

DP590 钢薄板单道次焊接区的组织和性能

邢淑清¹ 方立新¹ 孙贻宝² 麻永林¹ 陈重毅¹

(1 内蒙古科技大学材料与冶金学院, 包头 014010; 2 包钢集团机械设备制造有限公司, 包头 014010)

摘要 在不同焊接参数下分别通过 $\Phi 3$ mm E4303 碳钢焊条 ($\% : \leq 0.12C, \leq 0.25Si, 0.30 \sim 0.60Mn$) 和 $\Phi 1$ mm H10MnSi 焊丝 ($\% : 0.14C, 0.65 \sim 0.95Si, 0.80 \sim 1.10Mn$) 对 3.8 mm DP590 钢薄板 ($\% : 0.07C, 0.45Si, 1.61Mn$) 进行手工电弧焊接和 CO_2 气体保护焊接, 并利用 ZEISS 光学显微镜、LEICA 显微硬度计分别对焊接接头的组织和显微硬度进行了观察和分析。结果表明, 在焊缝区手工电弧焊焊缝组织为沿柱状晶分布的先共析铁素体和珠光体, CO_2 气体保护焊为针状铁素体和少量贝氏体, 在粗晶区手工电弧焊为贝氏体和先共析铁素体, CO_2 气体保护焊为板条马氏体和贝氏体, 且其粗晶区晶粒尺寸大于手工电弧焊; 采用 CO_2 气体保护焊, 选择较大的热输入, 焊缝和粗晶区的魏氏组织消失; 显微硬度最大值均出现在粗晶区, 手工电弧焊的热影响区宽度小于 CO_2 气体保护焊。

关键词 DP590 钢板 手工电弧焊接 CO_2 气体保护焊接 焊接区 组织

Structure and Property of Single Pass Welding Zone of DP590 Steel Sheet

Xing Shuqing¹, Fang Lixin¹, Sun Yibao², Ma Yonglin¹ and Chen Zhongyi¹

(1 Material and Metallurgy School, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010;

2 Mechanical Equipment Manufacturing Corp Ltd, Baotou Iron and Steel Group, Baotou 014010)

Abstract The manual arc welding and CO_2 shielding gas arc welding of 3.8 mm DP590 steel sheet ($\% : 0.07C, 0.45Si, 1.61Mn$) are carried out respectively by $\Phi 3$ mm E4303 carbon steel welding rod ($\% : \leq 0.12C, \leq 0.25Si, 0.30 \sim 0.60Mn$) and $\Phi 1$ mm H10MnSi welding wire ($\% : 0.14C, 0.65 \sim 0.95Si, 0.80 \sim 1.10Mn$) with different welding parameters, and the structure and microhardness of welding zone are observed and analyzed by ZEISS optical microscope and LEICA microhardness meter. Results show that in welding metal zone the structure of steel by manual welding is proeutectoid ferrite and pearlite distributed along columnar crystal and that by CO_2 shielding gas welding is acicular ferrite and minor bainite; in coarse grain region the structure of steel by manual welding is bainite and proeutectoid ferrite, and that by CO_2 shielding gas welding is lath martensite and bainite, of which the grain size is larger than that by manual welding; with CO_2 shielding gas welding as using larger heat input the Widmannstatten structure in welding metal and coarse grain region is eliminated; the maximum of microhardness is occurred at coarse grain region and the width of heat affected zone of welding steel by manual arc welding is less than that by CO_2 shielding gas welding.

Material Index DP590 Steel Sheet, Manual Arc Welding, CO_2 Shielding Gas Arc Welding, Welding Zone, Structure

铁素体-马氏体双相钢具有低屈服比、高初始加工硬化速率、良好强度和延性的配合等优点, 已发展成为一种成型性良好的新型高强度冲压用钢, 成为现代汽车用钢的重要组成部分^[1,2]。2007 年, 东北大学轧制技术及连轧自动化国家重点实验室与包钢钢联股份有限公司薄板坯连铸连轧厂合作, 利用“超快冷”系统及原有层流冷却系统, 根据车轮制造厂家提出的规格要求, 开发出厚度 4~11 mm 的 590 MPa 级低成本的 C-Mn 系热轧双相钢产品^[3,4]。

1 试验材料与方法

试验采用包钢集团生产的热轧态 DP590 钢进行对接焊, 试板尺寸 (长 × 宽 × 厚) 为 (mm) 200 × 100 × 3.8, 焊接接头采用 60° V 型坡口, 不留钝边, 分别采用手工电弧焊和 CO_2 气体保护焊两种方法

