

# 堆焊电流对 16Mn 钢板堆焊层组织与性能的影响

王春华<sup>1,2</sup>, 何兴华<sup>1</sup>

(1. 辽宁工程技术大学 机械工程学院, 辽宁 阜新 123000; 2. 沈阳航空航天大学 机电工程学院, 辽宁 沈阳 110000)

**摘要:**为研究堆焊电流对刮板输送机中部槽堆焊层组织和性能的影响,采用手工电弧焊对与中部槽相同材料和热处理工艺的 16Mn 钢板进行不同强度电流的堆焊。通过对堆焊层进行组织观察和力学性能测试,分析了电流对耐磨堆焊层组织、硬度、耐磨性和韧性的影响。结果表明:堆焊层组织为马氏体、残余奥氏体和一些碳化物。随着堆焊电流的增大,残余奥氏体含量减少,马氏体变粗大,堆焊层硬度增大,韧性降低。不同电流的堆焊层冲击断面形貌均为河流花样,表明堆焊层韧性都不高。150 A 电流焊接的堆焊层耐磨性最佳,主要是由于残余奥氏体起支撑作用。

**关键词:**堆焊电流;堆焊层;手工电弧焊;耐磨性

**DOI:** 10.14158/j.cnki.1001-3814.2018.05.045

**中图分类号:** TG444<sup>+.1</sup>; TG455

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-3814(2018)05-0173-04

## Effects of Welding Current on Microstructure and Properties of 16Mn Steel Plate Surfacing Layer

WANG Chunhua<sup>1,2</sup>, HE Xinghua<sup>1</sup>

(1. School of Mechanical Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China; 2. School of Mechanic and Electronic Engineering, Shenyang Aerospace University, Shenyang 110000, China)

**Abstract:** In order to study the effect of welding current on the microstructure and mechanical properties of the scraper conveyor central groove's surfacing layer, the surfacing tests on the 16Mn steel plate which had same state with the central groove's material and heat treatment were carried out by manual arc welding with different currents. Through the microstructure observation and mechanical performance tests of the surfacing layer, the effect of welding current on the microstructure, hardness, wear resistance and toughness of the surfacing layer was analyzed. The results show that the microstructure of the surfacing layer is martensite, residual austenite and small amount of carbides. With the increase of welding current, the content of residual austenite decreases, the martensite coarsens, and the hardness of surfacing layer increases and the toughness decreases. The impact fracture morphologies of the surfacing layer under different currents are river pattern, which shows that the toughness of the the surfacing layer is not high. The wear resistance of the surfacing layer welded with the current of 150 A is the best, which is mainly due to the supporting role of residual austenite.

**Key words:** welding current; surfacing layer; manual arc welding; wear resistance

刮板输送机的中部槽是物料的承载部分,在运行过程中承受煤、刮板和链条的剧烈摩擦,是使用量和消耗量最大的部件。刮板输送机的失效也常由中部槽的过度磨损或断裂引起(见图 1),因此,中部槽应具有足够的强度、刚度和耐磨性<sup>[1-2]</sup>。目前,中部槽的材料多是高锰钢,主要有 16Mn 和 ZG30SiMn 两种材料,其通常具有较高的强度、较好的焊接性能,但耐磨性能相对较差<sup>[3-4]</sup>。在目前的研究与实际应用

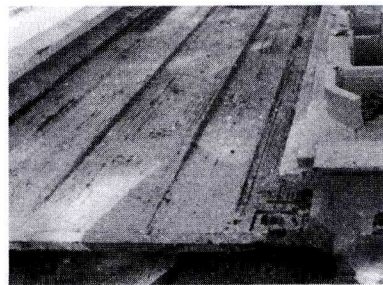


图 1 中部槽堆焊耐磨层磨损  
Fig.1 Wear of central groove's surfacing wear resistant layer

中,通常对刮板输送机中部槽进行耐磨合金层堆焊,使刮板和链条在堆焊层之上滑动,而与中板脱离接触,使中部槽的中板在耐磨堆焊层被磨平之前得到保护。马忠昌<sup>[5]</sup>等研发了一种加硼元素的耐磨堆焊

收稿日期:2017-01-12

基金项目:国家自然科学基金项目(51374120)

作者简介:王春华(1963-),女,辽宁丹东人,教授,博士,研究方向:寒冷地区露天矿胶带运输冻粘机理研究;电话:18841846903; E-mail:357907752@qq.com

