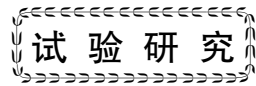


doi:10. 3969/j. issn. 1001 - 4837. 2023. 06. 003



N06200 镍基合金与 S32168 不锈钢 TIG 焊接 微观组织与力学性能研究

武靖伟,王志刚,刘宝剑,张 雪,杨 洋,陈莉雅,李亚亚,李 青
(兰州兰石重型装备股份有限公司,兰州 730314)

摘 要:采用钨极氩弧焊接实现了 N06200 镍基合金和 S32168 不锈钢之间的可靠焊接,研究了焊接接头组织和力学性能。结果表明:N06200 镍基合金和 S32168 不锈钢 TIG 焊接接头组织是由母材区的等轴晶、沿垂直于热影响区方向生长的胞状晶及焊缝中心的树枝晶组成;在焊接电流 130 ~ 150 A、焊接电压 15 ~ 17 V、焊接速度 80 ~ 100 mm/min 时接头的强度最优,抗拉强度为 675 MPa,相较于 N06200 母材的 780 MPa 有所降低,试样断裂方式为发生在 S32168 不锈钢母材侧的韧性断裂为主、少许脆性断裂为辅的混合断裂,未发现明显的解理断裂特征;焊缝区域的显微硬度均高于镍基合金和不锈钢侧,焊缝区域的富 Nb 相可有效地提高接头的显微硬度。
关键词:N06200 镍基合金;S32168 不锈钢;微观组织;力学性能
中图分类号:TH142. 2;TG407 **文献标志码:**A

Microstructure and mechanical properties of TIG welded joint of N06200 nickel base alloy and S32168 stainless steel

WU Jingwei, WANG Zhigang, LIU Baojian, ZHANG Xue, YANG Yang, CHEN Liya, LI Yaya, LI Qing
(Lanzhou LS Heavy Equipment Co., Ltd., Lanzhou 730314, China)

Abstract:The reliable welding between N06200 nickel base alloy and S32168 stainless steel was realized by TIG welding, and the microstructure and mechanical properties of the welded joint were studied. The results show that the microstructures of TIG welded joint of N06200 nickel base alloy and S32168 stainless steel are composed of the equiaxed crystal of base material, the cell crystal growing in a direction perpendicular to the heat affected zone and the dendritic crystal at the center of the weld. When the welding current is 130 ~ 150 A, the welding voltage is 15 ~ 17 V and the welding speed is 80 ~ 100 mm/min, the strength of the welded joints is the best. The tensile strength is 675 MPa, somewhat decrease compared with 780 MPa of N06200 nickel based material. The fracture form of the specimen is a mixed fracture of mainly ductile fracture occurring at the base metal side of S32168 stainless steel and a little brittle fracture, and no obvious cleavage fracture is found under the joints. The microhardness of the weld zone is higher than that on the nickel base alloy side and on the stainless steel side. The Nb-rich phase of weld zone can effectively improve the microhardness of the joint.
Key words:N06200 nickel base alloy;S32168 stainless steel;microstructure;mechanical properties

0 引言

镍基合金具有良好的耐高温和耐腐蚀性能^[1],不锈钢具有优异的耐蚀性、热稳定性和成形性等特点^[2-3],且不锈钢材料成本低,不锈钢与镍基合金焊接而成的双金属结构可同时将两种材料的优良性能体现出来,因此镍基合金与不锈钢之间的焊接成为诸多学者所研究的热点。

李宁等^[4]采用真空电子束对 Inconel 718 镍基合金与 304 不锈钢进行了焊接,研究了接头微观组织及力学性能,结果表明,真空电子束焊后焊缝区域主要由 Ni 基和 Fe 基枝晶组成,枝晶间有富 Nb 相析出,性能较镍基合金与不锈钢均得到了一定地提升。黄嘉森等^[5]对 Inconel 690 镍基合金与 SUS304 不锈钢进行激光对接焊试验,分析了接头微观组织与力学性能,研究发现激光焊后的接头呈“高脚杯”状,焊缝区域弥散分布着含 Ti 相。ADOMAKO 等^[6]采用激光焊对 IN718 镍基合金和 SUS304 不锈钢进行了焊接,研究发现在激光焊接接头焊缝过渡区域发现大量的 Mo 元素和 Nb 元素。KANGAZIAN 等^[7]对 Incoloy 825 镍基合金与 2507 双相钢进行了搅拌摩擦焊接,研究了接头微观组织及力学性能,研究表明,采用搅拌摩擦焊可获得高于母材的硬度微观结构,接头的强度略高于 Incoloy 825 镍基合金。