焊接, 手工电弧焊选用直径为 3.2 mm 的 E4303 (J422) 钛钙型药皮碳钢焊条, CO_2 气体保护焊选用直径为 1 mm 的实芯焊丝 H10MnSi。试板及焊材化学成分见表 1, 母材力学性能: 屈服强度 (R_e) 490 MPa, 抗拉强度 (R_m) 575 MPa, 伸长率 (A) 28%。焊接参数如表 2 所示, No1、No2 试板采用手工电弧焊, No3、No4 试板采用 CO_2 气体保护焊。

2 试验结果与分析

2.1 碳当量及裂纹敏感性

根据淬火钢和低合金钢的焊接性的碳当量 (CE) 公式^[5]:

$$CE = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Si + Ni + Cu)/15 \quad (1)$$

得出 DP590 钢的 CE 为 0.366%, 焊接性能中

表1 实验钢板和焊条的化学成分/%

Table 1 Chemical composition of test steel sheet and welding rod and wire /%

材料	C	Si	Mn	P	S	Alt	Als	Cr	Ni
DP590	0.07	0.45	1.61	<0.011	<0.002	0.026	0.025	-	-
E4303	≤0.12	≤0.25	0.3~0.6	≤0.040	≤0.035	-	-	-	-
H10MnSi	≤0.14	0.65~0.95	0.80~1.10	≤0.035	≤0.035	-	-	≤0.20	≤0.30

表2 焊接工艺参数

Table 2 Parameters for welding process

工艺	直径/mm	电流/A	电压/V	焊接速度/(mm·s ⁻¹)	气体流量/(L·min ⁻¹)	热输入/(kJ·cm ⁻¹)
No1	3.2	90	28	3.23	-	6.2
No2	3.2	110	30	4.35	-	6.0
No3	1	180	24	4.54	15	7.6
No4	1	210	25	4.76	15	8.8

等。根据焊接冷裂纹敏感指数(P_{cm})经验公式:

$$P_{cm} = C + Si/30 + (Mn + Cu + Cr)/20 + Ni/60 + Mo/15 + V/10 + 5B \quad (2)$$

计算得出 DP590 钢的冷裂纹敏感指数为 0.1634%, 焊接性能良好。

2.2 母材显微组织

由图1可以看出, 热轧态 DP590 钢的金相组织为铁素体(白色)和马氏体(灰白色), 在外力加载下, 柔软的铁素体首先屈服使得双相钢具有低的屈服强度, 硬的马氏体则赋予其高的强度^[6,7]。

2.3 焊接接头显微组织

对采用上述两种焊接工艺焊接的 DP590 钢焊接接头进行宏观观察, 焊缝成型良好, 表面无缺陷, 没有裂纹、咬边、下塌等缺陷。图2(a₁, b₁, c₁, d₁)为焊缝组织。

图2(a₁, b₁)的组织为沿柱状晶分布的先共析铁素体和珠光体。柱状铁素体十分粗大, 其间隙中为少量珠光体。由于 No1 和 No2 试板的热输入基本一致, 所以焊缝组织并无太大差异。从图2(c₁, d₁)可以看出, 采用 CO₂ 气体保护焊时, 焊缝金属组织以细小、均匀的针状铁素体为主。在原奥氏体晶界分布着少量先共析铁素体, 少量无碳贝氏体由晶界向晶内平行生长, 晶内为粒状

贝氏体、索氏体和大量相互穿插的针状铁素体, 图2(c₁)中有少量晶粒粗大的魏氏组织。比较图2(c₁)和(d₁)可以看出, 随着热输入的增大, 魏氏组织消失, 焊缝组织更加均匀。观察图2焊缝组织, 并没有发现淬硬组织和冷裂纹的出现。