焊条,应用于刮板输送机中部槽的堆焊。张小凤<sup>[4]</sup>等采用了一种断续菱形花纹焊道工艺进行刮板输送机中部槽的堆焊。程繁<sup>[5]</sup>将自溶合金熔融堆焊法用于中部槽的堆焊。秦文光<sup>[6]</sup>运用离子熔覆再制造强化技术进行堆焊。在刮板输送机中部槽耐磨合金层堆焊过程中,根据其它焊接工艺推测,堆焊电流强度对堆焊层的性能会有影响,然而在目前研究中,对此方面的研究尚鲜有报道。因此本文分析了不同堆焊电流下刮板输送机中部槽堆焊层的组织、硬度、耐磨性和韧性,得到堆焊电流对各性能的影响规律,为提高刮板输送机中部槽堆焊层的性能提供借鉴。

## 1 试验材料及方法

### 1.1 试验材料

试验选用与中部槽相同材料和热处理工艺的16Mn钢板作为基体材料,其化学成分见表1。试样尺寸为400mm×60mm×20mm,且沿中心线用铣床加工出10mm等深度和宽度的U型坡口。焊条选用D507 EDCr-A-15低氢钠型药皮,焊条直径为 $\phi 4$ mm,长度为400mm,其化学成分见表2。

表1 16Mn钢化学成分(质量分数,%)

Tab.1 Chemical composition of 16Mn steel (wt%)

C	Mn	Si	P	S	V	Ti	Nb
≤0.20	1.00~1.60	≤0.55	≤0.04	≤0.04	0.02~0.15	0.02	0.015~0.06

表2 D507焊条化学成分(质量分数,%)

Tab.2 Chemical composition of D507 electrode (wt%)

C	Cr	S	P	其他元素
≤0.15	10.0~16.0	≤0.03	≤0.04	≤2.5

### 1.2 试验方法

利用ZX5-630型手工电弧焊直流焊机进行焊接试验。焊接前用丙酮将焊件表面的油污清除干净,对试件进行100℃×1h预热。焊接工艺参数选用直流反接,连续焊、短弧运条,堆焊电流分别为选用

150、180、200A,以此改变热输入的大小,焊接速度保持为15mm/min,焊后空冷。

为了便于试验结果的观察与分析,在堆焊后的钢板焊道合适部分用线切割将钢板切成10mm×10mm×55mm的标准夏比V型缺口冲击试样和直径 $\phi 6$ mm的圆柱磨损试样,如图2所示。

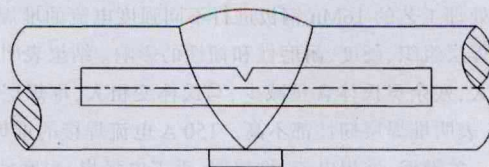


图2 取样部位示意图

Fig.2 Schematic diagram of sampling positions

采用HR-150A型洛氏硬度计测定试样耐磨堆焊层的宏观硬度。采用FZB10T冲击试验机进行冲击试验,对冲击试样选用XJL-02A立式金相显微镜进行微观组织观察,用SSX-550扫描电镜对微观断面形貌进行观察。

选用ML-100型磨粒磨损试验机对磨损试样进行性能测试,磨料为180目砂纸,施加的载荷为40N,转速设定为200r/min,一个试样对应一张新砂纸。用精度为 $10^{-4}$ g的TG328A型分析天平进行称量试样磨损前后的质量,试样磨损前质量为 $m_0$ ,对试样分别磨损5、10、15、20min,磨损后的试样质量分别为 $m_1$ 、 $m_2$ 、 $m_3$ 、 $m_4$ ,对比磨损的失重量 $\Delta m_1 = m_1 - m_0$ 、 $\Delta m_2 = m_2 - m_1$ 、 $\Delta m_3 = m_3 - m_2$ 和 $\Delta m_4 = m_4 - m_3$ 。

## 2 试验结果及分析

### 2.1 堆焊层显微组织分析

图3为不同电流堆焊的堆焊层显微组织。从图中可以得到堆焊层金属组织为马氏体和少量碳化物。对这三张图片对比,150A电流的微观组织更细化,随着电流的增大,组织细化的程度减小,主要原



图3 不同电流堆焊的堆焊层显微组织

Fig.3 Microstructure of surfacing layer with different currents

因为随着堆焊电流的增大,焊接热输入量随之增加,冷却时间延长,冷却速度快的组织形成晶粒细小的马氏体组织,冷却速度慢的组织晶粒来不及细化形成粗大的马氏体组织。

2.2 堆焊层硬度分析

为了使试验数据更具说服力,随机选取堆焊层表面五个不同点测量其表面硬度。表3为堆焊层表面硬度测试数据。可以得到随堆焊电流的增强,堆焊层的硬度也随之增大。150A的堆焊层硬度最低,这是由于堆焊电流小,焊接热输入量也小,堆焊层冷却速度快,快冷过程中生成马氏体和残余奥氏体,残余奥氏体组织硬度低,使堆焊层组织硬度降低。180、200A的堆焊层硬度比较高,这是由于堆焊电流增大,热输入量也增大,冷却速度慢,铁素体析出后剩余的富碳奥氏体未完全转化为珠光体,而是转化为含碳较高的马氏体,硬度随之增大。

