

文章编号: 1003-7837(2004)01-0059-05

## 防弹车板构件的焊接

李乐天, 刘志坚

(广东省钢铁研究所, 广东 广州 510640)

**摘 要:** 为了解决超高强度钢在防弹运钞车中的焊接及焊缝防弹性能差的问题, 采用氩弧焊、手工电弧焊和 CO<sub>2</sub> 气体保护焊及多种焊接材料进行焊接试验, 并对其焊接工艺及性能进行比较, 得出 CO<sub>2</sub> 气体保护焊是焊接防弹构件的最佳方式, 焊接后再进行热处理有利于改善防弹性能。

**关键词:** 焊接; 超高强度钢; 运钞车

**中图分类号:** TG47 **文献标识码:** A

超高强度钢作为硬防护层安装在防弹运钞车上已经十分普遍, 其安装最初是采用铆接或螺栓紧固的方式。铆接在运钞车上的超高强度钢板在车辆运行时受到振动, 强度相对较低的铆钉容易剪切断; 螺栓紧固方式则需增加车内支撑结构, 但这样会增加车辆负重, 减少了使用载荷, 而且在某些部位难以实施, 还会影响车辆的美观。焊接是安装金属构件简便可行的方式。然而, 超高强度钢的材质决定了它是一种可焊性很差的材料, 材料焊接后的冷裂倾向很大, 而且焊缝周围的防弹性能较差。防弹车板构件的焊接是有待解决的难题。本文就此问题进行探讨。

### 1 焊接方法

GK901 超高强度防弹钢是由广东省钢铁研究所研制开发的中碳低合金钢。该种材料经适当的热处理后具有较好的综合机械性能, 其防弹机理为依靠材料较高的强度抵挡子弹的冲击, 同时利用材料足够的韧性产生塑性变形以吸收子弹的动能。厚 2.3 mm 的 GK901 防弹钢板可防七九式轻型冲锋枪钢芯弹近距离射击, 达到 GA164-1997《专用运钞车防护技术条件》中 B 级防护的要求。GK901 防弹钢板现已广泛应用于制作运钞车的防弹构件。

钢材的等效碳含量可根据国际焊接学会 (IIW) 推荐的公式计算<sup>[1]</sup>:

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

式(1)中 CE 为等效碳含量, C, Mn, Cr, Mo, V, Cu, Ni 分别为各元素在母材中的质量分数。由式(1)计算出 GK901 防弹钢的等效碳含量为 1.1。若采用不合适的焊接方法和工艺, 该材料对接焊接后其焊缝边缘易出现裂纹, 焊缝及热影响区的防弹性能明显下降。钢板的焊缝及热影响区遭受实弹射击后, 会出现穿透、崩缺、断裂、开裂等情况, 如图 1 所示。

#### 1.1 氩弧焊

氩弧焊的焊接性能好, 输入能量低, 焊缝成型美观, 适用于各种位置的焊接。但该法存在熔深浅、生产效率低的缺点。用氩弧焊对接厚 2.3 mm 的防弹钢板, 要做到背面成形就需要预先开坡口。试验时, 选用 R317 和 A102 为焊接材料, 在焊缝处开 90°左右坡口, 并采用打底与盖面的方式进行焊接, 同时分别与焊前预热 250℃作对比, 其结果列于表 1。试验结果表明: 焊前预热可提高焊缝两侧的防弹能力。主要原因是经预热的试样在施焊时输入的线能量较小, 对焊缝两侧基体组织的影响较小。图 2 和图 3 分别为 4 号和 1 号试样氩弧焊焊接区经实弹射击后的实物照片, 图片显示焊缝的热影响区的防弹性能完全达到要求, 但因选用的 A102 焊接材料强度偏低, 使焊缝中间轻微开裂。

收稿日期: 2003-08-20

作者简介: 李乐天(1964-), 男, 广东广州人, 工程师, 学士。

表 1 氩弧焊接工艺及弹击结果  
Table 1 Process of argon arc welding and results of firing practice

