

重型钢轨与高锰钢辙叉的焊接

II 高碳钢焊接性的研究

赵敏海¹, 郭面焕¹, 董卫国², 邓丙伟¹

(1. 哈尔滨工业大学 现代焊接生产技术国家重点实验室, 哈尔滨 150001;

2. 哈尔滨焊接研究所, 哈尔滨 150080)

摘 要: 高锰钢和高碳钢的焊接由于化学、物理、力学等性能差距较大, 所以焊接难度较大, 论文 I 和 II 分别将高锰钢和高碳钢各自的焊接性进行了深入的研究。通过对焊接接头的金相组织分析、扫描电子显微(SEM)分析、能谱分析以及力学性能检验, 确定出了高锰钢焊接及高碳钢焊接的方法, 为高锰钢产品的焊接或高碳钢产品的焊接提供了实用可行的焊接工艺。论文 II 还对这两种材料进行了直接焊接、加单侧过渡层焊接、加双介质过渡层焊接的试验研究, 制定出了高锰钢与高碳钢焊接的最佳工艺规范, 同时进行了力学性能的试验, 为高碳钢钢轨与高锰钢辙叉的焊接提供了可靠的依据。

关键词: 高碳钢; 高锰钢; 焊接技术

中图分类号: TG47 文献标识码: A 文章编号: 0253-360X(2002)04-09-04



赵敏海

0 序 言

论文 I 主要研究高锰钢的焊接性, 论文 II 主要研究高碳钢的焊接性及高锰钢与高碳钢的焊接工艺。试验条件见文献[1]。研究的目的是为钢轨与辙叉的焊接进行前期焊接性及焊接工艺的模拟试验研究, 从而进一步实现钢轨与辙叉的焊接。

1 高碳钢焊接性的研究

1.1 高碳钢的性质及焊接特点

高碳钢焊接的主要问题是产生冷裂纹。众所周知, 产生冷裂纹的三大要素是淬硬组织、氢和拘束应力。高碳钢是含碳量大于 0.6 % 的碳素钢, 由于含碳量较高, 具有淬火硬化倾向, 在焊接过程中热影响区容易产生马氏体组织和造成较大的焊接应力, 从而导致冷裂纹的产生。所以一般选用低氢型焊接材料, 采用焊前对工件进行预热, 焊后缓慢冷却并锤击的工艺措施。

1.2 高碳钢焊接的试验方案及焊接工艺

根据文献[2]介绍, 中碳钢焊接时的预热温度在 200 ℃ 左右, 而高碳钢预热温度在 400 ℃ 以上。文

中试验所用的焊接母材为 U71Mn 钢轨用材质, 含碳量为 0.71 %, 为了摸清这种材料焊接所需要的最佳预热温度, 拟定预热温度为 200 ℃、250 ℃、300 ℃、350 ℃、400 ℃、450 ℃ 六个区间内进行试验。同时进行了焊后室内空气自然冷却(室温在 12 ~ 18 ℃ 之间)、用石棉布包裹工件自然缓冷及炉中保温缓冷三种方式的试验。这种方案的确定, 主要目的是在保证焊接接头组织性能的前提下, 找出最低的预热温度及适宜的缓冷方式, 从而简化焊接工艺和降低焊接生产成本。试验均采用多层多道堆焊的焊接接头形式, 连续堆焊的工艺方法, 如图 1 所示。接头共分三层进行堆焊, 第一层三道, 第二层两道, 第三层一道, 如图 1a 的焊接工序。每层每道的焊缝采用逆向运条的方式, 如图 1b 所示。这种焊接工艺对

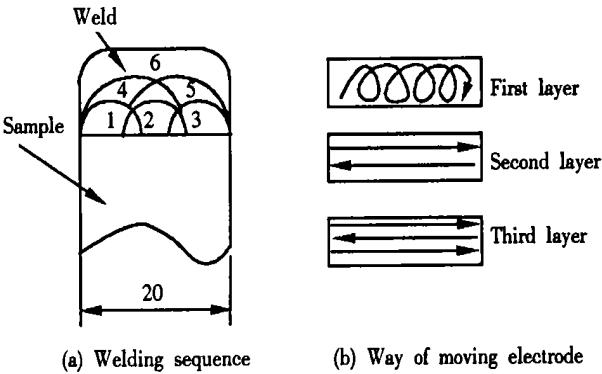


图 1 高碳钢焊接接头形式

Fig. 1 Welded joint of high carbon steel

收稿日期: 2002-03-27
基金项目: 河北省科学研究计划项目(98212201D); 唐山市重点科技
研究计划项目(001125)