某项目 HCl 脱除塔属于精细化工领域,产品合拢焊缝材料分别为 N06200 和 S32168。N06200

镍基合金为美国 Haynes 公司在 59 合金的元素的基础上添加了 1.5% 的 Cu 元素而研发出来的一种新型材料^[8-10]。本文通过对 N06200 镍基合金与 S32168 不锈钢焊接特性进行分析,进一步揭示两种异种合金焊后组织与性能的变化,同时为镍基合金/不锈钢异种金属焊接结构在工程应用中提供一定的数据支撑。

1 试验材料与试验方法

试验材料为 N06200 镍基合金和 S32168 不锈钢板材,规格均为 600 mm×130 mm×6 mm,采用手工钨极氩弧焊(TIG)沿长度方向进行焊接试验,焊丝选用与 N06200 镍基合金相匹配的 ERNiCrMo-17(Ø2.0 mm)。表 1 列出 N06200 镍基合金、S32168 不锈钢及 ERNiCrMo-17 氩弧焊丝的化学成分,母材的力学性能见表 2。N06200 镍基合金和 S32168 不锈钢 TIG 焊接示意图如图 1 所示。

表 1 N06200 镍基合金、S32168 不锈钢及 ERNiCrMo-17 焊丝化学成分

Tab. 1 Chemical composition of N06200 nickel base alloy, S32168 stainless steel and ERNiCrMo-17 welding wires %											
材料	Ni	Cr	Mo	Cu	Mn	C	Si	S	P	Fe	Ti
N06200	余量	23.00	16.00	1.60	0.19	≤0.010	≤0.08	≤0.010	≤0.020	—	—
S32168	10.89	18.12	—	—	1.90	0.050	0.62	0.012	0.015	余量	0.6
ERNiCrMo-17	余量	23.30	16.47	1.57	0.09	0.008	0.01	0.001	0.001	—	—

表 2 N06200 镍基合金和 S32168 不锈钢的力学性能

Tab. 2 Mechanical properties of N06200 nickel base alloy and S32168 stainless steel			
材料	抗拉强度 R_m /MPa	屈服强度 R_{el} /MPa	断面收缩率 A (%)
N06200	≥752	≥372	≥63
S32168	≥520	≥205	≥35

焊前对坡口进行 PT 检测,然后再用丙酮或酒精进行擦拭。焊接时,应提前通气和焊后断气及采用气体扩散屏达到气体的异常扰动和焊缝的保护作用^[11-13];应选择直径>10 mm 的焊枪进行焊接,背面采用氩气连续跟踪保护,还需严格控制焊接热输入和层间温度以避免焊接热裂纹的产生^[13],通常层间温度控制在 100℃ 以下,焊接工

艺参数如表 3 所示。

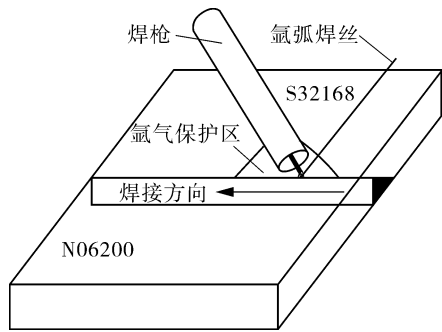


图 1 N06200 镍基合金和 S32168 不锈钢 TIG 焊接示意
Fig. 1 Schematic diagram of TIG welding test of N06200 nickel base alloy and S32168 stainless steel

