006 1%；析出

ETA 相的温度区间为 600~566 °C，最高析出量是当温度 580 °C 时 ETA 相为 0.2%。图 2f 为各个元素在 GMMA 相中的含量，凝固刚开始时，Mo 在 GMMA 相中的含量为 7.42%，比图 1f 的含量高，故易向液体中偏析程度变小。图 2g 是 ERNiCrMo-3 焊丝的 TTT 图，在 720~630 °C 等温，仅有 M_6C 相析出，无其他相。图 2h 为 ERNiCrMo-3 焊丝的 CCT 图。CCT 图与焊接的联系较为紧密，在连续冷却过程中无相析出，主要是固溶强化。以上分析可知，焊丝材料的耐蚀性比母材更好。

图 3 为 JMatPro 软件计算出的 Fe 稀释后的 N06625 镍基合金的热物理性能。图 3a, b, c, d 的液固相温度区间都为 1 361 °C~1 120 °C，冷速为 1 °C/s，结晶温度区间为 241 °C，热物理系数突变区就在固液两相区。与图 1a, b, c, d 稀释前对比，可看出冷却时收缩更大，焊缝两边刚性大，易拉裂。图 3e 是稀释后 N06625 镍基合金平衡相图。与图 1a 对比，可以看出，稀释前无 SIGMA，稀释后出现 SIGMA，析出的温度范围为 1 000~600 °C，最大析出量为 13%。图 3f 为各个元素在 GMMA 相中的含量，凝固刚开始时，在 GMMA 相中 $w(Mo)$ 的含量仅为 6.1%，故易向液体中偏析。图 3g 是稀释后 N06625 镍基合金 TTT 图。与图 1g 对比可以看出，等温时，出现有害相 MU 相和 SIGMA 相的温度范围变大，等温时间大大缩短。MU 相的等温析出温度范围为 640（等温 8 844 h 开始析出）~880 °C（等温 475 h 开始），最易析出的温度为 840 °C（等温 127 h 开始析出）；SIGMA 相的等温析出温度范围为 600（等温 7 301 h 开始析出）~950 °C（等温 58 h 开始析出），最易析出的温度为 900 °C（等温 6 h 就析出了）。图 3h 为稀释后 N06625 镍基合金 CCT 图。与图 1h 对比可以看出，在连续冷却过程中容易出现 MU 相和 SIGMA 相，造成焊后接头耐蚀性下降。

综上所述并结合相关的知识，对 N06625 镍基合金焊接性总结如下。

1.2 N06625 镍基合金焊接性

一般来说，N06625 镍基合金焊接性较好。但

N06625 镍基合金的焊接性是由其自身特殊的热物理性能决定的,在具体焊接过程中也有很多难点,诸如:①因为热膨胀系数小,弹性模量大,因此焊接时存在一定变形和残余应力;②由于 N06625 合金中 $w(\text{Nb})$ 很高,达 3.15%~4.15%,Nb 可与 C, Si, S, P 等结合,形成如 $\text{Fe}_4\text{Nb}_5\text{Si}_3$ 等金属间化合物和低熔点共晶而引起热裂纹;③由于 N06625 合金焊缝结晶温度区间宽,液态温度为 1360 °C,最终结晶温度为 1152 °C,结晶温度区间达到 208 °C,在此温度区间热膨胀系数随温度的下降变化很大,冷却收缩受到拉力,焊缝很容易裂开,故热裂纹倾向大;④ N06625 合金中 $w(\text{Mo})$ 高达 9%左右,由于 Mo 在奥氏体中的溶解度低,故易向液体中偏析,因此先结晶的固相枝晶中心易形成贫 Mo 而优先被腐蚀;⑤ N06625 合金在 700~950 °C 之间加热,晶间腐蚀十分严重,因为此温度区间内会有大量的 Cr 和 Mo 碳化物析出,为此焊后应快速冷却以尽快通过此温度区间;⑥合金复合板焊接时,由于稀释作用,Fe 加入到焊缝中,Fe 对敏化态的 NiCrMo 合金耐蚀性十分有害。因为它能促进有害金属间相 μ 和 ρ 的析出,同时 Fe 的加入,使 Mo 和 Nb 在奥氏体中的溶解度减小,从而增加 Mo 和 Nb 的偏析倾向,进而加大热裂纹和腐蚀倾向;⑦焊后主要存在气孔和夹渣等焊接缺陷。

