

# 热丝冷体 TIG 堆焊中的 HS201 焊丝润湿铺展研究

哈尔滨工业大学现代焊接生产技术国家重点实验室(150001)

王海涛 孙清洁

杨春利 吕世雄

**摘要** 采用热丝冷体 TIG 堆焊工艺,分析了在 20 钢板上堆焊 HS201 焊丝时,熔化焊丝的润湿铺展行为、效果与焊接电流等工艺参数之间的关系,得到了焊接电流与铺展宽度、润湿角之间联系的规律,发现增加焊接电流能有效改善其铺展性。对比热丝焊接与冷丝焊接、常温焊接与冷体焊接时铺展宽度、润湿角之间的差别,得到了 4 种工艺条件对 HS201 焊丝在 20 钢板上的润湿铺展行为的影响。分析结果表明,焊接电流过大时,过多 Fe 元素进入熔层,导致铺展性下降,溶解铁形态的变化受溶解量和冷却条件的影响。

**关键词:** 润湿铺展 热丝冷体 TIG 堆焊 润湿角 铺展宽度

**中图分类号:** TG422.3

## 0 前言

常规 TIG 焊能够实现高品质的焊接,焊接过程稳定,焊缝美观、平滑<sup>[1]</sup>。但是由于钨电极承载电流能力有限,电弧功率受到制约,致使焊缝熔深浅,焊接速度低,通常用于非铁金属的焊接。论文采用电弧热丝的方法,在焊丝进入焊接电弧之前进行预热处理,大大降低了焊丝熔化吸热,提高了 TIG 焊接的使用范围<sup>[2]</sup>。在冷送丝 TIG 焊基础上开发的一种高效焊接方法,焊丝在进入熔池前将焊丝进行预热,减少了电弧熔化焊丝的能量,提高了填充熔敷效率和焊接速度,同时又保持有 TIG 焊的高质量焊接。根据成分对润湿性的影响规律及 Fe - Cu 相图可知,Fe 与 Cu 在液态下无限互溶,在固态下有限互溶,且并不形成金属间化合物,而是以( $\alpha + \epsilon$ )的双相组织形式存在,其中  $\alpha$  相是 Cu 在 Fe 中的固溶体, $\epsilon$  相为 Fe 在 Cu 中的固溶体<sup>[3]</sup>,这些是液态铜及铜合金与固态钢两者润湿的有利因素。而液态铜在钢表面润湿并良好地铺展是铜与钢形成良好堆焊焊缝的保证,论文通过测量堆焊焊缝的润湿角及铺展宽度,研究了焊接电流对液态铜在钢表面润湿性的影响,同时,分析了热丝、水冷工艺对润湿性的影响<sup>[4]</sup>。

## 1 试验方案

钢材质为 20 钢,板材,尺寸为 200 mm × 100 mm × 8 mm。堆焊用铜合金为  $\phi 1.6$  mm 的 HS201 铜合金焊丝。其化学成分见表 1。

表 1 HS201 的化学成分(质量分数,%)

Cu	Si	Mn	Sn
98.1	0.4	0.4	1.1

钢材焊前用砂纸打磨并用丙酮清洁表面,去除表面氧化膜及油污。采用 OTC Compap - 500 型 TIG 焊机,焊接电流由 150 A 变化至 330 A,送丝速度为 3 000 mm/min。

由于 HS201 主要成分为铜,其电阻率较低,因此,采用已申请专利技术的氩弧热丝技术对焊丝进行加热,加热电流为 35 A,热丝温度为 450 ~ 500 °C。冷体焊接时,背部冷却水流量为 3 300 mL/min。焊接装置示意图见图 1。