表 3 N06200 镍基合金与 S32168 不锈钢 TIG 焊接工艺参数

Tab. 3 TIG Welding parameter of N06200 nickel base alloy and S32168 stainless steel						
层次	焊接方法	填充材料	直径/mm	焊接电流/A	焊接电压/V	焊接速度/(mm·min ⁻¹)
第 1 层	TIG	ERNiCrMo-17	Ø2.0	100~120	15~17	70~90
第 2 层	TIG	ERNiCrMo-17	Ø2.0	130~150	15~17	80~100

2 试验结果与讨论

2.1 接头宏观形貌

在正式焊接前,选取 2 块同厚度、坡口型式相同的 N06200 镍基合金和 S32168 不锈钢试板进行焊接试验,在熔池宽、余高低的焊接要求的基础上,通过多次焊接试验及试验数据的分析,获得一组成形良好、性能满足要求的焊接工艺参数(见表 3),焊接接头宏观形貌如图 2 所示。可以看出,焊缝表面成型良好,且无咬边、裂纹等表面焊接缺陷。经过 RT 检测,焊缝内部未发现气孔、夹渣、裂纹等内部焊接缺陷。

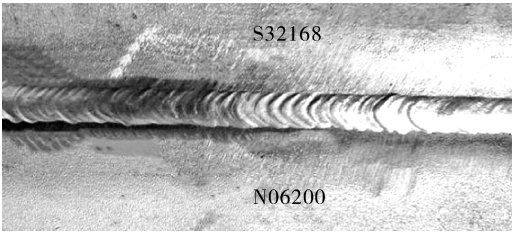


图 2 焊接接头宏观形貌

Fig. 2 Macro morphology of welded joint

2.2 微观组织

接头横截面宏观形貌如图 3 所示,由图发现整个焊缝呈“梯形”。分析原因为 N06200 镍基合金熔点、热导率及比热容均低于 S32168 不锈钢,在电弧热源的作用下镍基合金的熔化量较不锈钢多造成的^[14]。晶粒依附于不锈钢侧横向生长至焊缝中部,而镍基合金侧枝晶分布较为分散,故在熔池的凝固过程中,两侧过冷度的不同将影响着整个焊缝的结构形貌。

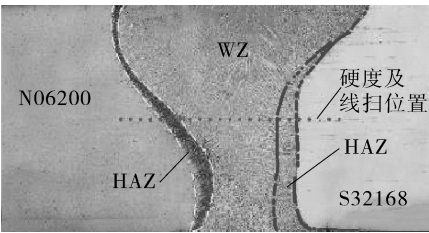


图 3 接头横截面宏观形貌

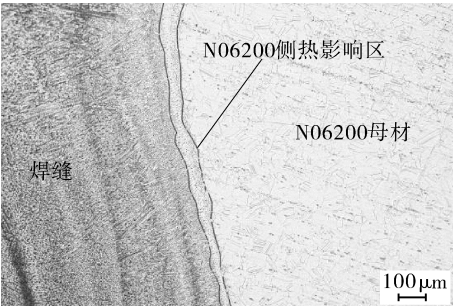
Fig. 3 Cross-section profile of welded joint

采用金相显微镜对焊接接头进行金相显微观察,以分析不同区域微观组织的特征,如图 4 所示。可以看出,N06200 镍基合金母材(见图 4(a))为奥氏体等轴晶,但晶界位置弥散分布着少许杂质相,焊缝区(见图 4(c))的组织为树枝晶,焊缝两侧的热影响区(见图 4(b)(d))为狭条状,与母

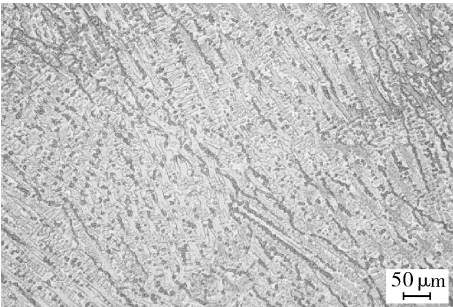
材存在明显的界线。分析原因为在电弧热输入的作用下,分界线附近的胞状晶沿垂直于热影响区的方向生长,最终在焊缝区形成树枝晶组织。



