

高碳中锰奥氏体钢与中碳调质铸钢的焊接工艺

张彩霞

(中煤张家口煤矿机械有限责任公司, 河北 张家口 075025)

摘要: 针对高碳中锰奥氏体钢与中碳调质铸钢的本质特征,理论分析了其焊接性,采用熔化极气体保护焊接方法进行两种钢的焊接试验。选用了不锈钢焊丝、不同的保护气体、不同的预热工艺、不同的多层道方法及不同的焊接热输入进行对比,借助力学性能设备、光学显微镜等手段分析了焊接接头的宏观金相、微观组织形貌和力学性能。结果表明,选用95% Ar + 5% O₂ 的混合气体、小热输入、多层多道焊、不预热的焊接工艺,焊接性差的高碳中锰奥氏体钢与中碳调质铸钢可以得到优良的焊接接头,同时节约了成本、提高了效率。

关键词: 高碳中锰奥氏体钢; 中碳调质铸钢; 焊接性; 焊接工艺

中图分类号: TG457

0 前言

高碳中锰奥氏体钢具有强烈的形变诱导硬化特性,在使用过程中该钢的浅表层发生细晶强化、位错强化、相变强化,表面硬度与强度急剧提高,形成一种表层耐磨、内部高韧的梯度耐磨材料,可适用于各类冲击、疲劳、磨粒磨损工况。目前,高碳中锰奥氏体钢正逐渐被应用在煤矿井下刮板输送机中部槽中,而中部槽是由铸造调质钢和各类耐磨板材焊接而成,高碳中锰奥氏体钢的应用必然会面临异种钢焊接难度大的问

题,所以研究高碳中锰奥氏体钢^[1]与中碳调质铸钢的焊接性十分关键。

1 焊接性分析

1.1 高碳中锰奥氏体钢的焊接性

高碳中锰奥氏体钢的基本成分为:7% ~ 11% Mn, 0.9% ~ 1.4% C。该种钢在水淬后具有高韧性、高冷作硬化能力,在高冲击载荷下使用耐磨性好。该种钢板能够承受各种岩石、沙子、矸石的磨损。表1和表2分别为一种高碳中锰奥氏体钢板的化学成分及力学性能。

表1 高碳中锰奥氏体钢化学成分(质量分数,%)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V
0.95	0.19	8.04	0.008	0.003	1.52	0.29	0.22

表2 高碳中锰奥氏体钢力学性能

抗拉强度 R_m /MPa	屈服强度 R_{eH} /MPa	断后伸长率 A (%)	(常温)冲击吸收能量 KV/J	冷弯 ($\alpha = 90^\circ, D = 3a$)	表面硬度 (HBS)
750	450	20	>90	完好	>360

1.2 中碳调质铸钢 ZG30MnSiMo 的焊接性

ZG30MnSiMo 属于中碳低合金铸钢(0.25% ~ 0.35%

C),浇铸后通过调质处理获得高强耐磨性能。表3和表4为 ZG30MnSiMo 的化学成分及力学性能。

表3 ZG30MnSiMo 钢化学成分(质量分数,%)

C	Si	Mn	P	S	Mo
0.33	0.60	1.60	0.02	0.01	0.45

由表3可知,ZG30MnSiMo 的碳当量为 $C_{eq} = Mn/6 + Si/24 + Cr/5 + Mo/4 + V/14 + Ni/40 = 0.63$,可看出中碳调质铸钢的碳当量大于0.4%,冷裂敏感系数大于

收稿日期: 2019 - 07 - 10

doi: 10.12073/j. hj. 20190710001

表4 ZG30MnSiMo 钢力学性能(质量分数,%)

抗拉强度 R_m /MPa	屈服强度 R_{eH} /MPa	断后伸长率 A (%)	(常温)冲击吸收能量 KV/J	布氏硬度(HBS)	热处理
850	680	10	>27	≥ 260	调质

0.3%,淬硬倾向高,冷裂倾向严重,而且中部槽产品强度高、结构刚性大,焊接时接头拘束应力大,所以中碳调质铸钢焊接存在的重要问题是热影响区的冷裂纹和过热区的脆化现象,即焊接性差。

通过分析可知:高碳中锰奥氏体钢室温下呈单相奥氏体,膨胀系数大于中碳钢,而热导率又低于中碳钢,所以热裂纹的倾向较严重,焊接过程中要控制热输入,降低高温停留时间。这一特征正好与中碳调质铸钢种焊接特征相反,由于其合金元素较高,冷裂现象严重,焊接过程需要预热,这两种母材物理、化学、力学性能差异较大,异种钢焊接性能差^[2-7],尤其是在冬季表现突出。要得到两者焊接的有效焊接接头,就必须进行焊接工艺试验。