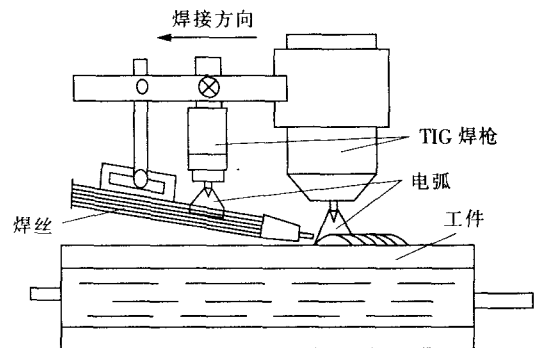


图 1 焊接原理示意图

将焊接好的试件进行切割,以焊缝中心线为对称线切割宽度为 24 mm、长度为 14 mm 的小试件,测量焊缝宽度及润湿角。

## 2 试验结果分析

### 2.1 宏观形貌

由于当弧长一定时(试验弧长为 7 mm),随着燃弧电流增大,氩弧加热区半径增大。同时,随着燃弧电流变化的同时,板材表面的温度场对燃弧电流的变化非常敏感,等温线的宽度随电流增加不断增大,而且电流增加越多,特定温度场对应的面积增加的越多。电弧对钎料及母材输入的热量增加,使液态钎料及母材温度增加,且母材温度高于钎料熔点  $T_m$  的范围或  $T_m$  临界温度等温线直径在不断增大,则液态 Cu 基钎料铺展仅在母材温度高于钎料熔点  $T_m$  的范围或  $T_m$  临界温度等温线范围内进行。氩弧加热液态钎料和固态母材过程中,在保证钎料熔化的前提下母材温度的高低及母材温度高于钎料熔点  $T_m$  的范围的大小对钎料的铺展起到了重要的支配作用。只有在母材温度在较大范围内达到钎料熔点温度才有利于钎料铺展。因为在非等温条件下,当母材温度低于钎料熔点温度时,钎料马上发生凝固结晶,强制性停止铺展。

试验针对不同工艺下得到的焊丝铺展进行对比分析,堆焊焊缝断面宏观照片见图 2。

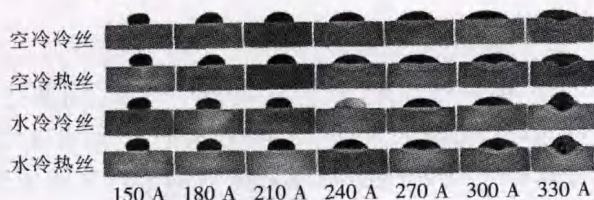


图 2 堆焊焊缝断面宏观照片

### 2.2 焊丝加热对其铺展性的影响

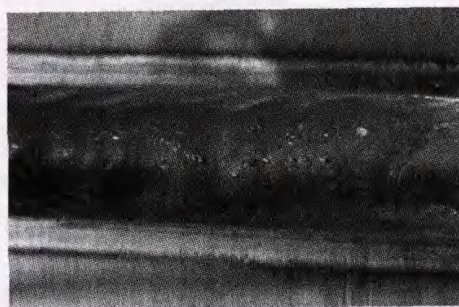
从断面照片上可以看出,焊接电流小于 210 A 时,由于钢基体上温度超过 HS201 熔点的范围很小,因此无论何种焊接条件下焊接的试件,都无法获得良好铺展的焊缝;当焊接电流在 240 ~ 300 A,铺展效果随电流的增加而得到提高。当电流达到 330 A 时,铺展宽度增加很小,甚至降低。对比发现:在空冷条件下,焊接电流在 300 A 以下,冷丝和热丝堆焊焊缝铺展性分别较水冷焊接时好,当堆焊电流达到 300 A 后,钢基体有明显熔化,形成凹坑,影响焊缝铺展。在热丝焊接时,由于热输入进一步扩大,钢基体熔化更明显。当焊接电流达到 330 A 并采取背部水冷时,焊缝宽度急剧下降,堆焊焊缝成形变差,焊缝表面见图 3。

