

低碳钢电弧堆焊工艺对焊缝力学性能的影响

王海林, 雷 达, 顾珍珍, 彭道衡, 王金凤

(湖北汽车工业学院材料科学与工程学院, 湖北 十堰 442002)

[摘要] 目前对采用二氧化碳气体保护堆焊法在 Q235 低碳钢表面进行堆焊并进行性能研究的报道不多。采用二氧化碳气体保护药芯焊丝电弧堆焊方法,研究了焊接工艺对低碳钢 Q345 堆焊后复合板材的组织性能的影响,并获得了力学性能优异的堆焊层。试验结果表明:当焊接电流为 200~240 A,焊接电压为 26~30 V,堆焊速度稳定在 300 mm/min 时,可获得焊缝成形和脱渣性良好的堆焊层。基体层硬度值保持在 175 HV 以上,堆焊层的硬度值保持在 520 HV 以上,复合板材冲击韧性保持在 45 J 以上。

[关键词] Q345 钢; 电弧堆焊; 二氧化碳气体保护; 工艺参数; 力学性能

[中图分类号] TG156.91 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1001-1560(2020)12-0084-04

Effect of Arc Surfacing Process on Mechanical Properties of Low Carbon Steel weld

WANG Hai-lin, LEI Da, GU Zhen-zhen, PENG Dao-heng, WANG Jin-feng

(School of Materials Science and Engineering, Hubei University of Automotive Technology, Shiyan 442002, China)

Abstract: Less studies were researched on the performance of surfacing of Q235 low carbon steel with carbon dioxide gas shielded surfacing sheet. The effects of welding process on the microstructure and properties of Q345 low carbon steel clad plate with carbon dioxide gas-shielded flux cored wire were studied, and a weld overlay with excellent mechanical properties was obtained. Results showed that the welding layer with good weld forming and slag removal was obtained when the welding current was 200~240 A, the welding voltage was 26~30 V, and the surfacing speed was 300 mm/min. The hardness of the base layer maintained above 175 HV, and the hardness of the surfacing layer maintained above 520 HV. Besides, the impact toughness of the composite sheet maintained above 45 J.

Key words: Q345 steel; arc surfacing; carbon dioxide gas-shielded; process parameters; mechanical properties

0 前 言

在石油化工等工业领域中,很多机械设备在恶劣的生产环境条件下使用久了就不可避免地会出现主要部件的严重磨损,进而会减短机器设备本身的使用寿命。堆焊作为材料表面改性中一项经济而高效的工艺手段,近几年来在生产制造领域中作为零件的修复手段发展较快,应用也越来越广泛。

堆焊所得复合板板材的基体层和堆焊层,由于二者之间具有不同的综合力学性能,会显现出不同的力学性能,这样可以使零件表面的堆焊层具有较好的耐磨性、耐腐蚀性、良好的耐热疲劳性等性能,可应对恶劣的生产环境条件,也同时保障了零件自身的韧性^[1]。近年来,有研究人员采用各种弧焊方法对不同堆焊材料在堆焊工艺、堆焊金属的组织与性能等方面进行研究^[2-7],但采用二氧化碳气体保护堆焊的方法在 Q345

低碳钢表面进行堆焊并进行性能的研究还鲜有报道。本工作采用 YD557 药芯焊丝二氧化碳气体保护电弧堆焊的方法在 Q345 低碳钢表面进行堆焊,研究不同焊接工艺主要包括焊接电流、焊接电压、焊接速度对堆焊层组织性能的影响,以期提高复合板材的力学性能。

1 试 验

1.1 试验材料

本试验选用的基体材料是 Q345 低碳钢(化学成分和力学性能见表 1 和表 2),规格为 120 mm×60 mm×30

表 1 Q345 钢的化学成分(质量分数)

元素	C	Mn	Si	P	S
w/%	≤0.200	1.000~1.600	≤0.550	≤0.035	≤0.035
元素	Al	V	Nb	Ti	Fe
w/%	≥0.015	0.020~0.150	0.015~0.060	0.020~0.200	余量

[收稿日期] 2020-06-30

[通信作者] 王海林(1988-),助理实验师,研究方向为异种材料连接工艺及新能源材料,电话:18772776737, E-mail:ctguwhl8090@163.com

mm。进行试验前,先对其进行正火处理,加热到 AC_3 温度线以上(即 $900\text{ }^\circ\text{C}$ 左右)后,进行空冷。这样做能细化晶粒,同时能提高了其硬度,改善切削加工性能。然后再对基板表面进行处理,去除表面的油污、氧化物等,保证基体材料表面光滑平整,呈现出金属光泽。