编号	焊接方式	焊接材料	焊接电压/V	焊接电流/A	焊接速度/(mm·s <sup>-1</sup> )	射击结果
1	打底/盖面	R317/R317	10/10	58/58	1.1/1.1	有效阻挡
2	打底/盖面	A102/A102	10/10	60/59	1.1/1.1	不能阻挡
3	预热打底/预热盖面	R317/R317	10/10	59/59	1.7/1.2	有效阻挡
4	预热打底/预热盖面	A102/A102	10/9.3	59/59	1.6/1.3	有效阻挡

图 2 4号焊缝在实弹射击后的状态  
Fig.2 Appearance of no.4 weld after firing practice

图 3 1号焊缝在实弹射击后的状态  
Fig.3 Appearance of no.1 weld after firing practice

1.2 手工电弧焊

手工电弧焊的特点是设备简单、操作方便、环境限制因素小,但对焊工操作水平的要求较高,焊后必

须清渣,生产效率较低.用手工电弧焊焊接防弹钢板时,对焊条的选择和焊接强度的要求很严格.用酸性焊条焊接的焊缝,含氢量高、抗裂性差,不适用于防

弹钢板的焊接,故选用碱性焊条焊接防弹钢板.为了减小热影响区的宽度,同时保证在较小焊接电流的条件下背面成形,采用直流反接电源.将直径 1.8 mm 的特制碱性焊条经长时间烘烤后用于防弹钢板对焊的焊接,其焊接工艺及射击结果列于表 2.图 4 是 27 号试样用手工电弧焊对焊后焊接区经实弹射击后的照片.表 2 和图 4 说明,采用手工电弧焊的焊接区域达到防弹要求.

表 2 手工电弧焊焊接工艺及弹击结果

Table 2 Process of manual arc welding and results of firing practice

编号	焊接电压 /V	焊接电流 /A	焊接速度 /(mm·s <sup>-1</sup> )	射击结果
26	23	30	3.3	有效阻挡
27	23	30	3.1	有效阻挡
42	23	30	3.1	有效阻挡
44	23	35	2.4	有效阻挡

图 4 27 号试样焊接区射击后的状态  
Fig.4 Appearance of no. 27 in welding zone after firing practice

1.3 CO<sub>2</sub> 气体保护焊

目前,CO<sub>2</sub> 气体保护焊已被广泛应用,成为重要的熔焊方法之一.它具有容易控制、焊接效率高的特点.选用 G70 为焊接材料在 CO<sub>2</sub> 气体保护下焊接防弹钢板,其焊接工艺及射击结果列于表 3.图 5 是 39 号试样经实弹射击后的照片.表 3 和图 5 说明,采用 CO<sub>2</sub> 气体保护焊的焊接区域达到防弹要求.

焊接实践表明,氩弧焊、手工电弧焊和 CO<sub>2</sub> 气体保护焊均适用于超高强度钢板构件的焊接,但三者之间的差异是明显的.氩弧焊受钨极载流能力限制,致使焊缝熔深浅;由于氩气成本高且没有去氢作用,故对焊件的前清理要求严格;装配现场施焊难度大.手工电弧焊的熔敷速度低,对焊条的去氢处理要

求高,焊缝质量在很大程度上取决于焊工的操作技能和现场发挥,劳动条件较差.与前两种焊接方式相比,CO<sub>2</sub> 保护焊具有生产效率高、焊缝含氢低、抗裂性好、抗锈能力强、焊接成本低等优点,是安装超高强度钢板构件较好的焊接方式.