2 试验方法

根据煤矿井下刮板输送机中部槽^[8]结构,现将两者进行焊接工艺试验,以确定其焊接可行性。

2.1 试验件制备

ZG30MnSiMo 钢板采用单铸形式,跟随产品同炉浇注,其化学成分及热处理状态与产品完全相同。试件经机械加工而成,规格为 300 mm × 150 mm × 40 mm。高碳中锰奥氏体钢试验件周边及坡口采用机械加工而

成,避免了因切割造成的焊接问题,规格为 300 mm × 150 mm × 40 mm。为了模拟实际产品的中部槽焊接,ZG30MnSiMo 钢板与高强耐磨钢的对接坡口采用 K 形,图 1 为对接接头示意图。

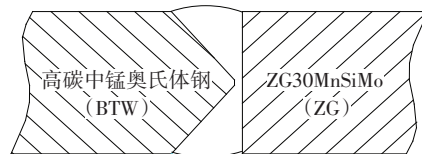


图1 对接接头示意图

2.2 焊丝选择

焊接高碳中锰奥氏体钢用焊丝^[9]有 Mn-Ni, Mn-Cr, Mn-Mo, Mo-Ni-Cr 系高锰钢焊丝和 Cr-Ni, Cr-Ni-Mn 系合金钢焊丝,以及不锈钢焊丝。该次焊接试验采用一种不锈钢焊丝,直径 1.2 mm,焊丝成分见表 5。

2.3 焊接工艺

焊接参数:焊接电流 180 ~ 240 A,电弧电压 25 ~ 28 V,试验选取 MAG 焊(Metal active gas arc welding)与 MIG 焊(Metal inert gas welding)两种方法进行对比,采用摆动焊、多层多道焊进行比较,预热与不预热进行比较,试验参数见表 6。

表5 焊丝化学成分(质量分数,%)

C	Mn	Si	Mo	Cr	Ni	N	P	S
0.076	6.81	0.85	0.08	19.05	8.19	0.07	0.012	0.002

表6 焊接工艺参数

试样编号	保护气体	预热方式	多层多道焊	热输入 $E/(kJ \cdot cm^{-1})$	层间温度 $T/^\circ C$
1	80% Ar + 20% CO ₂	预热	摆动	25 ~ 30	< 150
2	95% Ar + 5% O ₂	不预热	多层道	15 ~ 20	< 150
3	100% Ar	不预热	多层道	15 ~ 20	< 150

3 试验结果与分析

3.1 力学性能

焊接接头力学性能检测依据国标 GB/T 2651—2008《焊接接头拉伸试验方法》进行,抗拉强度测试数据见表 7。可知,1 号、2 号接头板拉伸破断位置均在锰钢母材一侧,发现该耐磨钢在拉伸时达到一定形变后,试样表面出现微裂纹,进一步拉伸则试样由微裂纹扩

展发生断裂,而焊缝强度较高。3 号与 1 号、2 号相比,接头抗拉强度较低,破断位置均在焊缝。冲击试验依据国标 GB/T 2650—2008《焊接接头冲击试验方法》进行取样,测试数据见表 8。可知,1 号采用了预热摆动焊工艺及 80% 的富 Ar 保护,焊缝冲击性能相比较低,2 号采用了多层多道焊工艺及 95% 的富 Ar 保护,且不预热,焊缝冲击性能相比 1 号高,3 号与 1 号、2 号相比,接头冲击性能较高。

表 7 焊接接头抗拉性能

试样 编号	取样 形式	抗拉强度平均值 R_m /MPa	断裂位置
1	板拉伸	609	BTW 侧
	棒拉伸	710	焊缝
2	板拉伸	617	BTW 侧
	棒拉伸	720	焊缝
3	板拉伸	542	焊缝
	棒拉伸	577	焊缝

表 8 焊接接头冲击性能

试样编号	位置	冲击吸收能量平均值 KV/J
1	ZG 侧热影响区	85.3
	焊缝	147.7
	BTW 侧热影响区	81.3
2	ZG 侧热影响区	88.0
	焊缝	163.3
	BTW 侧热影响区	82.3
3	ZG 侧热影响区	93.3
	焊缝	168.7
	BTW 侧热影响区	92.3

3.2 宏观金相

图 2 是三种焊接工艺试验接头的宏观形貌。1 号焊接接头未发现夹渣、宏观裂纹缺陷,熔深大、热影响区大;2 号焊接接头未发现夹渣、宏观裂纹缺陷,热影响区小于 1 号,有足够熔深;3 号焊接接头发现气孔、未焊透缺陷。3 号热影响区相比 1 号、2 号最小,中碳调质铸钢侧熔深小,原因是纯 Ar 焊接奥氏体钢时,液体金属粘度大、表面张力大、熔深浅,影响焊接接头强度。



