

起重机车架用 Q345B/HG785D 钢板焊接实验研究

齐鹏远^{1,2}, 刘家奇³, 王刚², 刘相华¹
(1. 东北大学材料科学与工程学院, 辽宁沈阳 110819; 2. 营口理工学院材料科学与工程系, 辽宁营口 115014;
3. 北汽越野车研究院试制部, 北京 101300)

摘 要: 以异种钢板 Q345B 与 HG785D 端头对焊为研究对象, 通过在不同焊接热输入工艺条件下的 MAG 焊(熔化极活性气体保护电弧焊), 对其端头焊接缺陷、力学性能及组织进行实验研究. 实验发现: 异种钢板端头对焊中, 减小焊接电流可有效提高焊接接头强度; 焊前预热、焊后缓冷可减少焊接接头的淬硬组织, 提高焊接热影响区韧性. 在焊接电流为 140~200 A、电压为 22~24 V、焊接速度为 28 cm/min 的热输入条件下, 采用预热+后热焊接工艺, 焊接接头力学性能和弯曲特性可得到最佳效果. 合理的焊接工艺可有效抑制汽车起重机车架焊缝开裂.

关 键 词: Q345B 钢; HG785D 钢; 异种钢板对焊; MAG 焊; 焊接工艺; 焊接质量

中图分类号: TG 441.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-3026(2020)02-0208-05

Experimental Study on Welding of Q345B/HG785D Steel Plates in Crane Frame

QI Peng-yuan^{1,2}, LIU Jia-qi³, WANG Gang², LIU Xiang-hua¹
(1. School of Materials Science & Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China;
2. Department of Materials Science and Engineering, Yingkou Institute of Technology, Yingkou 115014, China;
3. Prototyping Department, Beijing Automotive Off-Road Vehicle Institute, Beijing 101300, China.
Corresponding author: LIU Xiang-hua, E-mail: liuxh@mail.neu.edu.cn)

Abstract: Taking butt welding of dissimilar steel plates of Q345B and HG785D as the object, we studied the welding defects, mechanical properties and microstructures of the welded joint by metal active gas (MAG) arc welding under different heat input conditions. It is found that the strength of the welded joint can be improved effectively by reducing welding current in butt welding of dissimilar steel ends. When the joint is preheated before welding and slowly cool down after welding, the quenched hard area in the microstructure is reduced and the toughness of heat affected zone(HAZ) is increased. Under the heat input conditions of 140-200 A welding current, 22-24 V welding voltage and 28 cm/min welding speed, the mechanical and bending properties of the welded joint can be optimized by the process of preheating and post-heat welding. The optimized welding process can inhibit the weld cracking effectively in crane frame.

Key words: Q345B steel; HG785D steel; butt welding of dissimilar steel; MAG welding; welding process; welding quality

工程机械中汽车起重机车架后段为箱体焊接结构, 焊接工艺复杂; 工作过程中在动态外载荷的震动、交变载荷、疲劳等因素的影响下, 车架部件遭受破坏的危险常位于工作载荷大、应力集中的部位. 长时间高负荷工作条件下, 车架纵向主焊缝容易开裂^[1-3]; 该部位大量使用 Q345B 钢和 HG785D 高强钢, 多采用单面焊双面成形工艺, 同种和异种焊缝接头数量多, 焊缝长, 焊接质量对整体结构可靠性的影响很大^[4-6].

为了提高焊接接头质量, 本文对起重机车架

用 Q345B 与 HG785D 异种钢板焊接接头在不同焊接热输入工艺条件下,从力学性能、弯曲特性及金相组织的分析中得出最佳焊接工艺条件,为制定汽车起重机车架用 Q345B/HG785D 异种钢板焊接工艺规程提供依据。