2 N06625 镍基合金及其复合板焊接试验

试验按 N06625 板材对接、N06625+16MnR 复合钢板对接和 N06625+16MnR 复合钢板堆焊 3 种情况,分别进行焊接试验。

2.1 N06225 板材对接焊接工艺试验

试验用镍基合金板为美国生产的 N06625,厚度分别为 2 mm 和 5 mm,试验用薄板为 1#,厚板为 2#;试验所用焊丝牌号为 ERNiCrMo-3,焊丝 Mo 含量较高,直径为 2 mm 和 2.4 mm。试板采用机加工制作坡口,坡口形式及焊道如图 4,5 所示。

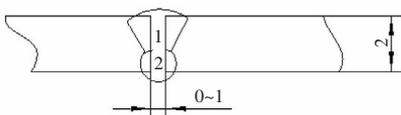


图 4 厚 2 mm 试板坡口形式及焊道示意图

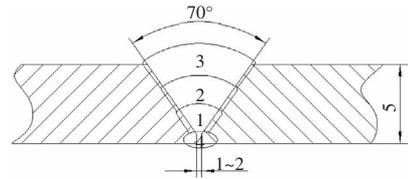


图 5 厚 5 mm 试板坡口形式及焊道示意图

试验采用手工钨极氩弧焊 (GTAW, 直流正接) 进行焊接。焊接时,先采用角向砂轮机认真清理坡口及其两侧各 50 mm 范围的杂质,并用丙酮将其清理干净。施焊时,采用背面通氩保护,氩气流量为 18 L/min,第 1 层焊完后用砂轮机打磨清根,然后焊第 2 层,道间温度小于 80 °C,焊接工艺参数见表 1。焊后对该试验板进行力学性能和腐蚀性试验,试验结果见表 2,表 3。

表 1 N06225 板材焊接工艺参数

编号	层道	焊丝直径/mm	焊接电流/A	电弧电压/V	焊速/(cm·min ⁻¹)	热输入/(kJ·min ⁻¹)	Ar 气流量/(L·min ⁻¹)	钨极直径/mm	喷嘴直径/mm
1#	1	2.0	65	12~13	10.4	4.5~4.9	16~18	2.5	18
	2	2.0	65	12~13	11.4	4.1~4.4	16~18	2.5	18
2#	1	2.4	110~120	12~13	17~19	4.2~5.5	16~18	2.5	18
	2	2.4	120~130	12~14	17~18	4.8~6.4	16~18	2.5	18
	3	2.4	120~130	12~14	17~19	4.5~6.4	16~18	2.5	18
	4	2.4	130~140	12~14	17~19	4.9~6.9	16~18	2.5	18

表 2 力学性能试验结果

编号	拉伸试验		弯曲试验			
	R_m /MPa	断裂位置	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	面弯	背弯
1#	750	焊缝	8	180	合格	合格
	750	焊缝	8	180	合格	合格
2#	760	焊缝	8	180	合格	合格
	760	焊缝	表 3 腐蚀试验结果	180	合格	合格

腐蚀试验方法						
编号	(ASTM G28 沸腾 120 h) 腐蚀率		(ASTM G48A (50±1) °C, 24 h) 腐蚀率			
	$I/(g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1})$	mm/a	结论	$I/(g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1})$	mm/a	结论
1#	0.482	0.500	合格	1.351	0.006	无点蚀
	0.467	0.485	合格	3.417	0.015	无点蚀
2#	(ASTM G28 沸腾 24 h) 腐蚀率		(ASTM G48A (50±0.5) °C, 24 h) 腐蚀率			
	0.209 9	0.302	合格	0	0	无点蚀
	0.195	0.285	合格	0	0	无点蚀