表2 Q345 钢的力学性能

性能指标	屈服强度 σ_s/MPa	抗拉强度 σ_b/MPa	伸长率 $\delta/\%$
标准范围	345	510~600	≥ 42.1

由表1中的化学成分可以看出由于它的含碳量低,锰和硅的含量也少,在焊接时不会轻易产生淬硬性组织和裂纹,焊接性良好,在焊前一般不需要进行预热,焊后也不用其他热处理,只需严格控制层间温度防止对其性能产生影响。

1.2 药芯焊丝

选用的堆焊材料是 YD557 药芯焊丝,焊丝直径为 1.2 mm ,具有焊接工艺性能好、电弧稳定、飞溅小、无裂纹、易脱渣等优点,其化学成分见表3。由表中可以看出焊丝中含有大量的铬和钨两种合金元素,可以有效提高堆焊层在高温下的硬度和耐热疲劳性能。

表3 YD557 药芯焊丝的化学成分(质量分数)

成分	C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	W	Co
w/%	≤ 0.6	≤ 3.0	≤ 0.8	2.0~4.0	≤ 2.0	≤ 1.0	6.5~8.5	≤ 2.0

1.3 堆焊方法

采用二氧化碳气体保护电弧堆焊法研究堆焊后复合板材的组织与力学性能,焊层堆焊顺序见图1。

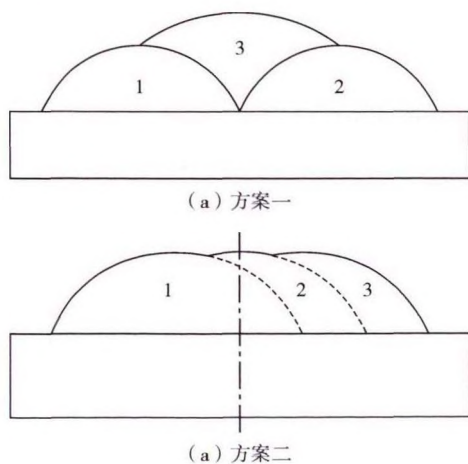


图1 堆焊方案

当采用方案一的堆焊顺序时,会在焊完上一道焊缝之后不易清理焊渣而出现夹渣缺陷,这样就会影响堆焊层的力学性能。所以在改进之后选用方案二的顺序进行堆焊,焊完一道后清理焊渣并进行锤击释放应

力,采用空冷的冷却方式,每道焊缝的冷却时间在 40 min 左右,控制焊缝之间的层间温度在 $60\text{ }^\circ\text{C}$ 以下。每道焊层的高度约为 $6\sim 8\text{ mm}$,焊层宽度稳定在 $11\sim 13\text{ mm}$,焊第二道焊缝时,焊丝的中心距离上一道焊缝的边缘控制在 $2\sim 3\text{ mm}$,这样可以保证各焊道之间搭接良好,堆焊表面成型美观,堆焊厚度较为均匀并且易于清理焊渣。

1.4 焊后检测

将堆焊好的试样利用切割机沿堆焊层横向切开,然后用砂轮机打磨光滑之后用 5% 的硝酸酒精腐蚀液腐蚀光滑面,观察堆焊层与基体层的连接界面熔合线。采用 MH-5 型显微硬度计进行试样各区域显微硬度的测试,载荷为 100 N ,在基板侧距离表面 2 mm 范围内区域测试基板硬度以及在堆焊层一侧距离表面 3 mm 范围内区域测试堆焊层硬度值,每个区域测试 3 个点,并取其平均值。采用金属摆锤冲击试验机来测试试样的冲击韧性值。