1 实验方法

通过实验分析车架后段隔板与侧板、侧板与顶盖外侧单面焊焊缝等焊接工艺的合理性。

1.1 实验母材

母材为 8 mm 厚异种材质的钢板,其中 Q345B 化学成分为: $w_C \leq 0.2$, $w_{Si} \leq 0.50$, $w_{Mn} \leq 1.7$, $w_P \leq 0.035$, $w_S \leq 0.035$, $w_V \leq 0.15$, Fe 余量; HG785D 的化学成分为: $w_C \leq 0.12$, $w_{Si} \leq 0.4$, $w_{Mn} \leq 1.8$, $w_P \leq 0.025$, $w_S \leq 0.015$, $w_N \leq 0.75$, $w_{Cr} \leq 0.7$, Fe 余量。

1.2 焊接材料及保护气氛

选用 $\phi 1.2$ mm 的 ER50-6 型焊丝,化学成分为: w_C 0.06 ~ 0.15, w_{Mn} 1.40 ~ 1.85, w_{Si} 0.80 ~ 1.15, $w_S \leq 0.035$, $w_P \leq 0.025$, $w_{Cu} \leq 0.050$, Fe 余量. 采用 MAG 焊法,多层多道焊的焊前层间做清理,背面不清根;保护气氛用 80% Ar + 20% CO₂, 流量为 15 ~ 20 L/min。

1.3 焊接接头

钢板焊接接头采用 Y 型坡口,钝边 1 mm,间隙 2 mm;采用两层三道进行焊接,一层打底焊,两层填充盖面焊,如图 1 所示. 钢板采用激光切割下料,钢板表面和切口不允许存在裂纹、分层、夹杂和氧化皮,不允许存在超过偏差的麻点、压痕和麻纹等,用铣边机 XB-9 开坡口。



图 1 试样制备示意图
Fig. 1 Schematic of sample fabrication

1.4 焊接实验

按照表 1 中不同焊接工艺条件进行实验,单面焊接、双面成形,焊接根部必须熔透,同时保证不开裂。

1.5 试样取样方式

按照《JB 4708—2000 钢制压力容器焊接工艺评定》要求,在对接焊缝试板上截取试样,位置见图 2。

表 1 Q345B 与 HG785D 钢板焊接工艺条件
Table 1 Butt welding process conditions for Q345B/HG785D steel plates

实验 编号	电流	电压	焊接速度	预热温度	后热时间
	A	V	cm·min ⁻¹	℃	h
1	140 ~ 200	22 ~ 24	28	—	无
2	140 ~ 200	22 ~ 24	28	120 ~ 150	2
3	170 ~ 250	23 ~ 26	29	—	无
4	170 ~ 250	23 ~ 26	29	120 ~ 150	2

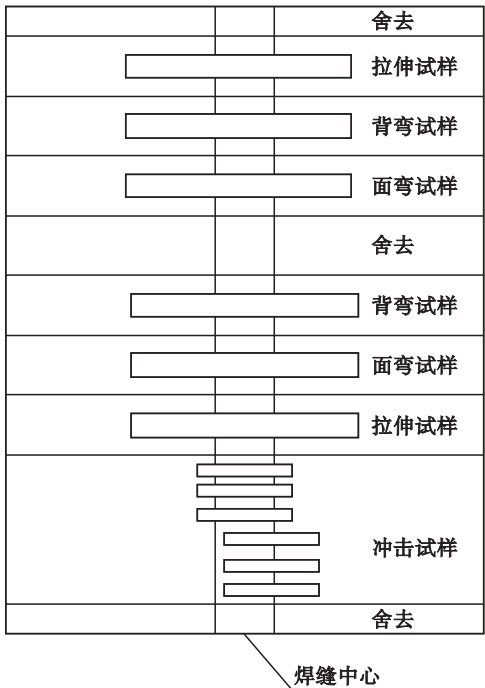


图 2 对接焊缝试件取样示意图
Fig. 2 Specimens from butt weld test panels

2 实验结果及分析

2.1 外观及无损检测

在 4 种焊接工艺条件(见表 1)下,焊接试件焊缝成形均较好,表面无气孔、裂纹、咬边等焊接缺陷. 按照《JB/T 4730. 2—2005 承压设备无损检测 第 2 部分:射线检测》进行射线探伤检验,焊缝均为 I 级,符合评定要求。

2.2 力学和弯曲性能实验

1) 拉伸实验:在室温下,按照 GB/T 228. 1—2010 对各焊接工艺条件下的试样进行拉伸实验,结果见图 3。

由图 3 可知,在各焊接实验条件下,异种钢板焊接接头的抗拉强度均高于强度较低侧 Q345B 母材规定值的下限值(470 MPa),说明焊接接头强度均符合要求;试件断裂位置在 Q345B 母材侧,说明焊接接头室温静抗拉强度大于母材室温

静抗拉强度,符合评定要求.在实验编号 2 焊接工艺条件下 Q345B/HG785D 钢板焊接接头拉伸性能最佳.