释放焊接应力、二次重熔细化晶粒、减少方向性偏

析、破碎焊缝柱状晶都有一定的好处。选用规格为 $\phi 4.0\text{ mm}$ 的 HT1 型 Ni—Cr—Mo 合金系低氢型焊条,烘干温度为 $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ 保温 2 h,随焊随取,焊接电流为 $140\sim 160\text{ A}$ 。试验试件的金相组织为珠光体加少量的铁素体,化学成分及力学性能见文献[1]中的表 1。

1.3 试验结果及分析

对上述六种预热温度焊后直接空冷的试件进行了金相组织分析,其结果是热影响区均有不同程度的马氏体组织,如图 2a 所示。经分析认为主要原因是冷却速度过快造成的。从马氏体产生的数量来看,随着预热温度的增加,马氏体数量有所减少,但不十分明显,从这一点来看,在这种条件下冷却速度过快占了主导地位,而预热温度起的作用不太明显。同样对上述六种预热温度焊后的试件,用石棉布包裹试件自然缓冷的方法,进行了金相组织的分析,发现 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ 这四种试件在热影响区均有不同程度的马氏体组织,从马氏体产生的数量来看,随着预热温度的增加,马氏体数量有明显的减少,如图 2b 所示。 $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ 这两种试件经对热影响区组织的观察,没有发现马氏体组织。所

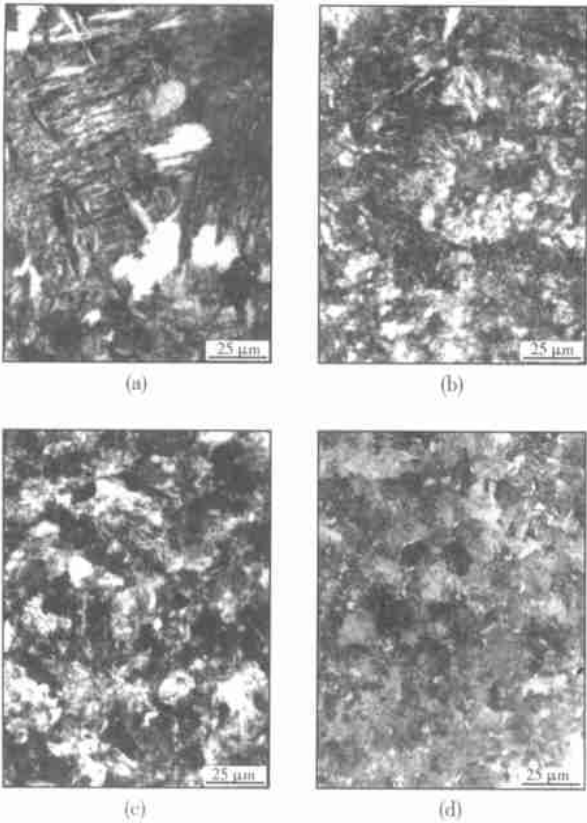


图 2 高碳钢焊接热影响区金相组织

Fig. 2 HAZ microstructure of high carbon steel

以对 $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 这两种试件又重新进行了同样条件的多次试验, $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的试件仍然没有发现马氏体

组织,而 $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的个别试件有少量的马氏体组织,如图 2c 所示,大多数试件没有发现马氏体组织,所以认为在这种条件下,采用 $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的预热温度,是一个产生马氏体组织的临界预热温度。另外对上述六种预热温度焊后的试件,采用放在 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 炉中随炉冷的方法进行了试验,其结果是 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 预热温度以上的试件均无马氏体组织,如图 2d 所示,而 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ 这两种温度的试件均有马氏体组织。通过对上述试验结果的分析认为,对于空冷的方法一般不宜采用。采用石棉布包裹工件自然缓冷的方法,虽然可取,但仍受到外界环境温度等条件的影响,对冷却速度不能人为地去控制,焊后工件的焊接接头质量很难得到保证。如果在条件允许的情况下,尽量采用随炉冷却的方法。文中高碳钢焊接试验研究所采用的预热温度确定为 $300\sim 350\text{ }^{\circ}\text{C}$,焊后炉中缓冷的方法。