2# 试板金相分析结果:焊缝金相组织为单相奥氏体 (树枝晶);母材金相组织为单相奥氏体,晶粒度 6 级。

2.2 N06625 复合板对接焊接工艺试验

针对 N06625+16MnR 复合钢板焊接,分为热处

理和非热处理态，进行了 2 组试验，试板编号：焊后不热处理为 3# 试板，焊后热处理为 4# 试板，焊接坡口形式及焊道布置如图 6 所示。

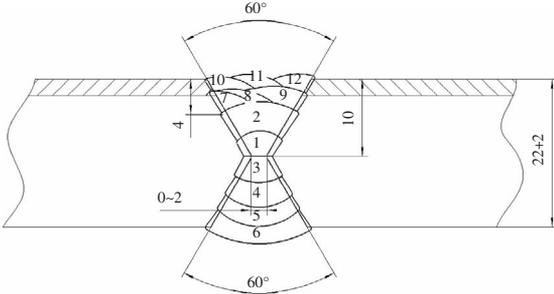


图 6 N06625 复合板试板坡口形式及焊道示意图

基层采用焊条电弧焊 (SMAW, 直流反接) 进行焊接, 基材选用焊条 E5015, 过渡层和复层采用手工钨极氩弧焊 (GTAW, 直流正接) 进行焊接, 过渡层、复层选用 Mo 含量较高的焊丝 ERNiCrMo-3, 过渡层、复层的焊接道间温度均小于 80 °C, 2 副试板焊接工艺参数相同, 见表 4。3# 试板在焊态下进行性能试验, 4# 试板经过 1 000 °C/25 min 热处理, 风冷。2 副试板力学性能及腐蚀试验结果见表 5, 表 6。

表 4 3# 试板, 4# 试板焊接工艺参数

层道	焊材直径 /mm	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊速 / (cm·min ⁻¹)	热输入 / (kJ·cm ⁻²)	Ar 气流量 / (L·min ⁻¹)	钨极直径 /mm	喷嘴直径 /mm
基层	3.2	90	20~22	8~9	12.7~13.9	—	—	—
	4.0	175	22~24	9~10	24.1~26.3	—	—	—
	3.2	125	20~22	8~6	17.2~18.9	—	—	—
	4.0	175	22~24	9~10	24.3~26.5	—	—	—
过渡层	2.0	120	12~14	13.5	6.4~7.5	18	2.5	18
复层	2.0	120	12~14	14	6.2~7.2	18	2.5	18

表 5 3# 试板, 4# 试板力学性能试验结果

编号	拉伸试验		弯曲试验			冲击试验	
	R _m /MPa	断裂位置	弯轴直径 /mm	弯曲角度 / (°)	侧弯	试验位置	冲击吸收功 A _{KV} /J (20 °C)
3# 试板	615	母材	40	180	无裂纹	WM	135, 150, 151
3# 试板	620	母材				HAZ	97, 100, 93
4# 试板	540	焊缝	40	180	—	WM	148, 146, 137
4# 试板	550	焊缝				HAZ	110, 90, 74

表 6 3# 试板, 4# 试板腐蚀试验结果

编号	腐蚀试验方法					
	(ASTM G28 沸腾 120 h) 腐蚀率			(ASTM G48A (50±1) °C, 24 h) 腐蚀率		
	/(g·m ⁻² ·h ⁻¹)	mm/a	结论	/(g·m ⁻² ·h ⁻¹)	mm/a	结论
3# 试板	1.211	1.257	合格	0.004	0.874	无点蚀
	1.245	1.293	合格	0.007	1.566	无点蚀
4# 试板	2.965	3.077	合格	0.007	1.589	无点蚀
	2.880	2.990	合格	0.007	1.581	无点蚀

2.3 N06625 复合板堆焊工艺试验

针对 N06625+16MnR 复合板进行了 2 组堆焊试验, 2 副试板分别编为 5# 试板和 6# 试板。过渡层和复层采用手工钨极氩弧焊 (GTAW, 直流正接) 进行焊接, 过渡层、复层选用 Mo 含量较高的焊丝 ERNiCrMo-3 进行焊接, 道间温度均小于 80 °C, 堆焊焊缝层道布置如图 7 所示。堆焊试验焊接工艺参数见表 7。

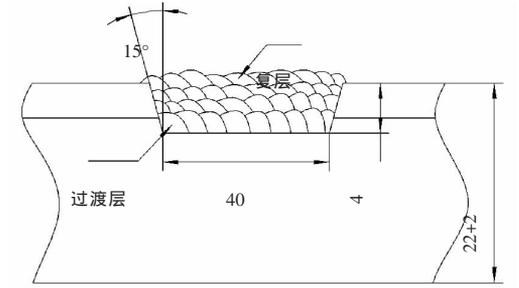


图 7 N06625 复合板堆焊焊道布置

表 7 5# 试板, 6# 试板焊接工艺参数

层道	焊材直径 /mm	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊速 / (cm·min ⁻¹)	热输入 / (kJ·cm ⁻²)	Ar 气流量 / (L·min ⁻¹)	钨极直径 /mm	喷嘴直径 /mm
过渡层	2.4	140~160	12~13	10.4	9.7~12	18	2.5	18
复层	2.4	140~160	12~13	10.1	10~12	18	2.5	18
复层	2.4	140~160	12~13	9.75	10.3~12.8	18	2.5	18