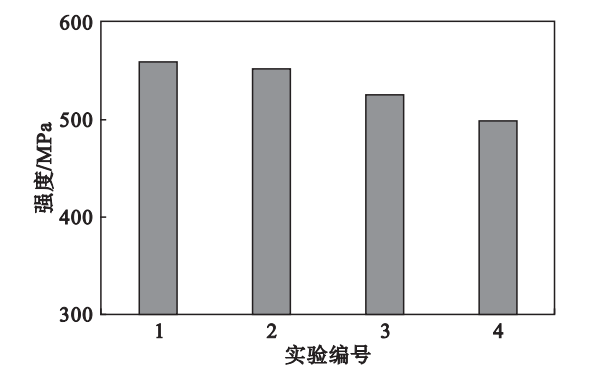


图 3 Q345B/HG785D 焊接接头抗拉强度对比
Fig. 3 Comparison of tensile strength of Q345B/HG785D butt welded joints

2) 冲击实验:按照 GB/T 2650—2008 在各焊接工艺条件下进行冲击实验,焊缝和热影响区(Q345B 母材侧、HG785D 母材侧)各取 3 个试样,实验结果见图 4.

由图 4a 可知,各组实验中热影响区(Q345B 母材侧)冲击功均大于国标要求(>27 J,允许一个试样>18.9 J),韧性满足要求.由图 4c 可知,各组实验中焊缝区的冲击功均满足国标要求,焊缝区韧性均满足使用要求.由图 4b 可知,在实验 1(焊接电流 140~200 A)和实验 3(焊接电流 170~250 A)中,不采用预热及后热处理,试样热影响区(HG785D 母材侧)的冲击功不满足国标要求,其韧性不符合要求;原因如下:HG785D 为低合金高强钢,焊后在较大冷却速度下易在热影响区出现低塑性脆硬组织,容易产生氢脆,导致裂纹(冷裂纹),从而降低热影响区韧性^[7-9].实验 2(140~200 A,预热、后热)的试样性能明显优于实验 4(170~250 A,预热、后热)的试样性能,且随着焊接线能量的增大,实验 4 容易造成接头和热影响区组织过热,产生过热组织并脆化,从而降低焊缝和热影响区韧性,因此焊接时应严格控制热输入.

3) 弯曲实验:按照 GB/T 2653—2008 在室温下进行弯曲实验,每种焊接实验条件下各取 4 个弯曲试样(2 个正面弯曲、2 个背面弯曲).虽然焊接实验中采用单面焊接,但由于背面有衬板的作用,托住了根部熔池,因此背面成形良好.在各弯曲实验中,正弯和背弯试样均符合国标要求(无肉眼可见 3 mm 裂纹),表明焊接接头完好性(连续性、致密性)和塑性均满足使用要求.