表 3 CO<sub>2</sub> 气体保护焊焊接工艺及弹击结果  
Table 3 Process of CO<sub>2</sub> arc welding and results of firing practice

编号	焊接电压 /V	焊接电流 /A	焊接速度 /(mm·s <sup>-1</sup> )	射击结果
37	19	100	6.6	有效阻挡
39	19	90	4.9	有效阻挡
40	18.6	110	6.5	有效阻挡
43	19	50 ~ 100	5.8	有效阻挡

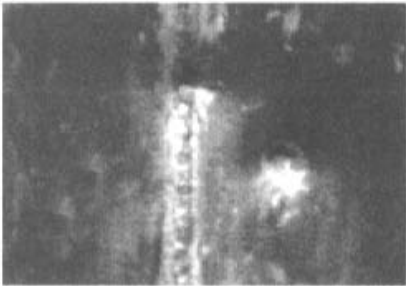


图 5 CO<sub>2</sub> 气体保护焊 39 号试样射击后的状况  
Fig.5 Appearance of no.39 sample after firing practice

2 影响焊接区域防弹性能的因素

2.1 焊接区域的基本特征

受焊接重熔与再结晶的影响,材料硬度距焊缝中心不同距离呈现如图 6 所示的基本特征.

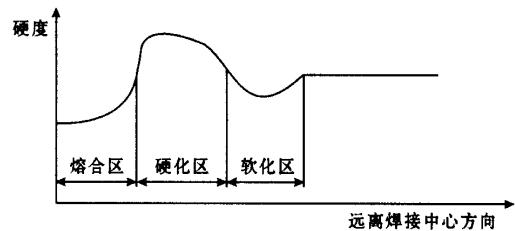


图 6 焊接热影响区硬度的曲线  
Fig.6 Hardness curve of welding HAZ

熔合区是由焊接材料与母材熔合而成,由于所用焊接材料的强度远低于母材,所以该区的硬度较

低.硬化区是焊接时近缝区温度超过  $A_{c3}$  的区域,过热导致晶粒粗化和难溶质点的溶解,使过冷奥氏体稳定性提高,冷却后得到粗大的马氏体,其力学性能表现为高硬度、低韧性.软化区则是受热温度低于  $A_{c3}$  的区域,因基体组织受不同程度的回火而发生的相应变化,其力学性能表现为低硬度、高韧性.硬化区的硬度过高或软化区的硬度过低以及热影响区过宽都会使材料的防弹性能下降.通过测试一系列不同焊接条件的硬度曲线,发现焊接条件对硬度曲线的形态影响较大.

## 2.2 线能量的影响

线能量是引发热影响区性能变化,进而对构件的防弹性能产生影响的直接原因.用不同的方法焊接时,焊缝对能量的吸收率有差异,因此线能量的比较只能在同一种焊接方法的条件下进行.试验结果表明,线能量越大,热影响区的防弹能力越差.这是因为焊接时输入的线能量越高,近缝区的温度就越

高,  $A_{c3}$  以上的温度区域就越宽,硬化区也就越宽,由于韧性不足,该区域中弹时就被容易击穿,如图 1(a)所示.但线能量过低则容易导致焊不透,连接强度低,中弹时焊缝易开裂,图 1(b)就属于这种情况.

## 2.3 热处理的影响

### 2.3.1 焊接前热处理

某些构件焊接后外形较大,不便进行热处理,必须先淬火再焊接.由于构件在焊接前已获得了所需要的组织形态,焊接的结果势必导致焊接区原有组织的改变.图 7 是先热处理再焊接的焊接硬化区组织的金相照片,可以看到有明显的网状碳化物.图 8 是热处理后再焊接的热影响区组织的连续照片,左端深色部分是熔合区,最右端为正常热处理组织.由此可见,对热处理过的钢板施焊时,必须严格控制焊接线能量,最大限度地减少对组织的影响.此外焊后及时回火消除应力可在一定程度上减少焊接所带来的负面影响.