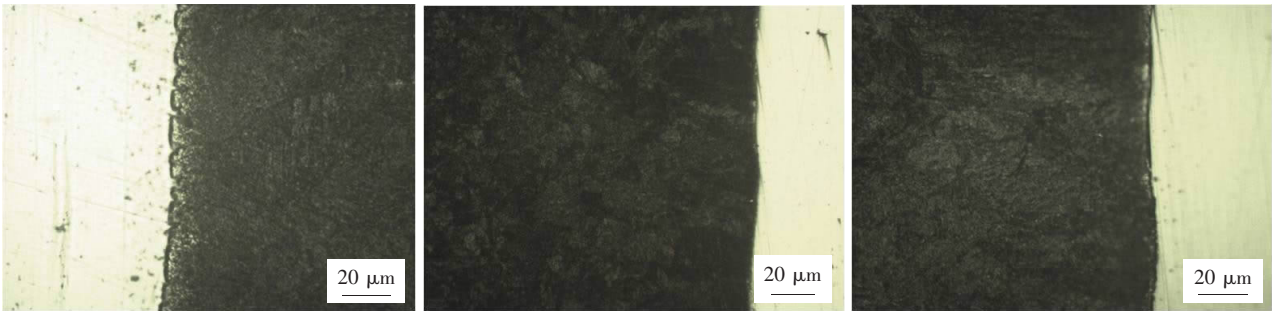
(a) 1 号试样 (b) 3 号试样 (c) 3 号试样

图 2 三种焊接工艺试验接头宏观形貌

3.3 微观组织

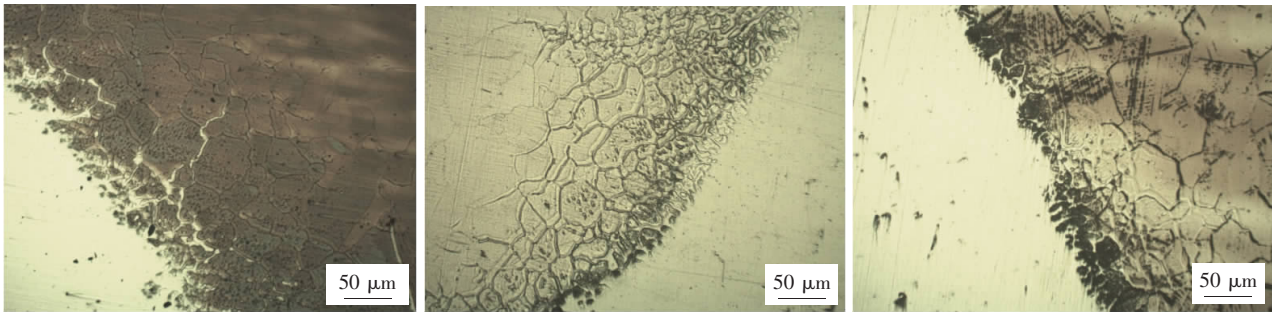
图 3 是三种焊接工艺下中碳调质铸钢侧热影响区金相组织。图 3a 中,熔合线处的晶界有烧损现象,且有脱碳带,图 3b 及图 3c 中熔合线处没有微观缺陷,且脱碳带小。

图 4 是在 3 种焊接工艺下,奥氏体钢^[10]侧热影响



(a) 1 号试样 (b) 2 号试样 (c) 3 号试样

图 3 三种焊接工艺试验接头中碳调质铸钢侧热影响区金相组织



(a) 1 号试样 (b) 2 号试样 (c) 3 号试样

图 4 三种焊接工艺试验接头高碳中锰奥氏体钢侧热影响区金相组织

影响区金相组织。图 4a 中有明显液化裂纹,主要是由于采取了预热措施,增大了热输入导致。图 4b 及图 4c 中除了少量晶界熔化外,未发现明显液化裂纹。

图 5 是在三种焊接工艺下,焊缝金相组织。图 5a

中可以看出奥氏体基体中有大量的铁素体,图 5b 及图 5c 中均为均匀的奥氏体组织加少量针状铁素体,典型的树枝晶状态,由于多层多道焊工艺,有大量二次奥氏体出现,明显改善高铁素体的焊缝组织及性能^[11-12]。