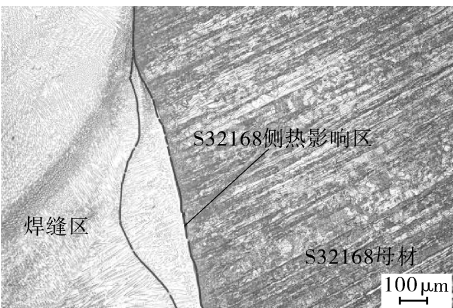
(a) N06200 镍基合金母材



(b) 镍基合金侧热影响区



(c) 焊缝区域



(d) 不锈钢侧热影响区

图 4 N06200 镍基合金与 S32168 不锈钢焊接接头典型区域微观组织
Fig. 4 Microstructure of typical regions of the welded joints of N06200 nickel base alloy and S32168 stainless steel

采用 EDS 分析仪对接头进行 EDS 点扫描和线扫描,以分析焊缝组织内元素的演变规律,在焊缝微观组织形貌中随机选取 3 个不同位置进行 EDS 点扫描能谱分析,图 5(a)示出点扫描位置,其分析结果如表 4 所示。可以看出,焊缝组织主要是由 Fe - Ni 金属间化合物组成,其存在少许富 Nb 相,分析原因为在镍基合金凝固的过程中,Nb 和 Ti 组成的 NbTi 的形式析出,析出物形成网状增强相,对接头的力学性能具有一定的增强作用^[15-16]。线扫描结果如图 5(b)所示。可以看出,在电弧热输入的作用下,Fe 元素和 Ni 元素在焊缝中平均分布,Ni 元素相对 N06200 母材、Fe 元素相对 S32168 母材均呈现下降的趋势。

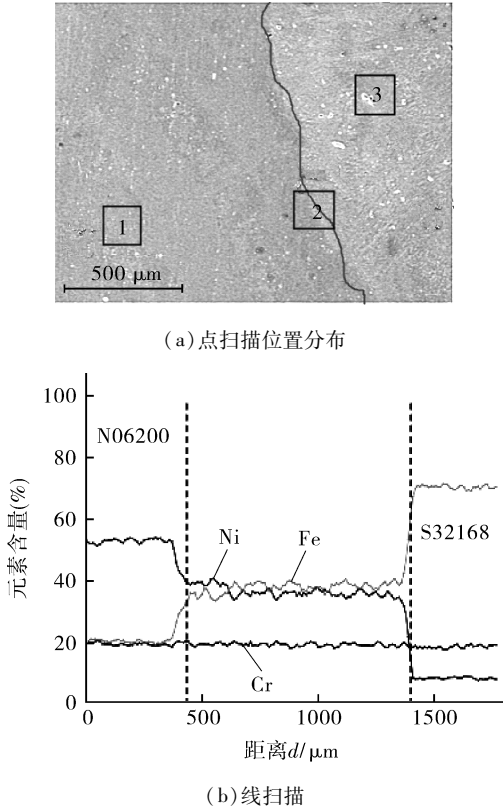


图 5 焊接接头元素扫描示意

Fig. 5 Schematic diagram of scanning of elements in the welded joint

表 4 图 5(a) 中典型位置元素 EDS 分析结果

Tab. 4 The EDS analysis result of elements in typical position in Fig. 5(a) %

位置	Ni	Cr	Fe	Ti	Nb
1	57.88	23.9	16.32	0.85	1.05
2	36.47	18.9	35.48	0.63	8.52
3	45.88	23.11	30.68	0.33	0

2.3 拉伸性能与断口形貌分析

采用线切割在 X 射线检测合格的焊接接头中部平行获取两件拉伸试样(接头 1 和接头 2)进行拉伸试验,以获得 N06200 镍基合金与 S32168 不锈钢焊接接头抗拉强度、屈服强度、断面收缩率及延伸率等拉伸指标,接头拉伸断裂位置如图 6 所示。可以看出,接头均断裂于 S32168 母材位置。并将 N06200 镍基合金母材和 S32168 不锈钢母材的力学性能指标进行对比,其结果如图 7 所示。可以看出,接头的抗拉强度介于镍基合金母材与不锈钢之间,抗拉强度值为 675 MPa,达到 N06200 母材强度的 86.53%,说明采用钨极氩弧焊可实现 N06200 镍基合金与 S32168 不锈钢的有效焊接;从断面收缩率和延伸率来看,焊接接头具有良好的塑性,分析原因为焊缝区的 Fe - Ni 金属间化合物在一定程度上保持了良好的强度和塑性。