2 结果及分析

2.1 硬度测试分析

2.1.1 焊接电流

焊后基体层与堆焊层呈现出波浪形界面熔合线(见图2),硬度测试试样见图3。



图2 熔合线

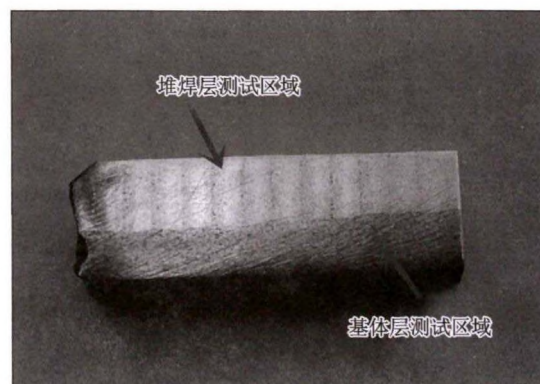


图3 硬度测试试样

在硬度测试之前要保证试样的上下底面平行,并且下底面平整,将要测试的那一面用砂纸打磨平整光滑并且清洁无油,这样可以确保试验测量值的准确性。试样1~试样4是焊接电压控制在28 V、焊接速度为300 mm/min(焊丝干伸长度范围值为12~15 mm,CO₂保护气流量在22~25 L/min)时,不同焊接电流(200,220,230,240 A)时所得焊接试样。试验测得不同试样基体层和堆焊层硬度值的变化情况见表4和图4。

表4 不同焊接电流时试样基体层与堆焊层硬度值

试样编号	焊接电流/A	基体层		堆焊层					
		维氏硬度值/HV	平均值/HV	维氏硬度值/HV	平均值/HV				
1	200	173.6	171.9	186.2	177.3	499.9	533.7	566.8	533.4
2	220	171.4	182.9	187.8	180.7	513.4	566.8	599.1	559.7
3	230	170.1	184.5	188.9	181.2	547.6	571.6	612.9	577.4
4	240	172.4	188.3	193.1	184.6	570.9	596.3	639.1	602.1

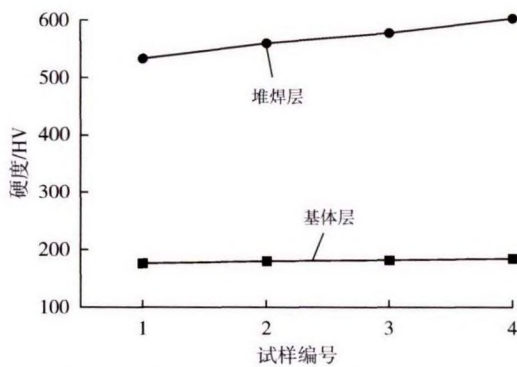


图4 不同焊接电流下复合板材的硬度值

由图4和表4可以看到,在控制焊接电压和焊接速度相同的情况下,随着焊接电流增大,基体层和堆焊层2个区域的硬度平均值都会增大。

2.1.2 焊接电压

试样5~试样8为焊接电流220 A、焊接速度为300 mm/min(焊丝干伸长度范围值为12~15 mm,CO₂保护气流量在22~25 L/min)时,不同焊接电压下所得试样试验测得上述试样对基体层和堆焊层硬度值的变化情况见表5和图5。

表5 不同焊接电压时试样基体层与堆焊层硬度值

试样编号	焊接电压/V	基体层		堆焊层					
		维氏硬度值/HV	平均值/HV	维氏硬度值/HV	平均值/HV				
5	22	171.1	175.7	177.6	174.8	467.7	522.5	571.4	520.5
6	26	172.5	173.0	185.3	176.9	520.6	541.3	587.8	549.9
7	28	174.4	177.2	182.6	178.0	541.5	579.0	590.0	570.2
8	30	172.2	178.9	189.0	180.0	553.6	548.1	591.6	564.4

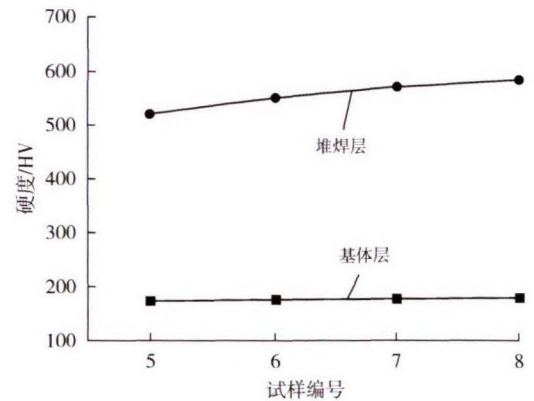


图5 不同焊接电压下复合板材的硬度值

由图5、表5可以看到,当控制焊接电流和焊接速度不变的情况下,随着焊接电压的增大,基体层和堆焊层2个区域的硬度值也同样会增加。

2.1.3 焊接速度

试样9~试样11为焊接电流240 A、焊接电压28 V(焊丝干伸长度范围值为12~15 mm,CO₂保护气流量在22~25 L/min)时,不同焊接速度下所得焊接试样。对3种试样基体层和堆焊层硬度值的变化情况见表6和图6。由此可以明显看到,单纯增大焊接速度,基体层的硬度值变化不大,而堆焊层硬度略微有所下降。