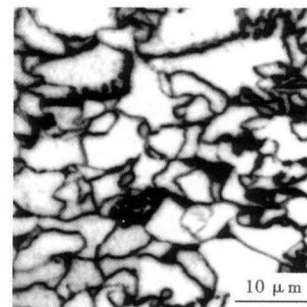


图1 DP590 钢板母材的组织形貌

Fig. 1 Morphology of structure of DP590 steel sheet base metal

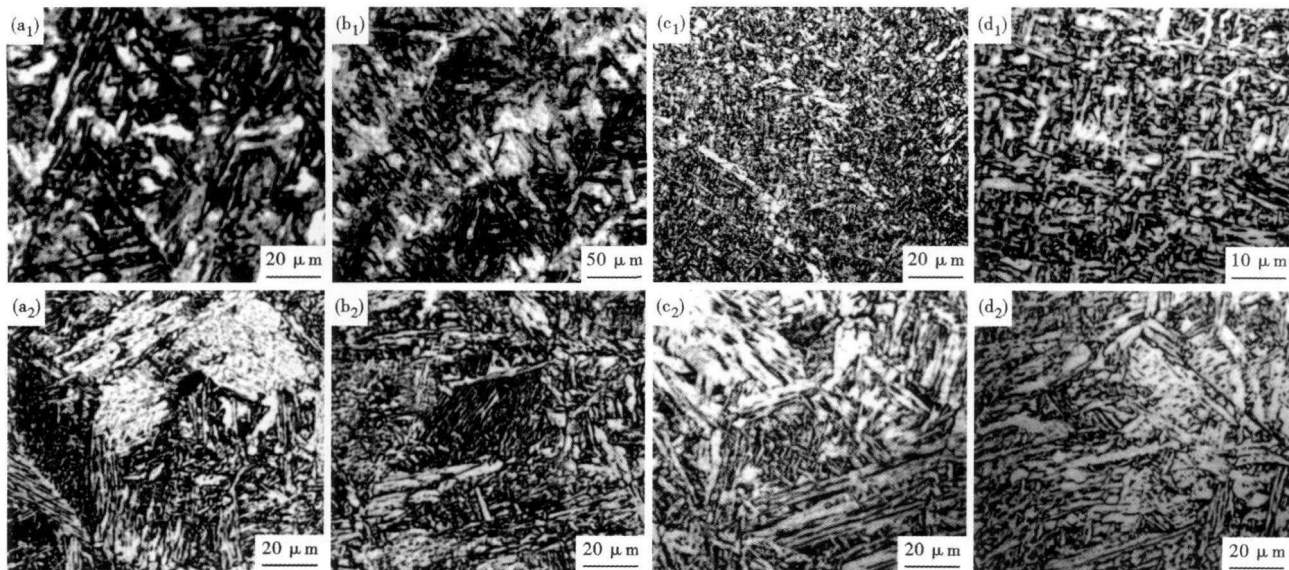


图2 焊缝(a₁, b₁, c₁, d₁)和粗晶区(a₂, b₂, c₂, d₂)组织形貌: 焊接工艺 No1(a₁, a₂); No2(b₁, b₂); No3(c₁, c₂); No4(d₁, d₂)

Fig. 2 Morphology of structure of welding seam (a₁, b₁, c₁, d₁) and coarse grain zone (a₂, b₂, c₂, d₂), welding process No1 (a₁, a₂), No2 (b₁, b₂), No3 (c₁, c₂) and No4 (d₁, d₂)

图 2(a₂, b₂, c₂, d₂) 为试样粗晶区的组织, 图 2(a₂, b₂) 组织为大量贝氏体和少量的先共析铁素体, 图 2(c₂, d₂) 组织为粗大的板条状马氏体及粒状贝氏体和少量上贝氏体, No3 试板在粗晶区出现过热魏氏体组织, 使得此处的力学性能降低, 采用较大的热输入能消除粗晶区过热组织, 有利于力学性能的

提高。

从图 3 可见, 再结晶区组织基本为细小均匀的针状或块状铁素体和珠光体组织。在加热过程中该区铁素体和马氏体全部转化为奥氏体, 在冷却过程中又经历了奥氏体到铁素体和珠光体的相变再结晶, 使晶粒显著细化。

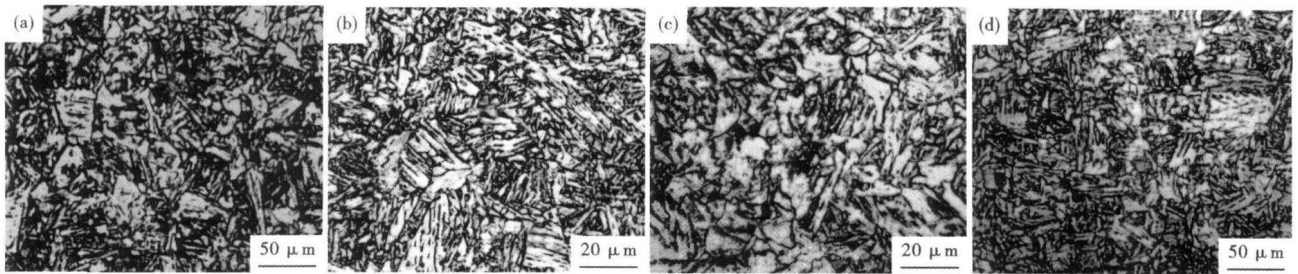


图 3 退火再结晶区组织形貌: 焊接工艺 No1(a); No2(b); No3(c); No4(d)