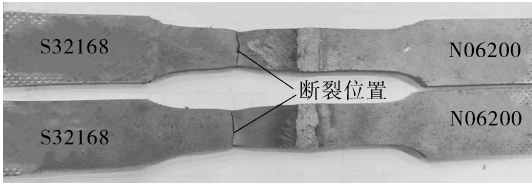


图 6 接头拉伸断裂位置示意

Fig. 6 Schematic diagram of tensile fracture position of the welded joint

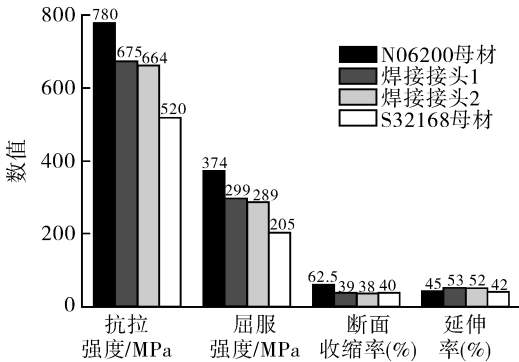


图 7 焊接接头与母材力学性能对比

Fig. 7 Comparison of mechanical properties of welded joint and base metal

采用扫描电镜对断口形貌进行分析,如图 8 所示。从图 8(a)可以看出,在焊接接头断口部位存在大量参差不齐的韧窝,故该焊接接头的断裂

方式为韧性断裂。对图 8(a)中 A 区域局部放大,如图 8(b)所示,发现部分区域存在撕裂,判断该部位为脆性断裂,因此从整体来看,N06200 镍基合金与 S32168 不锈钢焊接接头的断裂形式为韧性断裂 + 少许脆性断裂的混合型断裂。分析原因因为在外载荷的作用下,接头焊缝区域的富 Nb 相与母材产生分离,但焊接接头具有良好的塑性,迫

使富 Nb 相在受力质点处发生聚集,从而造成应力集中。而母材与富 Nb 相在分离的过程中将产生大量的孔洞和撕裂,最终以“颈缩”的方式断裂,造成失效^[4]。对图 8(b)中所标注的位置 B 进行 EDS 点扫描,扫描结果如图 8(c)所示,可以看出,断口部位主要元素为 Ni,Cr,Fe,由此判断此部位的成分为 NiCrFe 金属间化合物。

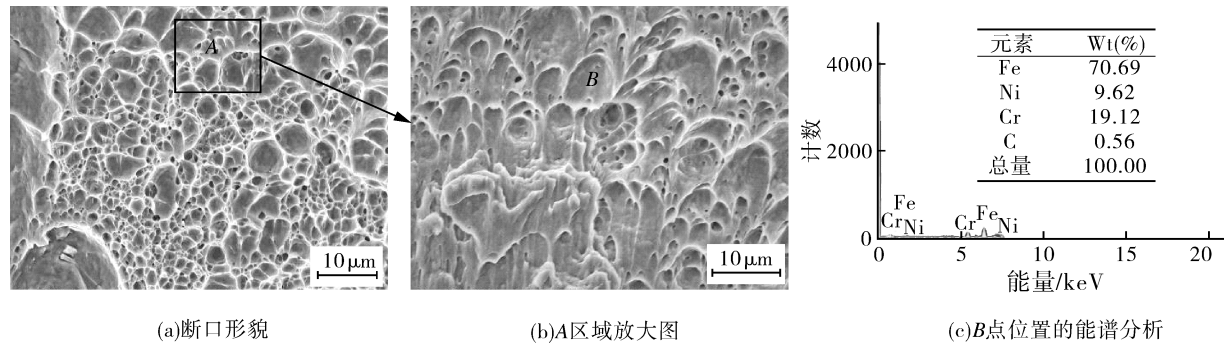


图 8 接头断口形貌与 EDS 能谱图

Fig. 8 Fracture surface morphologies and EDS analysis of the welded joint

2.4 弯曲性能分析

采用线切割在 X 射线检测合格的焊接接头中部平行获取 4 件弯曲试样分别进行面弯和背弯试验,以获取 N06200 镍基合金与 S32168 不锈钢焊接接头的弯曲性能。图 9 示出接头弯曲试验后的宏观形貌。可以看出,当弯曲角度达到 180°,面弯和背弯试样均没有裂纹,由此表明 N06200 镍基合金与 S32168 不锈钢焊接接头具有良好的弯曲性能。