5# 试板以焊后态进行弯曲及腐蚀试验, 6# 试板经过 1 000 °C/25 min 热处理, 风冷, 然后进行试验, 试验结果数据见表 8, 表 9 和表 10。

表 8 5# 试板, 6# 试板弯曲试验结果

编号	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	侧弯
5# 试板	40	180	无裂纹
6# 试板	40	180	无裂纹

表 9 5# 试板, 6# 试板腐蚀试验结果

编号	腐蚀试验方法					
	(ASTM G28 沸腾 120 h) 腐蚀率			(ASTM G48A (50±1) °C, 24 h) 腐蚀率		
	/(g·m ⁻² ·h ⁻¹)	mm/a	结论	/(g·m ⁻² ·h ⁻¹)	mm/a	结论
5# 试板	0.702	0.728	合格	0.007	1.578	无点蚀
6# 试板	0.748	0.776	合格	0.010	2.343	无点蚀

表 10 测试 5[#], 6[#] 试板堆焊层的化学成分 (质量分数) (%)

编号	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
5 [#] 试板	0.012	0.030	0.24	0.003	0.004	21.44	9.15
6 [#] 试板	0.005	0.036	0.023	0.003	0.002	21.68	9.15
编号	Ni	Ti	Cu	Al	Nb	Fe	—
5 [#] 试板	63.94	—	0.01	0.20	4.19	0.45	—
6 [#] 试板	93.54	0.27	0.01	—	4.06	0.91	—

3 结果与讨论

从以上几个试验的结果来看, 1[#] 试板和 2[#] 试板 (N06625 纯材对接试验) 各检验项目全部一次合格; N06625+16MnR 复合板的对接焊接及堆焊试验, 力学性能试验均一次合格, 主要是腐蚀试件都存在不同程度的超标问题, 通过重复试验及补做试件, 加之严格的焊接操作, 最终基本上合格。产生腐蚀数据超标的原因可能有以下原因: ①焊接过渡层时 Fe 的稀释过大, 促使 Mo 和 Nb 的偏析加大, 加大了合金的腐蚀倾向; ②焊接工艺参数不当, 可能有的试板在焊接时偶尔焊接参数过大, 使得焊缝中某些元素烧损造成的。

4 结论

根据上述各项试验及结果, 得出以下结论:

(1) 焊前应认真清除焊丝、坡口面及两侧区域内的油污、杂物、记号笔迹等, 用不锈钢丝轮打磨或使用丙酮清洗。

(2) 宜选用 C 含量低, S, P 杂质低, Fe 含量不高的焊材施焊, 以避免热裂纹和耐蚀性能下降。

(3) 使用小直径焊接材料, 选用小焊接参数施焊, 严格控制焊接热输入, 最好小于 1.5 kJ/cm, 层间温度最好控制在 80 °C 以下。

(4) 在焊接复合钢板时, 过渡层焊接应采用小焊丝、小参数、快速焊、不摆动等技术措施, 尽量减少母材中 Fe 对合金的稀释。

(5) 对于复层较薄的复合板, 考虑到 Mo, Nb 的偏析及 Fe 的稀释, 如要满足高耐蚀性要求, 则最好选用 Alloy59 (ERNiCrMo-13), INCO-WELD 686CPT, C-22 等更高级别的焊材, 以减少合金元素稀释带来的不利影响。

参考文献:

- [1] 李晓峰, 陈冰泉, 黄永溪. JMatPro 软件在药芯焊丝 W110 性能研究中的应用[J]. 热加工工艺, 2010, 39(9): 5-7.
- [2] 杨瑞成, 牛绍蕊, 王凯旋. 镍基耐蚀合金扩散均匀化处理及组织性能演变[J]. 江苏大学学报: 自然科学版, 2009, 30(1): 32-35.
- [3] 闵永安, 刘湘江, 毛远建. 应用 JMatPro 软件对比研究两种抽油杆钢的合金化特点[J]. 上海大学学报: 自然科学版, 2008, 14(5): 503-508.
- [4] 黄嘉琥. 压力容器材料实用手册——特种材料[M]. 北京: 化学工业出版社, 1994.
- [5] 万建春, 郑世平. 磷酸盐反应釜用 C-276+16MnR 复合板的腐蚀原因分析[J]. 中国化工装备, 2007(1): 44-46.
- [6] 李继三. 电焊工[M]. 北京: 中国劳动出版社, 2011.