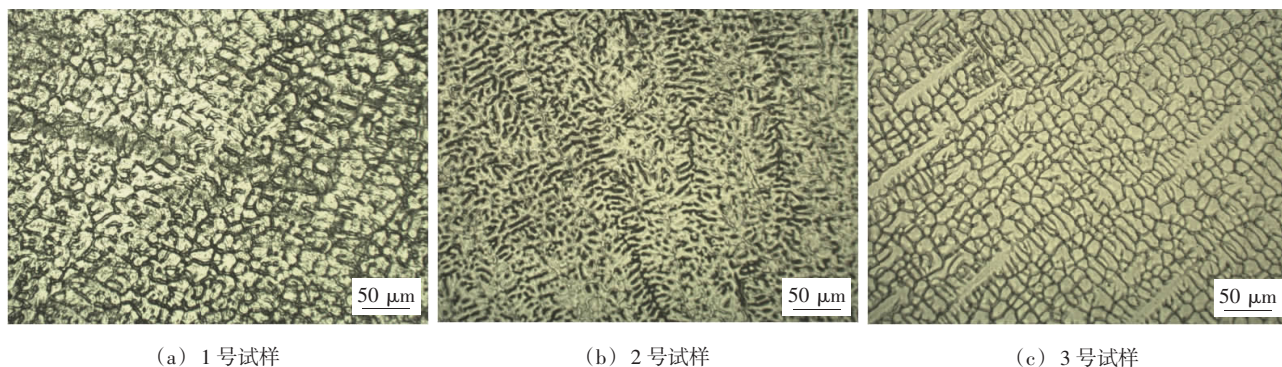


图 5 三种焊接工艺试验接头焊缝金相组织

4 结论

虽然中碳调质铸钢 ZG30MnSiMo 与高碳中锰奥氏体钢属于异种钢焊接,各自焊接性不佳。但是,从试验数据显示,通过综合分析,2 号试样的焊接接头综合力学性能良好、微观组织稳定,可以得出如下结论:

(1) 选用 95% Ar + 5% O₂ 的混合气体可以改善纯 Ar 的表面张力大的缺点,加大熔深,提高中碳调质铸钢与高碳中锰奥氏体钢焊接强度。

(2) 选用小热输入、多层多道焊的焊接工艺,有效改善了焊缝微观组织,提高中碳调质铸钢与高碳中锰奥氏体钢焊接接头韧性储备。

(3) 中碳调质铸钢与高碳中锰奥氏体钢焊接,焊前不需要预热处理,焊后不需要进行焊后热处理,节约生产成本,大幅度提高了焊接效率。

参考文献

- [1] Wen Y H, Peng H B, Si H T, et al. A novel high manganese austenitic steel with higher work hardening capacity and much lower impact deformation than Hadfield manganese steel[J]. Materials and Design, 2014, 55(3): 798 - 804.
- [2] 郭面焕, 赵敏海, 董卫国. 重型钢轨与高锰钢辙叉的焊接[J]. 焊接学报, 2002, 23(3): 6 - 10.
- [3] Zhang F C, Lv B, Hu B T, et al. Flash butt welding of high manganese steel crossing and carbon steel rail [J]. Materials Science & Engineering A, 2006, 11: 288 - 292.
- [4] 张啸宇, 谭俊, 任伟, 等. 中锰钢表面堆焊 TiC 的组织

与性能[J]. 材料导报, 2015, 29(6): 106 - 109.

- [5] Dahmen M, Lindner S, Monfort D, et al. Weld metallurgy and mechanical properties of high manganese ultra-high strength steel dissimilar welds [J]. Physics Procedia, 2016, 83: 344 - 351.
- [6] 黄本生, 陈权, 杨江, 等. Q345/316L 异种钢焊接残余应力与变形数值模拟[J]. 焊接学报, 2019, 40(2): 138 - 144.
- [7] He Z M, Jiang Q C, Fu S B, et al. Improved work hardening ability and wear resistance of austenitic manganese steel under non-severe impact-loading conditions [J]. Wear, 1987, 120(3): 305 - 307.
- [8] 葛世荣, 王军祥, 王庆良, 等. 刮板输送机中锰钢中部槽的自强化抗磨机理及应用[J]. 煤炭学报, 2016, 41(9): 2373 - 2379.
- [9] 李葱聪. 碳钢和奥氏体不锈钢管道焊材选用研究分析[J]. 化工设计通讯, 2017, 43(5): 17 - 18.
- [10] 王海燕, 牛春菊, 崔国涛, 等. 焊接工艺对 TP304/SS400 异种钢焊接接头组织和性能的影响[J]. 焊接学报, 2019, 40(5): 131 - 136.
- [11] 秦建, 董显, 路全彬, 等. 双相钢焊接接头微观组织表征及性能分析[J]. 焊接, 2019(4): 54 - 59.
- [12] Li Weiwei, Xu Xiaofeng, Yang Yang, et al. Welding of 2205 duplex stainless steel natural gas pipeline [J]. China Welding, 2016, 25(3): 49 - 56.

第一作者简介: 张彩霞, 1980 年出生, 硕士; 主要从事焊接科研、焊接工艺设计、工艺评定验证工作; 已发表论文 8 篇。