表3 堆焊层表面硬度测试数据(HRC)  
Tab.3 Hardness test data of the surfacing layer (HRC)

电流 /A	硬度值	硬度平均值
150	45, 47, 46, 44, 43	45
180	48, 49, 47, 46, 45	47
200	50, 52, 51, 49, 48	50

图4为不同电流的堆焊层硬度曲线,距离焊缝中心4mm以外为焊接热影响区,热影响区域宽度约为5mm。从图中可以看出,焊接接头硬度较大,随堆焊层中心距离的增加硬度也逐渐降低,这主要是因为堆焊过程中,电弧吹力使熔池中产生的碳化物颗粒与熔融基体材料发生高度的熔合,在冷却过程中一定数量的堆焊合金元素与基体材料生成熔合区,越靠近堆焊层的熔合区硬度越高。还可以得出,堆焊层热影响区的硬度受堆焊电流的影响不大。

2.3 堆焊层冲击韧性分析

韧性表征金属对裂纹产生和扩展难易程度,韧

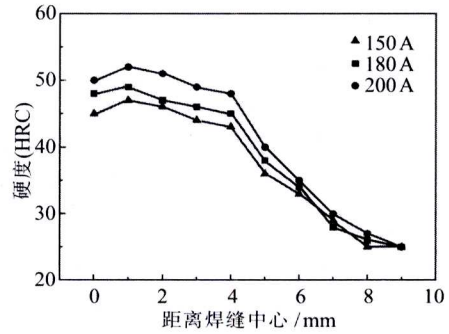


图4 不同电流的堆焊层硬度曲线  
Fig.4 Hardness curves of surfacing layer with different currents

性的常用指标为冲击韧性  $a_k$ 。不同电流的堆焊层冲

表4 不同电流的堆焊层冲击韧性(J/cm<sup>2</sup>)  
Tab.4 Impact toughness of surfacing layer with different currents (J/cm<sup>2</sup>)

	150 A	180 A	200 A
测量值	50, 25, 33, 75	30, 27, 5, 25	20, 25, 17, 5
平均值	36.3	27.5	20.8

击韧性如表4所示。

图5为不同电流的堆焊层断口形貌。由图可以看出,堆焊层断口形貌呈河流花样,可以初步判断为解理断裂。解理断裂是在正应力作用下产生的一种穿晶断裂,解理断裂断口的轮廓垂直于最大拉应力方向,新鲜的断口都是晶粒状的,有许多强烈反光的小平面,称为解理刻面。在解理刻面内部只从一个解理面出现解理破坏实际上是很难的。多数情况下,裂纹要横跨一定数量相互平行却处于不同高度的解理面,从而在形成了解理台阶和河流花样。如表4所示,随堆焊时电流强度的增加,堆焊层韧性下降。当电流强度为150A时,焊接冷却速度大,堆焊层组织中残余奥氏体含量增加,所以韧性高;当堆焊电流强度增大时,焊接热输入量变大,冷却时间延长,马氏体晶粒变粗大,韧性下降,所以200A的堆焊层韧性

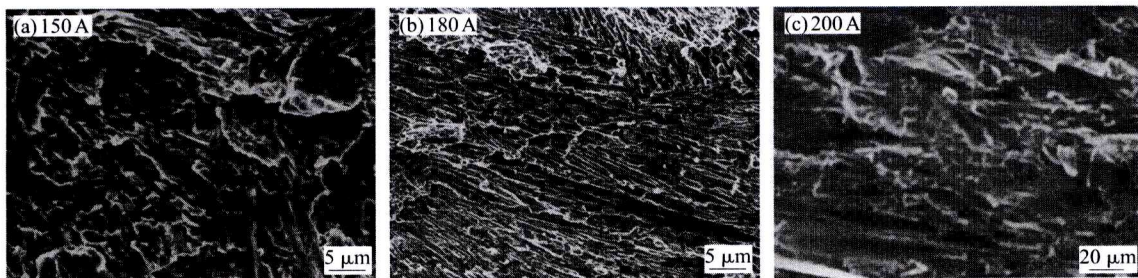


图5 不同电流的堆焊层断口形貌  
Fig.5 Fracture morphologies of surfacing layer with different currents