2 高碳钢和高锰钢的焊接

高碳钢和高锰钢的焊接属异种金属材料的焊接,由上可知,这两种材料的焊接工艺要求相反,所以将二者直接进行焊接,难度较大。对高碳钢和高锰钢这两种材料进行了直接焊接、单侧过渡层的焊接、双介质过渡层的焊接三种焊接工艺的试验研究。

2.1 直接焊接

将高碳钢和高锰钢试板采用对接焊的接头形式,用规格为 $\phi 3.2\text{ mm}$ 的 HT2 型焊条进行焊接。焊后室内自然空冷,对焊接接头进行了金相分析,如图 3 所示。发现在高碳钢侧的热影响区有淬硬组织

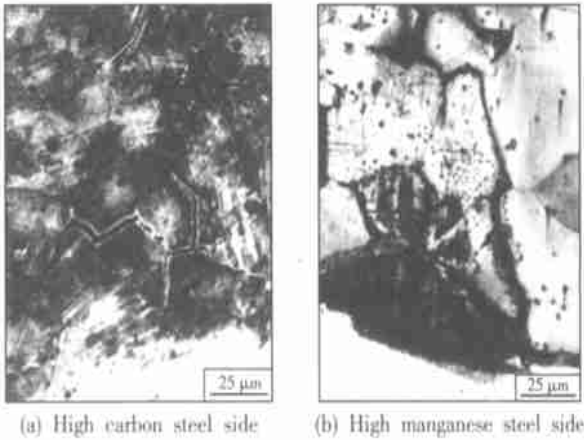


图 3 直接焊接接头组织

Fig. 3 Microstructure of welded joint without intermediate layer

产生,高锰钢侧热影响区有大量的碳化物析出,熔合线附近有液化裂纹。所以这种工艺是不可行的。

2.2 加单侧过渡层的焊接

先在高锰钢侧堆焊一定厚度的过渡层, 再经二次水韧处理, 然后与没有过渡层的高碳钢试件进行对焊, 焊后室内自然空冷, 对焊接接头进行了金相分析, 如图 4 所示。发现在高碳钢侧的热影响区有淬硬组织产生, 高锰钢侧热影响区有少量的碳化物析出, 熔合线附近没有液化裂纹。经分析认为, 其原因是在焊接过程中, 由于不能对焊缝金属采取水冷措施, 否则高碳钢侧会产生淬硬组织或冷裂纹, 所以导致了高锰钢热影响区碳化物的析出。由于高锰钢的存在, 又不宜采用保温缓冷的措施, 所以高碳钢侧的热影响区有淬硬组织产生。采用如上的试验方法, 在高锰钢侧再装强迫水冷装置进行焊接, 对焊接接头进行了金相分析, 如图 5 所示。发现在高碳钢侧的热影响区同样有淬硬组织产生, 而且淬硬组织的数量稍有增加。高锰钢侧热影响区还有少量的碳化

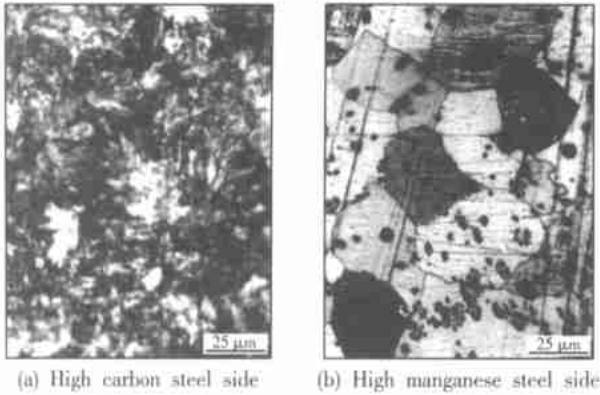


图 4 高锰钢侧加过渡层热影响区组织
Fig. 4 HAZ microstructure of intermediate layer beside high manganese steel