图 9 弯曲试样宏观示意

Fig. 9 Schematic diagram of macro morphology of the bent specimen

2.5 显微硬度分析

对接头距上、下表面 1.6 mm 处、T/2 处分别进行显微硬度测量,硬度分布结果如图 10 所示。可以看出,焊缝区域的显微硬度(390HV)均高于镍基合金(360HV)和不锈钢侧(270HV)。分析原因为焊缝区域的富 Nb 相可有效地提高接

头的显微硬度,焊缝内 Ni 元素含量较高的镍基合金侧硬度高于 Fe 元素含量高的焊缝中部及不锈钢侧。

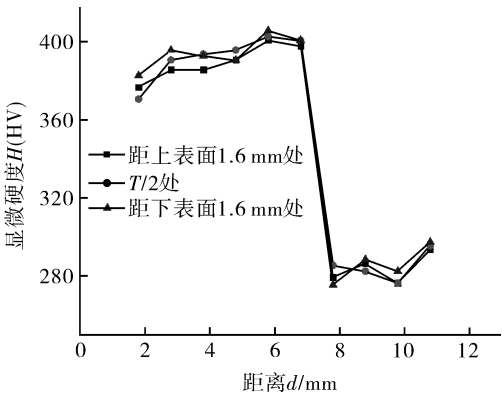


图 10 焊缝水平方向显微硬度分布

Fig. 10 Horizontal distribution of micro hardness of the welded joint

2.6 腐蚀试验

由于 N06200 和 S32168 存在敏化温度区间,因此该异种金属焊接接头的腐蚀性能能否满足产品环境的要求成为本文的关键性依据。在腐蚀试验中,经综合考虑,最终选取了 ASTM A262 方法 E、ASTM G48 方法 A 及 ASTM G36 方法等进行腐蚀试验,以验证熔覆金属的腐蚀

性能^[17-18]。

(1)ASTM A262 方法 E。

在检测合格的对接试件中部取 2 件平行试样按照 ASTM A262 方法 E 进行腐蚀试验,将抛光后的试样浸泡在 100 gCuSO₄·5H₂O + 100 mL 硫酸 + 700 mL 蒸馏水中进行腐蚀,腐蚀时间为 15 h。待腐蚀完成后,进行弯曲试验,弯曲半径为试样厚度的 2 倍,弯曲后发现接头无明显晶间腐蚀裂纹。

(2)ASTM G48 方法 A。

在检测合格的对接试件中部取 2 件平行试样按照 ASTM G48 方法 A 进行腐蚀试验,试样规格为 39.70 mm × 6 mm × 29.92 mm,将抛光后的试样浸泡在 16 mL 盐酸 + 6% FeCl₃ 溶液中进行腐蚀,腐蚀时间为 72 h,试验数据如表 5 所示。

表 5 ASTM G48 方法 A 腐蚀试验数据

Tab. 5 ASTM G48 method A corrosion test data

试样 编号	试样原质量/ g	腐蚀后质量/ g	腐蚀率/ [g · (m ² · h) ⁻¹]
1 [#]	57.055 6	57.017 2	0.044 91
2 [#]	57.071 5	57.017 8	0.062 79

从表 5 可以看出,两试样的平均腐蚀率为 0.053 85 g/(m² · h),小于一般技术规定的标准值(4.0 g/(m² · h)),说明该异种金属焊接接头的点腐蚀能力较好。

(3)ASTM G36 方法。

在检测合格的对接试件中部取 3 件平行试样按照 ASTM G36 方法进行腐蚀试验,将抛光后的试样浸泡在温度为 155 ℃ 的 45% MgCl₂ 溶液中进行腐蚀,加载应力为 210 MPa,加载周期为 96 h,在两个连续周期内,经放大镜观察试样均未发现明显裂纹。