比 180 A 的差。

## 2.4 堆焊层耐磨性分析

图 6 为不同电流的堆焊层各区域的磨粒磨损失重量。可见,随着磨损时间的延长,抗磨性增高,刚开始时堆焊金属磨损失重量最大。在堆焊过程中,电弧吹力和电弧挖掘会对熔池中首先析出的碳化颗粒物产生上浮作用力。堆焊层表面碳化物颗粒会形成一定的氧化烧损及溶解扩散,降低了碳化物颗粒在表层的含量,因此堆焊层表面的耐磨性不是很好。

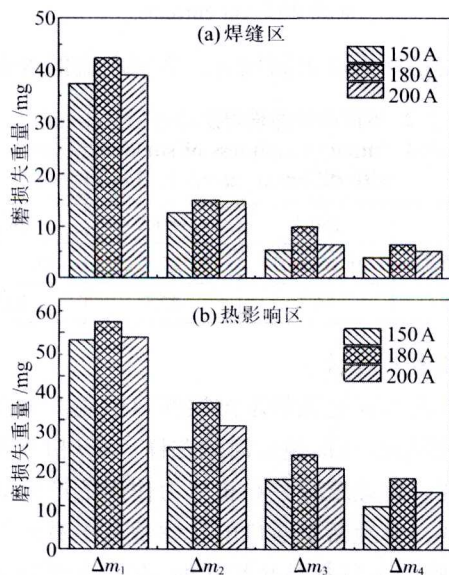


图 6 不同电流的堆焊层各区域的磨粒磨损失重量  
Fig.6 Abrasive wear weight loss of each region of surfacing layer with different currents

一般条件下,材料的抗磨粒磨损能力随其硬度的增加而显著提高。从图 6 可以看出,在磨损时间为 5 min, 180 A 电流下焊接的堆焊层试样焊缝磨损失重量  $\Delta m_1$  最大,为 42.3 mg,耐磨性低。随着电流增大至 200 A 时,试件的磨损失重量由 42.3 mg 降至 37.3 mg,表明堆焊层的耐磨性有所提升。因为随电流增大,焊接热输入量增大,冷却速度下降,过冷度减小,马氏体越粗大,致使堆焊层硬度上升,耐磨性也随之上升。150 A 电流焊接的堆焊层焊缝磨损失重量小于 200 A 堆焊层焊缝的磨损失重量,其耐磨性最好,这是由于显微组织影响了材料的抗磨粒磨损性能。

在 150 A 电流焊接的堆焊层组织中,保留了一定数量的残余奥氏体是利于提升耐磨性的,这是因为经加工硬化残余奥氏体转变为马氏体,其基体硬度较完全马氏体组织的硬度高;同时碳化物也是提升耐磨性的原因之一,在软基体中增加碳化物的数量和弥散度,耐磨性会相应提升,但在硬基体中,碳化物却会降低材料的耐磨性。因磨损类型不同,加工硬化对金属材料抗磨粒磨损能力也会产生差异。在低应力擦伤性磨粒磨损时,加工硬化对材料的耐磨性影响较低,主要因为磨粒或硬的凸出部分磨损金属时,局部区域产生急剧的加工硬化,比预先加工硬化要剧烈的多;但在强应力破碎性磨粒磨损时,加工硬化能明显增强其耐磨性,表面金属材料大体是因为疲劳破坏而不是切削作用去掉的。

## 3 结论

(1) 堆焊层组织为马氏体、残余奥氏体和一些碳化物。随着堆焊电流增大,残余奥氏体含量减少,马氏体变粗大,硬度随之增大。

(2) 堆焊电流提高,堆焊层的韧性降低。三种电流的断口形貌均为河流花样,说明堆焊层韧性都不高。

(3) 150 A 电流焊接的堆焊层耐磨性最好,主要是由于残余奥氏体起支撑作用。

## 参考文献:

- [1] 于学谦. 矿山运输机械 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003.
- [2] 贾会会. 刮板输送机中部槽的研究现状及发展趋势[J]. 矿山机械, 2010, 38(5): 13-16.
- [3] 马忠昌, 霍伟亚, 李长贵, 等. 刮板输送机中部槽在维修中耐磨堆焊条研发对比分析[J]. 神华科技, 2015, 13(1): 25-28.
- [4] 张小凤, 霍伟亚. 断续菱形花纹焊道工艺在刮板输送机中部槽耐磨修复中的应用[J]. 中国煤炭, 201, 39(12): 81-83.
- [5] 程繁. 关于矿井刮板输送机耐磨处理的应用研究[J]. 机械管理开发, 2015(6): 47-48.
- [6] 秦文光. 刮板输送机等离子熔覆再制造强化技术的应用[J]. 中州煤炭, 2016(10): 82-84. [1]