Fig. 3 Morphology of structure of annealed recrystallized zone, welding process No1 (a), No2 (b), No3 (c) and No4 (d)

2.4 显微硬度试验结果与分析

从图 4 可以看出, 母材 HV 为 200 左右, 显微硬度的最大值均出现在熔合区, No3 板 HV 值为 480, 因该试板的粗晶区形成了大量的硬度较高的板条状马氏体。比较 No3 板和 No4 板可以看出, 随着热输入的增加, 粗晶区硬度逐渐减小, 热影响区范围变窄。试验结果表明, 手工电弧焊焊接接头热影响区要比 CO₂ 气体保护焊窄, 对于 CO₂ 气体保护焊, 适当增加热输入可减小焊接热影响区宽度。

和少量贝氏体; 粗晶区手工电弧焊为贝氏体和先共析铁素体, CO₂ 气体保护焊为板条马氏体和贝氏体, 手工电弧焊粗晶区晶粒尺寸小于 CO₂ 气体保护焊; 再结晶区都是细小针状或块状铁素体和珠光体。

(2) 在 CO₂ 气体保护焊下, 采用较大的热输入时, 焊缝和粗晶区魏氏组织消失, 热影响区宽度变窄, 有利于力学性能的提高。

(3) 显微硬度最大值均出现在熔合区, 手工电弧焊的热影响区宽度小于 CO₂ 气体保护焊。

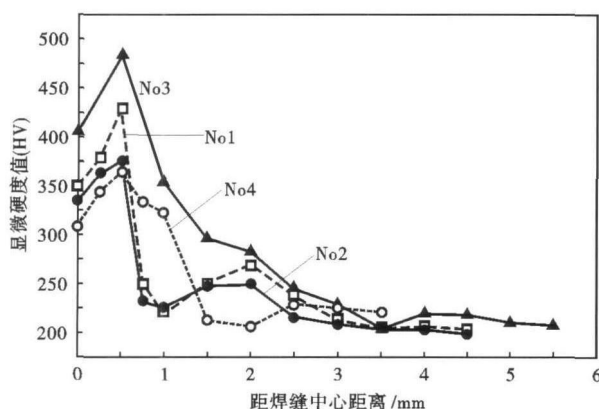


图 4 焊接工艺对焊接区显微硬度分布的影响

Fig. 4 Effect of welding process on distribution of microhardness in welding zone

4 结论

(1) 焊缝区手工电弧焊为沿柱状晶分布的先共析铁素体和珠光体, CO₂ 气体保护焊为针状铁素体

参考文献

- 1 马鸣图, 吴宝裕. 双相钢-物理和力学冶金. 北京: 冶金工业出版社, 1988
- 2 Zhang Xiaoyun, Chen Guanlong, Zhang Yangsong, et al. Improvement of Resistance Spot Weldability for Dual-phase (DP600) Steels Using Servo Gun. *Journal of Material Processing Technology*, 2009, 209: 2671
- 3 刘彦春, 刘相华, 王国栋, 等. 一种用于热轧带钢生产线的冷却装置. 中国: 200620088933.1, 2006-01-13
- 4 王国栋, 刘相华, 孙丽钢, 等. 包钢 CSP“超快冷”系统及 590MPa 级 C-Mn 低成本热轧双相钢开发. *钢铁*, 2008, 43(3): 49
- 5 曹良裕, 魏战江. 钢的碳当量公式及其在焊接中的应用. *材料开发与应用*, 1999, 14(1): 39
- 6 邝霜, 康永林, 于浩, 等. 600MPa 级冷轧双相钢的试制与研究. *材料工程*, 2006(s1): 329
- 7 张继诚, 符仁钰, 张梅, 等. 相同成分 DP 钢和 TRIP 钢部分力学性能的比较. *热加工工艺*, 2006, 35(22): 51

邢淑清(1971-), 女, 副教授, 材料加工数值模拟及组织性能研究。

收稿日期: 2011-11-23