3 结论

(1)采用钨极氩弧焊可以实现 N06200 镍基合金和 S32168 不锈钢之间的有效焊接,可获得表面成型良好、且无咬边、裂纹的焊接接头,接头的腐蚀性能良好。

(2)N06200 镍基合金和 S32168 不锈钢 TIG 焊接接头是由沿垂直于热影响区的方向生长的胞状晶及焊缝中心的树枝晶组成,焊缝与母材存在明显的分界线,热影响区呈狭条状。

(3)焊接接头的断裂方式为韧性断裂为主、少许脆性断裂为辅的混合型断裂,接头的抗拉强

度介于 N06200 镍基合金母材与 S32168 不锈钢之间,强度值为 675 MPa,达到 N06200 镍基合金母材强度的 86.53%。

(4)在弯曲载荷的作用下,焊接接头整体弯曲性能良好,面弯及背弯试验结果均合格。焊缝区域的显微硬度均高于镍基合金和不锈钢侧。

参考文献:

[1] 吴冰,李晋炜,毛智勇,等. 镍基高温合金电子束焊接接头疲劳性能[J]. 焊接学报,2013,34(8): 109-112.
WU Bing,LI Jinwei,MAO Zhiyong,et al. Fatigue properties of electron beam welded joints of Nickel base superalloy[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2013,34(8):109-112.

[2] 周成,刘海滨,褚言会,等. S32168 在氯离子环境中的应力腐蚀试验研究[J]. 压力容器,2015,32(5): 18-23.
ZHOU Cheng,LIU Haibin,CHU Yanhui,et al. Experimental research on stress corrosion of S32168 in chloride ion environment[J]. Pressure Vessel Technology, 2015, 32(5):18-23.

[3] 秦兴文,杨伟良,王坤,等. 固溶处理对 S32168 不锈钢管组织及性能的影响[J]. 钢管,2021,50(2): 24-29.
QIN Xingwen, YANG Weiliang, WANG Kun, et al. Effect by Solution treatment on structure and properties of S32168 stainless steel pipe[J]. Steel Pipe, 2021, 50(2):24-29.

[4] 李宁,王刚,王廷,等. Inconel 718 镍基合金与 304 不锈钢电子束焊接[J]. 焊接学报,2019,40(2): 82-85.
LI Ning, WANG Gang, WANG Ting, et al. Weld ability of Inconel 718 and 304 stainless steel by electron beam welding[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2019,40(2):82-85.

[5] 黄嘉森,蔡创,刘致杰,等. Inconel690 镍基合金/SUS304 不锈钢激光焊接接头组织与力学性能[J]. 光学学报,2023,43(10):162-170.
HUANG Jiasen, CAI Chuang, LIU Zhijie, et al. Study on microstructure and property of laser welded SUS304 nickel-based alloy/Inconel690 stainless steel joints[J]. Acta Optica Sinica, 2023,43(10):162-170.

[6] ADOMAKO N K, PARK H J, CHA S C, et al. Microstructure evolution and mechanical properties of the dissimilar joint between IN718 and STS304[J].

