

镀锌板激光填丝钎焊 *

封小松 陈彦宾 李俐群 周善宝

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

提要 镀锌板以其优良的抗腐蚀性能而大量应用于汽车工业中, 由于锌的熔点和气化温度较低, 在焊接加热过程中极易挥发, 从而导致气孔、裂纹等焊接缺陷, 给镀锌板的焊接带来很大问题。激光填丝钎焊的低热输入与小加热区域的特点可有效解决镀锌板焊接的上述问题。本文研究了激光功率、光斑直径、加热时间等对钎料在镀锌板表面铺展行为的影响, 并在此基础上对卷对接接头、对接接头、搭接接头的激光填丝钎焊工艺特点进行了试验研究, 分析了镀锌板激光填丝钎焊的主要缺陷及其关键影响因素。

关键词 镀锌板 激光填丝钎焊 铺展行为

Laser Brazing With Wire Feed of Galvanised Thin Sheets

Feng Xiaosong Chen Yanbin Li Liqun Zhou Shanbao

(State Laboratory of Advance Welding and Production Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

Abstract Galvanised thin sheets is widely applied in automobile industry because of its favorable corrosion resistance and cost. The low melting and evaporating point of zinc make it strongly evaporate during fusion welding process, and lead to the problems of pores and crack. A new technique of laser brazing with automated wire feed was presented in this paper, which can solve the problems of welding galvanized thin sheets. The influence of laser power, spot diameter and heating time on the wetting and spreading behavior of brazing filler metal on the surface of galvanized thin sheets were presented at first. Moreover, aiming to the butted joint, flange butt joint and lap joint, the welding characteristics of laser brazing with automated wire feed were investigated, the main welding defects were also analyzed in this paper.

Key words galvanized thin sheets; laser brazing with wire feed; spreading behavior

在现代工业生产中, 应用抗腐蚀镀层板材的领域越来越广。在众多的钢铁防腐方法中, 镀锌是一种非常有效而且经济的方法。大量镀锌板材应用在汽车制造业、建筑业、通风和供热设施以及家具制造业等领域。锌的熔点约为 420 , 气化温度为 906 , 非常不利于焊接, 电弧等热源刚一接触到镀锌板, 镀锌层就挥发了。锌的挥发会导致气孔、未熔合及裂纹等诸多缺陷, 而且大量锌的挥发会使母材的防腐蚀能力下降。镀锌板焊接最重要的一点就是如何抑制锌蒸气蒸发所带来的焊接质量问题。

汽车制造业中常采用 MIG 钎焊进行镀锌板的焊接, 依靠 MIG 钎焊的低热输入来解决镀锌层大量烧损所带来的问题。但是, MIG 钎焊也有其自身的局限性, 高速焊接与小电流下电弧的不稳定性限制了它的效率和接头质量, 对于外观要求较高的焊缝

需要花费大量时间处理, 降低了生产效率。另一方面, MIG 钎焊过程烟雾与灰尘较大, 影响工作环境。与之相比, 激光钎焊更具有优势^[1]:

- (1) 焊接速度高;
- (2) 可精确调节热输入, 控制钎料的铺展;
- (3) 可焊接复杂的几何形状;
- (4) 热输入低, 镀锌层烧损少;
- (5) 焊缝成型好、质量稳定, 焊后仅需简单处理甚至无需处理;
- (6) 易实现自动化。

本文用定点激光钎焊方法研究了钎料在镀锌板上的铺展行为, 分析了激光功率、光斑直径及激光作用时间对钎料润湿铺展的影响。针对汽车制造中常用的卷对接、对接及搭接接头进行了激光填丝钎焊试验研究, 得到了不同接头激光填丝钎焊工艺规律。

* 国家自然科学基金(编号: 50275036)资助项目

表 1 钎料 CuSi3 的化学成分^[2]

化学成分	Cu	Si	Mn	Fe	Zn	Al	P	Pb	Sn
CuSi3	基体	2.41	1.04	0.07	0.013	0.04	0.01	0.001	0.056