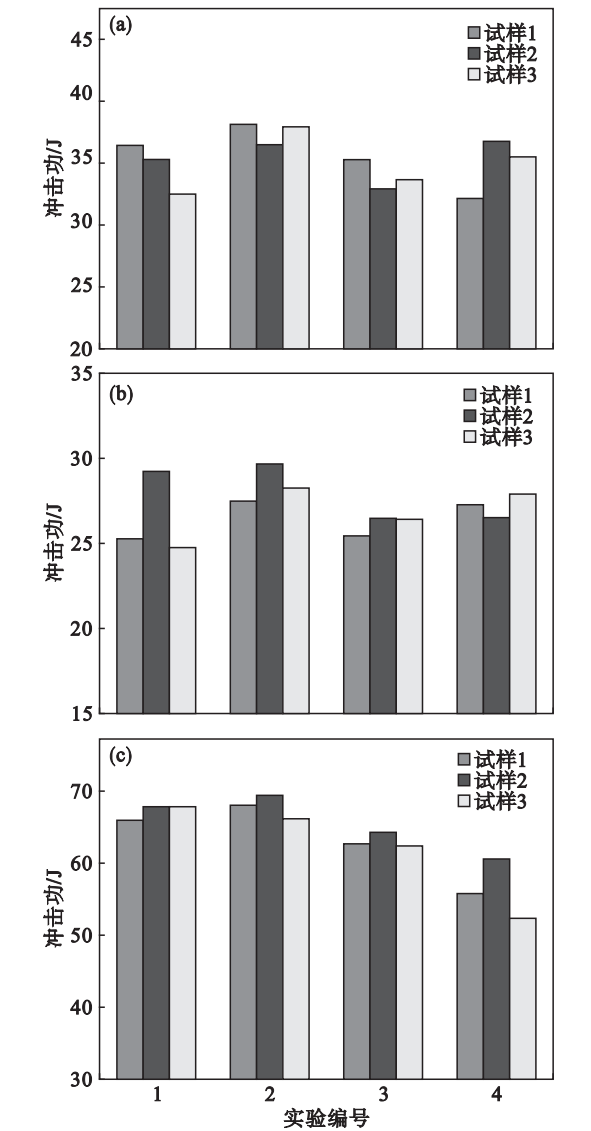


图 4 不同工艺实验条件下焊接接头的冲击韧性
Fig. 4 Impact toughness of welded joints with different processing parameters
(a)—Q345B 母材侧热影响区;
(b)—HG785D 母材侧热影响区;(c)—焊缝.

2.3 焊接接头组织分析

通过上述力学及弯曲性能实验,可知实验 2 工艺条件下试样检测结果最优.为进一步分析实验 2 工艺条件的适用性,对其焊接接头组织分析如下.

图 5 为焊缝区显微组织,可以看出有大量细小的铁素体和少量珠光体组织存在,同时伴有大块状先共析铁素体和少量侧板条铁素体;由此可知,由于加热温度低于 1 100 ℃,奥氏体晶粒尚未明显长大^[10-11],随着空气冷却后得到细小铁素体和少量珠光体组织.

图 6 为 HG785D 母材侧过热区:铁素体和珠光体晶粒明显粗大,晶内某些部位出现针状铁素体及少量的贝氏体组织,图中黑灰色为珠光体区.

在焊接热循环的影响下,焊接接头过热区温度在固相线至 1 100 ℃ 之间,奥氏体晶粒显著长大,冷却后得到晶粒粗大的过热组织.