图 7 先热处理再焊接的焊接硬化区组织,  $100\times$   
Fig.7 Microstructure of welding hardened zone with without after-heat treatment

图 9 先焊接再热处理的硬化区组织,  $100\times$   
Fig.9 Microstructure of welding hardened zone with after-heat treatment

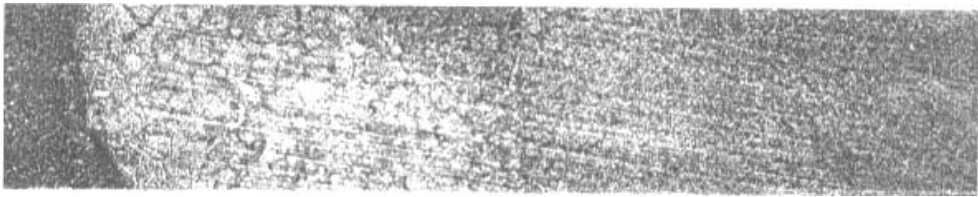


图 8 先热处理再焊接的焊接热影响区组织的全景,  $100\times$   
Fig.8 Microstructure panorama of welding HAZ without after-heat treatment

### 2.3.2 焊接后热处理

图 9 是先焊接再热处理的焊接硬化区组织的金相照片.图 7 与图 9 比较,可以发现图 9 的组织形态

明显好于图 7.通过大量的实弹检验结果显示:在相同的焊接条件下,焊接后再进行热处理的试样,其弹击结果明显优于热处理后再焊接的试样.原因是焊

接后淬火虽不能完全改变硬化区粗大晶粒的形态,但能够有效地消除网状碳化物和软化区,减小热影响区的范围,有利于改善焊接热影响区的防弹性能。因此,在条件许可的情况下,应首先选择热处理前焊接。

### 3 结 论

(1)在适当的焊接规范下,氩弧焊、手工电弧焊和CO<sub>2</sub>气体保护焊均能使超高强度防弹钢牢固对

接,并能有效抵挡七九式轻型冲锋枪钢芯弹近距离的射击。

(2)CO<sub>2</sub>气体保护焊更适合超高强度防弹钢的焊接。

(3)焊材、线能量和热处理是制订焊接工艺时必须综合考虑的因素。

#### 参考文献:

[1] 陈祝年. 焊接工程师手册[M]. 北京:机械工业出版社, 2000.

## Welding for bulletproof steel components of bank vehicle

LI Le-tian, LIU Zhi-jian

(Guangdong Research Institute of Iron and Steel, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** Several kinds of welding materials and welding ways, such as argon arc welding, manual arc welding and carbon-dioxide arc welding, were tried to solve the welding problem of the ultrahigh strength steel components fixed into the bulletproof bank vehicle and improve bulletproof properties in the welding seam. By comparing with their welding properties, it is concluded that carbon-dioxide arc welding is the best way to weld bulletproof steel components, and heat treatment after welding is beneficial for improving bulletproof properties of welding.

**Key words:** weld; ultrahigh strength steel; bank vehicle

## JM 系列超细粉搅拌磨机

广州有色金属研究院选矿所设备中心生产的 JM 系列超细粉搅拌磨机是在消化、吸收国外先进技术的基础上研制而成的一种新型湿法超细粉碎设备。该设备效率比球磨机高,结构比振动磨简单,维修方便。其特点如下:

1. 可加工各种矿物粒度在 3  $\mu\text{m}$  以下。
2. 采用三角带传动具有传动比大、结构紧凑的特点,并且可以解决弹性滑动,起到过载保护的作用。
3. 采用液压缸为执行件的搅拌装置提升液压系统,更换易损件方便。
4. 设备小处理量大;入磨粒度大,不需经过初磨;磨矿时间比一般磨机缩短近 1/4 的时间,有较高的生产率;工艺过程全封闭,产品回收率高。自动化程度高,能连续生产,可靠性好,可实现自动化操作。
5. 选用耐磨、耐高温材料作为研磨内衬,结构简单,又可达到节能效果。

地址:广州市天河区长兴街广州有色金属研究院选矿所 邮编:510651

网址: <http://www.gzrilm.com>

电话: 020-37239066、61086392、37239220、37239221 传真: 020-37238535