表6 试样基体层与堆焊层硬度值

试样编号	焊接速度/(mm·min ⁻¹)	基体层		堆焊层					
		维氏硬度值/HV	平均值/HV	维氏硬度值/HV	平均值/HV				
9	300	177.1	181.6	199.2	185.9	573.4	598.1	688.3	620.0
10	330	176.3	182.4	194.7	184.6	569.5	590.1	651.4	603.7
11	350	178.0	181.1	190.9	183.3	577.1	602.6	611.9	597.3

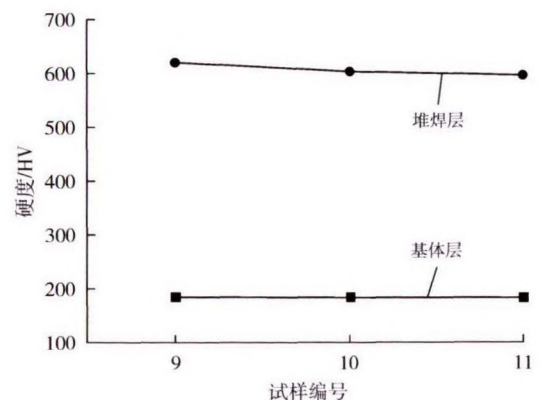


图6 不同焊接速度下复合板材的硬度值

基板Q345低碳钢的硬度在正火处理之后是168.0 HV,但是由表4、5、6可以看到,基体层的每个点的硬度都在170.0 HV以上,说明堆焊之后基板的硬度高于堆焊前。而不论是基体层还是堆焊层,二者的测试点位

置不同,各点的硬度也明显不同,很可能是因为在焊接过程中热输入不同和稀释率不同导致的,这也是焊接工艺参数不同的试样各区域硬度值不同的原因。

2.2 金相组织分析

在优化堆焊工艺参数(焊接电流为 230~240 A,焊接电压为 28~30 V,堆焊速度 300 mm/min)后所得堆焊件的金相组织见图 7,由图 7a 可知,堆焊后基体层显微组织主要是铁素体(F)和珠光体(P)构成,由于铁素体具有一定的塑性和韧性,珠光体又具有一定的强度,所以基体层的塑韧性和硬度都很好,加上堆焊的作用,在一定程度上提高了它的硬度。熔合区是指焊缝和母材的交界区,图 7b 熔合区金相组织中有珠光体和铁素体以及低碳马氏体三者混合。由图 7b 中可见靠近熔合区的基体金相组织和图 7a 基体的金相组织有些不同,这是因为药芯焊丝中含有的合金元素铬和钨从堆

焊层向基体层中过渡使基体金相组织细化,所以基体层越靠近熔合线硬度越高,甚至距离熔合线处硬度值能达到 240 HV。由图 7c 可见堆焊层的组织形态主要为板条状马氏体,也就是低碳马氏体(M),这是因为焊缝中的含碳量很低,而药芯焊丝中含有的合金元素铬降低了马氏体的转变温度,而且焊后的冷却速度也为马氏体的产生创造了有利条件。堆焊层显微组织都是低碳马氏体,但不同位置也有所差别,这是因为不同位置的稀释率大小不同,越靠近母材部分,由于母材的影响大,所以马氏体比较粗大,但逐渐远离母材时,母材对熔敷金属的影响就进一步减小,所以和靠近母材部分组织相比较,远离母材组织中的马氏体更加细小且分布均匀,这就使堆焊层接近表面的金属硬度得到极大的提高,从而在一定程度上使堆焊层的耐磨性增加。