- Materials Science and Engineering: A, 2021, 799: 140262.
- [7] KANGAZIAN J, SHAMANIAN M. Microstructure and mechanical characterization of Incoloy 825 Ni-based alloy welded to 2507 super duplex stainless steel through dissimilar friction stir welding[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2019, 29(8): 1677 – 1688.
- [8] 邢卓. Hastelloy C 系列合金综述[J]. 化工设备与管道, 2007, 44(2): 51 – 58.
- XING Zhuo. Summery of haste alloy C series alloys [J]. Process Equipment & Piping, 2007, 44 (2): 51 – 58.
- [9] 刘清会. 哈氏合金 C2000 焊接工艺[J]. 化工设备与管道, 2016, 53(3): 43 – 45.
- LIU Qinghui. Research of welding procedure for hastelloy C2000[J]. Process Equipment & Piping, 2016, 53(3): 43 – 45.
- [10] 刘清. 哈氏 HC – 2000 合金的特性和容器设计制造工艺特点[J]. 化工设备与管道, 2007, 44(4): 62 – 65.
- LIU Qing. Properties of HC – 2000 alloy and characteristics of vessel design and fabrication[J]. Process Equipment & Piping, 2007, 44(4): 62 – 65.
- [11] 杨永磊, 李海强, 杨添程. 因康洛依 800H 裂纹产生原因分析及焊接处理[J]. 焊接技术, 2011, 40(9): 59 – 61.
- YANG Yonglei, LI Haiqiang, YANG Tiancheng. The welding crack analysis and welding process of Inconel 800H [J]. Welding Technology, 2011, 40 (9): 59 – 61.
- [12] 余磊, 曹睿. 镍基合金焊接裂纹研究现状[J]. 金属学报, 2021, 57(1): 16 – 28.
- YU Lei, CAO Rui. Welding crack of Ni-Based alloys: A review[J]. Acta Metallurgica Sinica, 2021, 57(1): 16 – 28.
- [13] 施允威. 镍基合金的焊接[J]. 化学工业与工程技术, 2007, 28(增刊1): 216 – 217.
- SHI Yunwei. The welding of Ni-Based alloys[J]. Energy Chemical Industry, 2007, 28(Sup. 1): 216 – 217.
- [14] 黄菁, 孙宇峰, 方超, 等. 聚变堆用奥氏体不锈钢不同激光输出模式熔丝特征[J]. 焊接, 2022(7): 28 – 33.
- HUANG Jing, SUN Yufeng, FANG Chao, et al. Fuse characteristics under different laser output modes of austenitic stainless steel for fusion reactor [J]. Welding & Joining, 2022(7): 28 – 33.
- [15] 宋昌鹏, 邓香中, 陈罡. 镍基合金与奥氏体不锈钢间的焊接[J]. 装备制造技术, 2011(10): 145 – 147.
- SONG Changpeng, DENG Xiangzhong, CHEN Gang. Welding technology of incoloy and austenite [J]. Equipment Manufacturing Technology, 2011 (10): 145 – 147.
- [16] 高成龙, 李宪爽, 张松, 等. Hastelloy C276 合金与 S30403 不锈钢接头组织及性能研究[J]. 压力容器, 2022, 39(12): 16 – 22.
- GAO Chenglong, LI Xianshuang, ZHANG Song, et al. Study on microstructure and properties of welded joint of Hastelloy C276 alloy and S30403 stainless steel [J]. Pressure Vessel Technology, 2022, 39 (12): 16 – 22.
- [17] 田雷. 焊接工艺对 Incoloy 825 镍基合金接头力学性能及耐腐蚀性能的影响[J]. 焊接技术, 2021, 50(5): 48 – 52.
- TIAN Lei. Effect of welding technology on mechanical properties and corrosion resistance of nickel-based alloy [J]. Welding Technology, 2021, 50 (5): 48 – 52.
- [18] 武靖伟, 李义民, 王志刚, 等. N06200 镍基合金 TIG 焊接接头微观组织及力学性能研究[J]. 压力容器, 2023, 40(2): 11 – 17.
- WU Jingwei, LI Yimin, WANG Zhigang, et al. Microstructure and mechanical properties of TIG welded joint of N06200 nickel based alloy [J]. Pressure Vessel Technology, 2023, 40(2): 11 – 17.

作者简介:武靖伟(1992),男,中级工程师,主要从事压力容器焊接的研究工作,通信地址:730314 甘肃省兰州市永登县兰州新区白龙江街 888 号兰州兰石重型装备股份有限公司, E – mail: wujingwei0119@163.com。

本文引用格式:

武靖伟,王志刚,刘宝剑,等. N06200 镍基合金与 S32168 不锈钢 TIG 焊接微观组织与力学性能研究[J]. 压力容器, 2023, 40(6): 15 – 21.

WU Jingwei, WANG Zhigang, LIU Baojian, et al. Microstructure and mechanical properties of TIG welded joint of N06200 nickel base alloy and S32168 stainless steel[J]. Pressure Vessel Technology, 2023, 40(6): 15 – 21.