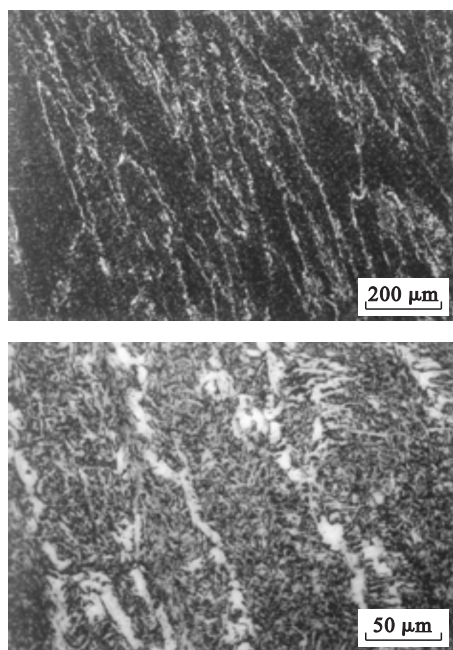


图 5 焊缝区显微组织

Fig. 5 Microstructure of the welded area

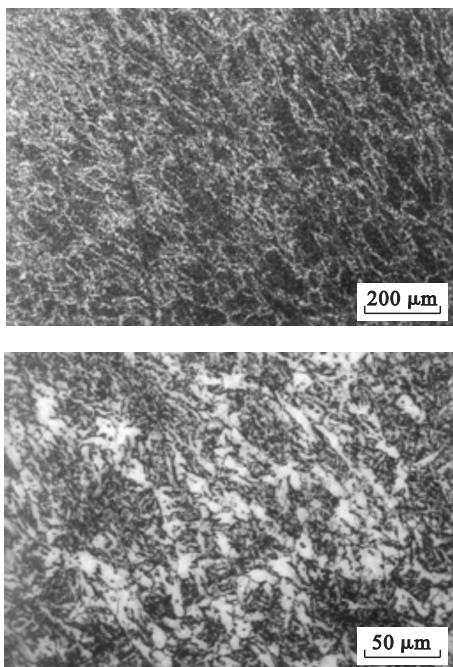


图 6 过热区显微组织 (HG785D 母材侧)

Fig. 6 Microstructure of the superheated zone (HG785D side of base metal)

HG785D 母材不完全相变区组织如图 7 所示. 近 HG785D 母材侧金属在加热温度超过 A_{c1} (727 ℃) 时,珠光体组织开始奥氏体化,形成细小的奥氏体组织,经冷却重结晶后转变为细小铁素体和珠光体组织;该区域受热温度低,冷却速度

快,尽管铁素体尚未发生奥氏体转变,但在焊接热循环影响下,形成了较为粗大的铁素体组织. 最终 HG785D 母材不完全相变区组织由细小的铁素体、珠光体组织和未发生相变的粗大铁素体组成,导致该区域晶粒尺寸不均匀,力学性能表现也较差. 由金相检查可知,焊缝各区域金相组织正常,未发现粗大魏氏组织等不良缺陷,符合评定要求.

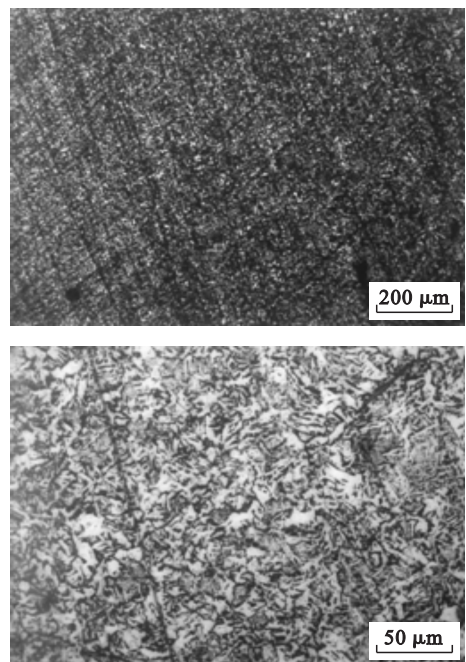


图 7 不完全重结晶区显微组织 (HG785D 母材侧)

Fig. 7 Microstructure of the incomplete recrystallization zone (HG785D side of base metal)

3 结 论

- 1) 在本实验参数范围内,异种钢板端头对焊的焊接电流越小,焊接接头强度越高,焊接电流由 170 ~ 250 A 降低到 140 ~ 200 A 时,抗拉强度均值可由 498. 8 MPa 提高到 552. 5 MPa.
- 2) 焊前预热、焊后缓冷热处理可减少焊接接头淬硬组织的出现,提高焊接热影响区韧性.
- 3) 采用焊接电流 140 ~ 200 A、电压 22 ~ 24 V、焊接速度 28 cm/min,进行焊前预热和焊后缓冷热处理,焊材选用 ER50 - 6 ϕ 1. 2 mm 焊丝进行多层多道次对接焊工艺,可得到最佳焊接性能.

参考文献:

[1] Qiao L, Han T. Effect of geometric shape of plate on residual stress and deformation distribution for butt-weld joint [J]. *China Welding*, 2018, 27(3): 20 - 26.

[2] 冯祥利, 王磊, 刘杨. 热输入对 Q460 钢焊接接头组织及拉伸变形行为的影响 [J]. *东北大学学报 (自然科学版)*, 2018, 39(4): 511 - 515.