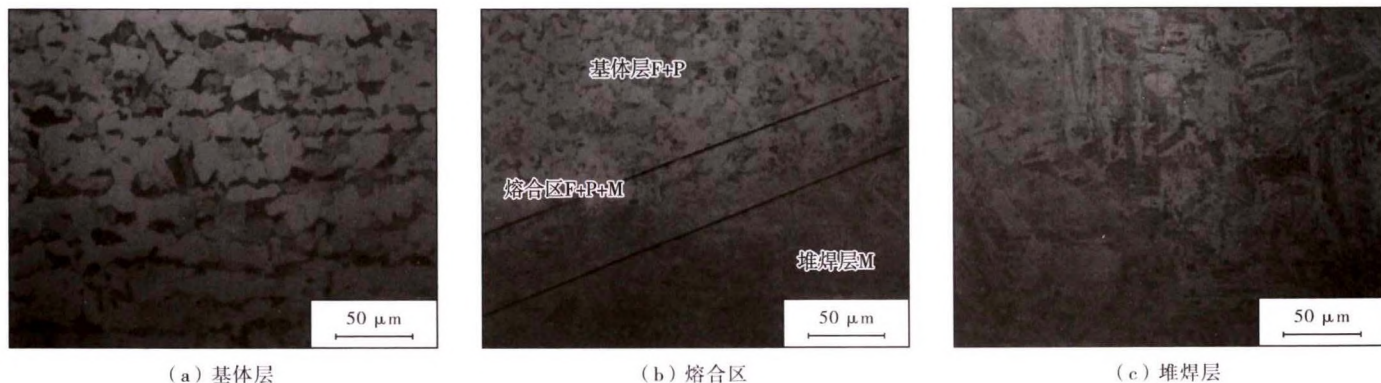


图 7 优化工艺参数下的金相显微组织

2.3 冲击韧性测试分析

选取了优化工艺参数下(焊接电流为 230~240 A,焊接电压为 28~30 V,堆焊速度 300 mm/min)的 6 个试样测试其冲击韧性,所得冲击功数据见表 7,冲击功平均值为 47.30 J。

表 7 冲击功试验数值表 (25 °C)

试样	1	2	3	4	5	6	平均值
冲击功/J	45.73	46.89	46.40	47.48	49.18	48.11	47.30

由硬度值可以知道,对 Q345 钢利用药芯焊丝二氧化碳气体保护焊进行堆焊,可以极大地提高基体层和堆焊层的硬度,基体层硬度值保持在 175 HV 以上,堆焊层的硬度值保持在 520 HV 以上,但对复合板的脆性肯定有所影响。在室温下 Q345 钢的冲击韧性在 55~67 J,对比表 7 明显发现焊接件冲击韧性有所降低。影响冲击韧性的因素有很多,比如夹杂物、材料的内部裂纹、组织晶粒大小、层间温度等,在本试验中最影响冲

击韧性的可能是组织晶粒的大小和层间温度的高低。

由金相显微组织可以观察到,当焊接热输入较大时,基体层和堆焊层的组织晶粒都比较粗大,尤其是当出现带状组织的铁素体和珠光体时(见图 7a),尤其是铁素体的影响,会大大降低材料的冲击韧性,这就需要在堆焊过程中严格控制焊接热输入来减小带状组织的出现,也可以通过一定的焊后热处理来细化晶粒,从而达到减小带状组织出现的目的。

3 结论

采用二氧化碳气体保护药芯焊丝电弧堆焊方法,研究了焊接电流、焊接电压、焊接速度对低碳钢 Q345 复合板材的组织力学性能的影响,可以得出如下结论:

(1)当焊接电流为 200~240 A,焊接电压为 26~30 V,堆焊速度稳定在 300 mm/min,可获得焊缝成形和脱渣性良好的堆焊层。

(下转第 115 页)