分析认为这种现象的主要原因是由于在 330 A 的

堆焊电流下,钢基体发生大量熔化,在钢与铜混合的过程中,由于铜的密度较大而填入凹坑中,基体钢则留在铜层顶部。钢熔点较铜高,在急剧水冷时迅速凝固,无法得到全面铺展。



(a) 冷丝水冷堆焊



(b) 热丝水冷堆焊

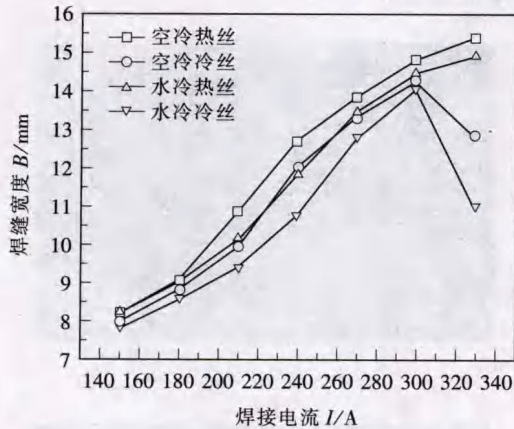
图 3 330 A 水冷焊接焊缝成形

### 2.3 焊接电流对铺展性的影响

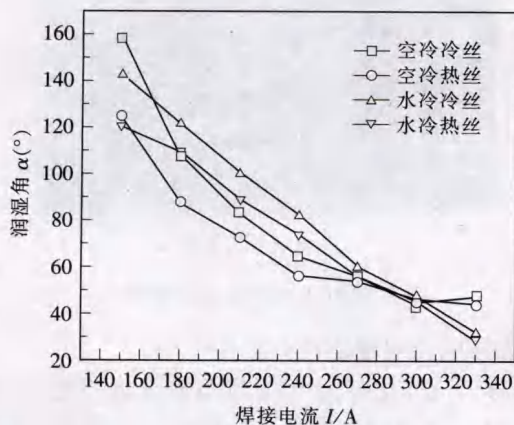
焊接电流变化时,焊缝宽度与润湿角的变化见图 4。非水冷焊接时,随着焊接电流的增大,焊缝铺展宽度增大。采用热丝工艺时,当焊接电流在 200 A 以下时,由于基体钢受到的电弧加热效果较弱,钢基体上温度超过 HS201 熔点的范围很小,因此润湿性均较差,且差别不大;当焊接电流大于 200 A 时,钢基体上超过 HS201 熔点的范围扩大,这时采用热丝工艺可明显改善润湿性。采用水冷工艺时,在焊接电流小于 300 A 时,基体钢不熔或微熔,因此,焊缝的铺展宽度依然随着焊接电流的增加而增加,当焊接电流大于 330 A 时,由于大量钢基体熔化,并在电弧力的作用下与液态 Cu 合金混合,钢熔点较铜高,在急剧水冷时迅速凝固,无法得到全面铺展,另一方面,混合后的溶液表面张力变化,同样对铺展造成不利影响。

从图 4b 中看到润湿角的变化,不论是否采用水冷工艺,润湿角随着焊接电流的增加而减小。当焊接电流大于 270 A 时,热丝工艺对润湿角的影响可以忽略。同时,在空冷条件下焊接时,随着焊接电流的变化,润

湿角变化率下降,其原因是焊接热量积累使母材温度升高,从而降低热丝效果。而水冷条件下,由于无热量积累问题,润湿角随焊接电流呈直线变化。



(a) 焊缝宽度变化

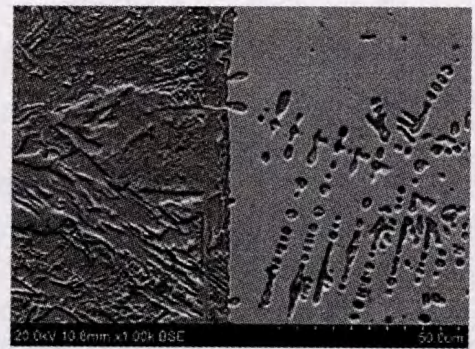


(b) 润湿角变化

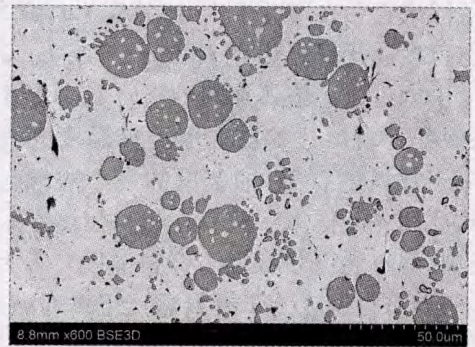
图4 铺展性变化规律

#### 2.4 堆焊界面微观形貌分析

在界面处,界面铜合金与钢的化学成分是急剧变化的,元素将会发生扩散和溶解。在室温下,铜铁固溶量有限。在焊接电流小于 270 A 时,钢基体不发生熔化,Fe 元素主要靠溶解进入铜侧,由于堆焊时间很短,Fe 的溶解量无法达到在室温下的饱和程度,冷却时无法析出,溶解铁以固溶体形式存在;当电流增至 270 A 以上时,基体开始熔化,在电弧力的搅拌下,Fe 元素大量进入铜层,在局部达到饱和、过饱和。在冷却过程中,由于溶解度下降,Fe 元素析出,形成树枝状;由于焊接热过程时间短,部分熔化的 Fe 不能充分溶解在铜内,则形成了铜的铁固溶体,保持球形,在球形 Fe 内部,有铜颗粒析出。在水冷焊接时,由于冷却速度极快,存在大量球形溶解铁。见图 5。



(a) 铁形态呈树枝状



(b) 铁形态呈圆球状

图5 泛铁形态

### 3 结 论

(1) 堆焊过程中,随焊接电流的增加,铺展性改善,但当焊接电流大于 300 A 时,过多的 Fe 元素进入铜层,导致铺展性能下降;热丝焊接有助于改善铺展性,水冷焊接则对铺展有不利的影响。

(2) 溶解铁形态的变化受溶解量、冷却条件影响很大,溶解量增大、冷却速度加快时,铁形态由树枝状向球状转变。

### 参 考 文 献

- [1] 杨春利,林三宝. 电弧焊基础[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2003. 85.
- [2] 吕世雄,孙清洁. 电弧热丝 TIG 焊工艺特点分析[J]. 焊接,2007(10):13-15.
- [3] 潘春旭. 异种钢及异种金属的焊接——显微结构特征及其转变机理[M]. 北京:人民交通出版社,2000. 45-60.
- [4] 于治水. 镀锌钢板氩弧钎焊润湿铺展及界面行为[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学工学,2003:59-60.

作者简介: 王海涛,1980 年出生,硕士研究生,主要从事特种材料焊接、高效化及大厚板焊接的科研工作。