作者简介: 周文超 (1965—), 男, 四川武胜人, 硕士, 副教授, 宜宾市学术和技术带头人, 主要研究方向: 特种材料焊接工艺。

信息

我国首套数字化管道焊缝检测系统成功研制

日前, 我国首套数字化管道焊缝检测系统研制成功, 与传统胶片检测相比该系统可大幅节省时间、降低成本, 并在未来维护时实现管道数字化管理。

此次由中国工程物理研究院应用电子所、四川迪派锐科技研发的我国首套数字化管道焊缝检测系统, 包括完全自主知识产权的射线源、探测器、旋转设备、图像复原软件等组成, 拥有 5 项专利、2 项计算机软件著作权。工作中, 系统采用基于平板探测器的数字化成像技术, 将 X 射线内源与外源两种检测方式集中为一体, 不仅直接生成高清数字图像, 还可加入 GPS 信息精确定位每一道焊口的坐标, 有效避免漏检问题。

该系统历时 7 年研发, 具有高效、环保、低成本、应用广泛等特点, 适用范围包括油气、热力管道, 钢铁、橡胶管道, 陆地、海洋管道等多种类型。相较于目前公认较先进的超声波管道检测系统, 其成像更加清晰、适用环境更广泛。目前, 我国油气管道总里程已超过 103 万公里, 此次研发的数字化管道焊缝检测系统将具有广泛的市场应用空间。

(节选自: 机经网)

Energy conservation and emission reduction for automobile & spot welding technology of hot stamping boron steel

CHEN Shu-jun, WANG Xu-ping, BAI Li-lai, YU Yang, HAO Su-feng

(Advanced Manufacturing Technology for Automotive Structural Components Engineering Center of the Education Ministry, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China) P33–36

Abstract: The study on hot stamping technology which is one of the import technology for vehicle mass reduction is still very much in its infancy in China. This paper gave a brief introduction of hot stamping technology and its current research status. The effect of current of resistance spot welding on the mechanical properties and microstructure were studied. The experiments results showed that the welding nugget diameter and shear load carrying capacity increase with the current increasing from 6 kA to 9.5 kA at 6 kN electrode pressure. But the ductility ratio first increased, then decreased. There is a soften region exist in the heat affected zone (HAZ) of the welding joints. The width of the soften region increases with the increasing of current. With the increasing of current, the fracture mode changes from the interfacial fracture to nugget pull-out, which is determined by the soften condition of HAZ.

Key words: hot stamping boron steel, resistance spot welding, vehicle

Research on welding process of N06625 alloy and its composite plate with the help of JMatPro software

ZHOU Wen-chao, ZHOU Wei

(Yibin Vocational & Technical College, Yibin 644003, Sichuan pro., China) P40–45

Abstract: In welding process, the welding quality of N06625 nickel alloy directly affect whether it could keep fine mechanical properties and excellent corrosion resistance. The experiment researched welding crafts of the N06625 nickel alloy and its composition panel; using JMatPro software to analysis thermal expansion coefficient, thermal conductivity, balance phase diagram, TTT graph and CCT graph that affect the welding characteristics of the basic materials and welding materials, was used to guide the welding crafts developing. The results showed that with rigorous cleaning before welding, pure argon-gas protecting, choosing reasonable ingredients welding material, developing appropriate welding parameters and targeted welding techniques, it could avoid defects such as hot cracking and bad corrosion resistance, and get high quality welds; the welded sample plates were successfully carried the tensile test, bending test, impact testing, metallurgical testing and corrosion tests, and results were.

Key words: N06625 nickel base alloy, JmatPro, welding measures, mechanical property, corrosion resistance property

Effect of the TiC whiskers on the copper base spot welding electrode

ZHOU Hui-lin¹, DUAN Cui-fang² and LIU Dan³

(1. Department of Materials Engineering, Henan Mechanical and Electrical Engineering College, Xinxiang 453002, Henan pro., China; 2. Department of Mechanical and Electronic Engineering, Henan Mechanical and Electrical Engineering College, Xinxiang 453002, Henan pro., China; 3. Shanghai Turbine Plant Company Limited, Shanghai 200240, China) P46–48

Abstract: Prepared the copper matrix composites with TiC whiskers by spot welding, and analyzed the properties of the composite materials. The test results showed that adding TiC whiskers to copper matrix could reduce the copper substrate resistance, improve the hardness, and TiC whiskers could form the function of skeleton to improve the matrix organization. Using this composite material as electrode could effectively weaken the Cu-Al synthesis between the electrode and the workpiece, thus prolong the life of the copper base spot welding electrode.

Key words: TiC whiskers, composite materials, spot welding