- (6):50-57.
- [12] 魏梦媛. 基于改性氧化石墨烯的疏水涂层制备及其性能研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2018.
- [13] YOUNG T. An essay on the cohesion of fluids[J]. Philosophical transactions of the Royal Society of London, 1995 (1 805):65-87.
- [14] WU B, LU S, XU W, et al. Study on corrosion resistance and photocatalysis of cobalt superhydrophobic coating on aluminum substrate[J]. Surface and Coatings Technology, 2017, 330:42-52.
- [15] YU S, GUO Z, LIU W. Biomimetic transparent and superhydrophobic coatings: from nature and beyond nature [J]. Chemical Communications, 2015, 51(10):1 775-1 794.
- [16] 丁元迪, 周 潼, 王若云, 等. 金属基体上超疏水表面的制备及其机械耐久性的研究进展[J]. 表面技术, 2019, 48(12):68-86.
- [17] 尤 鹏, 吕新莲, 吴海鹏. 涂布纸涂层表面自由能的 Owens 二液法测定[J]. 陕西科技大学学报(自然科学版), 2011, 29(2):36-39.
- [18] 王 晖, 顾幅华, 邱冠周. 接触角法测量高分子材料的表面能[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2006(5):942-947.
- [19] MOY D L E, NEUMANN A W. A reformulation of the equation of state for interfacial tension[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 1990, 137:304-307.
- [20] 狄剑锋. 织物表面能的计算方法及其比较[J]. 纺织导报, 2005(9):77-79.
- [21] 朱定一, 戴品强, 罗晓斌. 润湿性表征体系及液固界面张力计算的新方法(1)[J]. 科学技术与工程, 2007(13):3 057-3 062.
- [22] OWENS D K, WENDT R C. Estimation of the surface free energy of polymers[J]. Journal of Applied Polymer Science, 1969(13):1 741-1 747.
- [23] 赵 欢. 不锈钢超疏水性表面的制备及性能研究[D]. 青岛: 山东科技大学, 2017.
- [24] 吕家杰, 吴彬瑞, 邢素丽, 等. 改性环氧树脂基纳米氧化铝超疏水涂层的制备及其耐久性[J]. 中国表面工程, 2019, 32(5):1-7.
- [25] MILIONIS A, LOTH E, BAYER I S. Recent advances in the mechanical durability of superhydrophobic materials [J]. Advances in colloid and interface science, 2016, 229:57-79.
- [26] GENG Z, HE J. An effective method to significantly enhance the robustness and adhesion - to - substrate of high transmittance superamphiphobic silica thin films[J]. Journal of Materials Chemistry A, 2014, 39(2):16 601-16 607.
- [27] 邸道远, 汪怀远, 朱艳吉. 耐腐蚀耐热超疏水 TiO₂ 复合涂层制备与性能研究[J]. 化工新型材料, 2017, 45(5):253-255.
- [28] 李怡雯, 郝丽琴, 王红宁. 有机硅烷共缩合制备抗紫外超疏水减反射涂层[J]. 化工进展, 2019, 38(8):3 829-3 837.

[编 校 : 彭 位 增]

(上接第 87 页)

(2)在不同的堆焊工艺参数下,基体层的金相显微组织均为铁素体和珠光体,堆焊层的金相显微组织均以低碳马氏体为主,堆焊工艺参数对组织晶粒的大小有一定的影响,当焊接热输入过大时,组织晶粒粗大。

(3)在焊接电压和焊接速度相同时,随着焊接电流的增大,堆焊层和基体层的硬度值都呈上升趋势;控制焊接电流和焊接速度相同时,增大焊接电压,堆焊层和基体层的硬度值也都是逐渐增加。控制焊接电流和焊接电压相同时,单纯增大焊接速度,基体层的硬度值变化不大,而堆焊层硬度略微有所下降。

(4)在 Q345B 钢表面进行堆焊可以提高材料的硬度以满足生产的需要,基体层硬度值保持在 175 HV 以上,堆焊层的硬度值保持在 520 HV 以上,复合板材冲击韧性保持在 45 J 以上。

[参 考 文 献]

- [1] 陈 光, 马 威, 眭文杰, 等. 低碳钢表面堆焊涂层的耐磨性能研究[J]. 科技创新与应用, 2017, 24(2):7-15.
- [2] 江 山, 姚宗湘, 郑靖上, 等. Q345 钢表面堆焊金属的组织与性能研究[J]. 电焊机, 2019, 49(11):35-39.
- [3] 潘秀娟, 杜金涛. 焊接工艺对不锈钢堆焊层性能的影响[J]. 电焊机, 2016, 46(11):92-94.
- [4] 黄 飞, 何鹏瞧, 陈汉林, 等. 明弧堆焊 Fe-Cr-C-Nb 耐磨合金的组织及性能研究[J]. 稀有金属与硬质合金, 2017, 45(1):36-39.
- [5] 刘政军, 贾 华, 勾 健. Fe-Cr-C-B-N 系堆焊合金的显微组织及耐磨性[J]. 焊接学报, 2017, 38(6):105-109.
- [6] 章友谊, 杜东方, 周博芳. DJ5003 焊条堆焊金属的显微组织及耐磨性能研究[J]. 焊接技术, 2019(3):30-33.
- [7] 吴志生, 云 晖, 刘翠荣, 等. Q235 钢表面堆焊不锈钢的组织与性能[J]. 焊接技术, 2014(3):13-15.

[编 校 : 张 建 设]