试 验

试验设备为 3 kW 大功率 CO₂ 气体激光器,填充钎料为直径 1 mm 的 CuSi3 焊丝,具体成分如表 1 所示。镀锌板厚度 1 mm。钎料的流动性能很大程度上取决于硅的含量,硅含量越高,钎料流动性越好,可满足小间隙的接头。表 2 为锌、钢及 CuSi3 三种材料的熔点与沸点的比较。

表 2 材料的熔点和沸点

材料	锌	钢	CuSi3
熔点	420	1300	950
沸点	908	2861	- - -

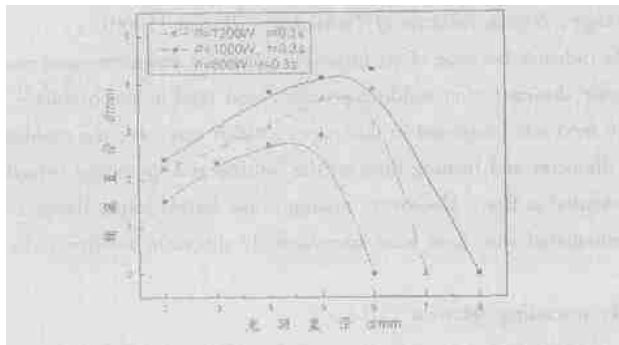


图 1 光斑直径对铺展直径的影响

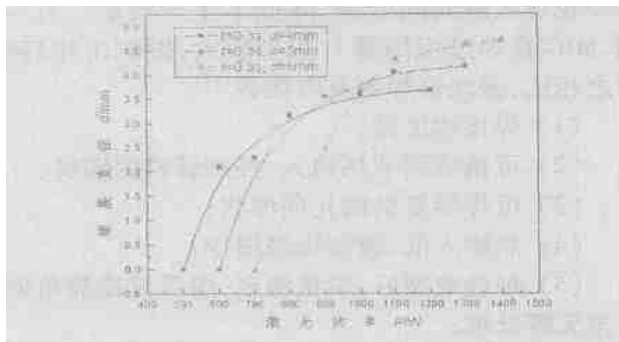


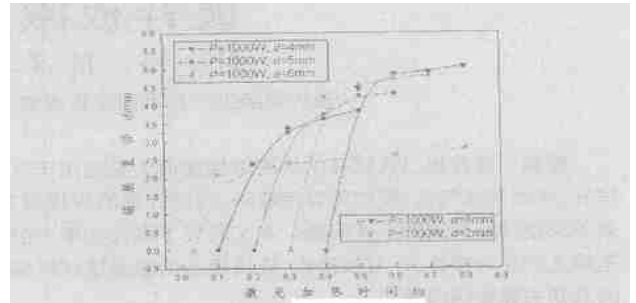
图 2 激光功率对铺展直径的影响

钎料在镀锌板上铺展行为研究

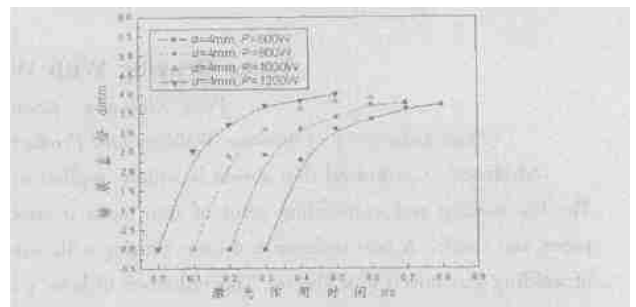
将同等量钎料放置在镀锌板上,研究激光功率、光斑直径、激光加热时间等因素对钎料铺展直径的影响规律。