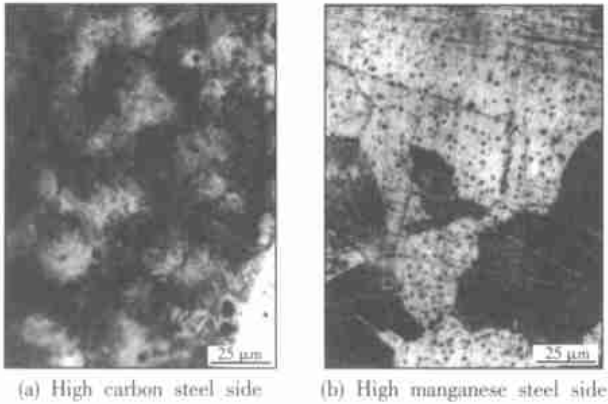


图 5 强迫水冷热影响区组织
Fig. 5 HAZ microstructure of joint forced cold with water

物析出, 但数量有所减少, 而且颗粒变小。经分析认为, 其原因是在焊接过程中, 高锰钢侧热影响区减少碳化物析出的原因, 是由于采用了强迫水冷的措施, 使热影响区高温停留时间缩短的缘故。高碳钢侧的热影响区淬硬组织的增加, 是由于采用了强迫水冷

的措施, 使高碳钢侧的热影响区冷却速度加快所造成的。

用规格为 $\phi 4.0$ mm 的 HT1 型焊条, 先在高碳钢侧堆焊一定厚度的过渡层, 进行保温缓冷, 然后与不带过渡层的高锰钢试件进行对焊, 在高锰钢侧装强迫水冷装置, 用规格为 $\phi 3.2$ mm 的 HT2 型焊条进行焊接, 焊后室内自然空冷, 对焊接接头进行了金相分析, 如图 6 所示。发现在高碳钢侧的热影响区没有淬硬组织产生, 高锰钢侧热影响区如图 6b 所示, 有大量的碳化物在晶界析出。经分析认为, 原因是高碳钢侧由于有一定厚度的过渡层, 在焊接过程中热影响区部位在过渡层上, 而且过渡层是奥氏体组织, 导热系数小, 所以高碳钢母材的组织性能不会受到影响。高锰钢侧碳化物析出的原因主要是母材直接受到了焊接高温的影响, 虽然经强迫水冷缩短了高温停留时间, 但由于温度过高而不可避免地引起碳化物的析出。

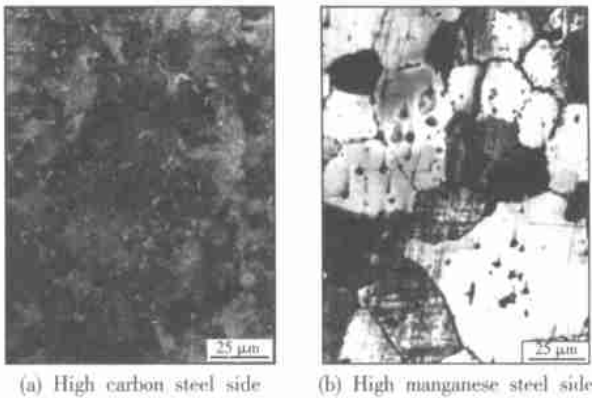


图 6 高碳钢侧加过渡层热影响区组织
Fig. 6 HAZ microstructure of intermediate layer beside high carbon steel

2.3 加双介质过渡层的焊接

采用在高碳钢和高锰钢焊接的部位先分别堆焊一定厚度的过渡层金属, 然后再将带有过渡层金属的高碳钢和高锰钢焊接在一起。这种工艺实际上是先分别对二者材料进行焊接, 这样单金属焊接就比较容易实现, 然后进行过渡层与过渡层之间的焊接, 不再会涉及到母材的焊接性问题。这样就能比较容易地解决这两种材料的焊接难度。

用均带有过渡层的高碳钢和高锰钢的试件, 用规格为 $\phi 3.2$ mm 的 HT2 型焊条进行焊接, 焊后室内自然空冷, 对焊接接头进行了金相分析, 在高碳钢侧的热影响区没有淬硬组织产生, 高锰钢侧热影响区没有碳化物析出。对双介质过渡层及焊缝金属进行了金相组织分析, 如图 7 所示, 没有发现任何缺陷, 组织均为奥氏体。

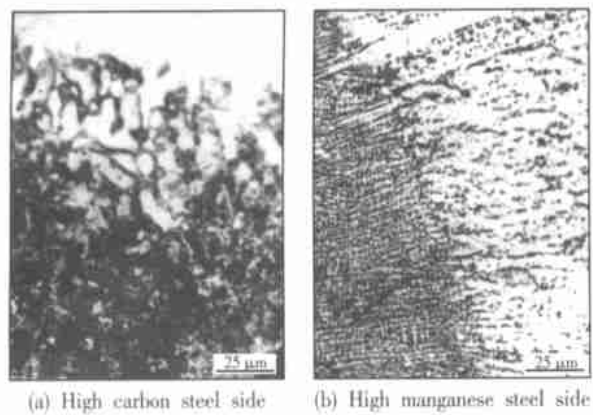


图 7 双介质过渡层熔合区组织

Fig. 7 Bond microstructure of double mediums intermediate layers

2.4 焊接接头的力学性能

对双介质过渡层的高碳钢与高锰钢焊接接头进行了力学性能试验, 硬度值介于高碳钢和高锰钢之间, 冲击韧度和抗拉强度试验结果见表 1。试件加工条件是, 冲击测试试件缺口中心在高锰钢侧, 离熔合线2 mm处; 拉伸测试试件以焊缝为中心, 加工成

表 1 焊接接头力学性能

Table 1 Mechanical properties of joint							
Sample number	01	02	03	04	05	06	Average
a_{KU} /(J·cm ⁻²)	151.24	149.41	136.59	138.46	204.88	176.60	159.53
σ_b /MPa	698	728	724	718	706	726	716.7

拉伸试件。依据 TB/T1632—91、TB/T447—90 标准为参照标准值 a_{KU} (J/cm²) ≥ 88.2, σ_b (MPa) ≥ 588.8。从表中可以看出, 冲击韧度和抗拉强度已超过了相关标准的要求, 进一步证明选用 HT1 型和 HT2 型焊接材料, 采用双介质过渡层的工艺方法是可行的。

3 结 论

(1) 在试验的条件下对高碳钢的焊接, 即使是采用焊前预热, 但焊后空冷的方法容易在热影响区产生冷裂纹。采用石棉布包裹试件自然缓冷的方法, 预热温度在 400 ℃ 以上不会出现淬硬组织和冷裂纹。采用炉中缓冷的方法, 预热温度在 300 ℃ 以上不会出现淬硬组织和冷裂纹。

(2) 高碳钢与高锰钢的焊接, 采用直接焊接的方法是不可行的。采用单侧加过渡层的方法虽然可以进行焊接, 但较难保证热影响区组织性能的稳定。采用加双介质过渡层的方法, 适应高碳钢和高锰钢各自的焊接特性, 所以能很好地保证焊接接头的综合性能, 是一种理想的焊接工艺。

(3) 选用牌号 HT1 型, 合金系列 Ni—Cr—Mo; 牌号 HT2 型, 合金系列 Mn—Cr—Ni 的焊条, 采用加双介质过渡层的工艺进行焊接, 焊接接头的力学性能均达到和超过了相关标准的技术指标要求。

参考文献:

[1] 郭面焕, 赵敏海, 董卫国. 重型钢轨与高锰钢辙叉的焊接——I 高锰钢焊接性的研究[J]. 焊接学报, 2002, 23(3): 3~6.
[2] 中国机械工程学会焊接学会, 焊接手册—材料的焊接[M]. 北京: 机械工业出版社, 1992. 131~144.

作者简介: 赵敏海, 女, 1964 年出生, 讲师, 硕士研究生。主要从事焊接材料及焊接性的研究, 参加编写著作 2 部, 发表论文 5 篇。

Email: zhaominhai@scn.cn