1. 焊接参数对钎料铺展的影响

图 1 为光斑直径与激光功率对铺展直径的影响



(a) 恒定功率



(b) 恒定光斑直径

图 3 激光加热时间对铺展直径的影响

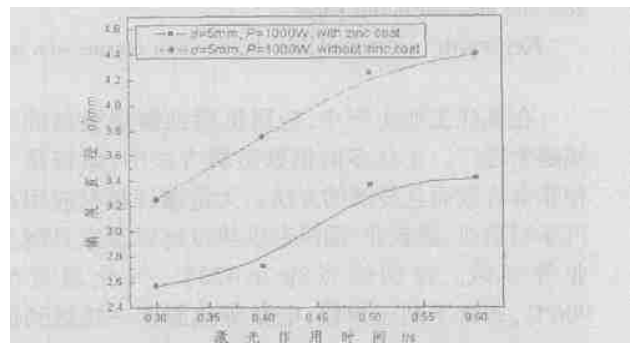


图 4 镀锌层对钎料铺展的影响

规律。从图中可见,随着光斑直径的增大,钎料铺展直径增大,当光斑直径增大到一定程度,能量密度太小,钎料无法熔化,铺展直径为零。可以认为,只要能使钎料熔化,激光直径越大,也即加热区域越大,则越利于钎料的润湿铺展。图 2 为激光功率对钎料铺展直径的影响。随着激光功率的增加,铺展直径逐渐增大,受光斑直径限制,功率增大到一定程度,铺展直径难以继续增加。图 3 为激光加热时间对铺展直径的影响,在短时加热阶段,即钎料熔化后开始

铺展的阶段,钎料铺展直径随加热时间的增加而增大,但在一段时间的加热之后,随着加热时间的增加,铺展直径增加很小。在相同的光斑直径、足够的加热时间下,可以获得大致相同的钎料铺展直径。可以认为,只要加热时间足以保证钎料熔化铺展,后续的加热时间对钎料铺展直径的增加无显著影响。

从图 1、图 2 和图 3 可以看出,在影响钎料润湿铺展的各种焊接参数中,光斑直径对钎料铺展直径的影响最大。激光加热过程中,由光能转换为热能几乎是在瞬间完成的,其加热速度快的特点,决定了母材表面的瞬时高温直接由激光能量的分布决定。母材温度越高越有利于钎料的润湿铺展,但高温区的范围限制了钎料的铺展区域。在保证激光加热区能达到一定温度的同时,扩大激光的加热范围,这样在激光加热区域内,峰值温度有所降低,但高温区温度更均匀,范围更大,有利于钎料的润湿铺展。因此,在实际的焊接过程中,可以通过调整激光直径来控制钎料的润湿铺展。

增大激光加热时间,虽然有利于提高母材整体温度,但在一定的加热时间下,母材表面的峰值温度更多的取决于激光的功率密度。对钎料的润湿铺展而言,加热时间对其并不会有显著的影响。此外,增加加热时间,钎料容易过热,产生蒸发,并且能够增加钎料与母材的界面反应时间,发生固溶或形成金属间化合物,甚至会出现母材熔化现象。因此,在实际的钎焊过程中,激光加热时间(体现为焊接速度)会对钎焊接头质量产生影响。

2. 镀锌层对钎料铺展的影响

由于锌的沸点较低,钎料熔化铺展过程中伴随着锌蒸发,影响钎料在母材上的铺展行为。图 4 显示钎料在有镀锌层钢板上和去除镀锌层钢板上的铺展状态。可见,在没有镀锌层的钢板上钎料铺展直径变小。据分析,主要有以下几个因素影响钎料的铺展:(1) 去掉镀锌层后板材对激光的吸收率降低;

(2) 无镀锌层板材在高温下易形成氧化膜,阻碍钎料铺展;(3) 锌易溶于钎料和母材中,界面的传质有利于钎料的润湿铺展。镀锌层对钎料铺展和钎焊接头质量的影响机理需要进行进一步的深入研究。总之,镀锌层的存在对钎焊过程有利,因此,在选择焊接参数时应考虑尽可能减少锌的烧损。

自动填丝激光钎焊工艺研究

对接、搭接和卷对接是汽车制造中经常采用的接头形式,焊接过程中要求焊缝表面光滑,无裂纹、气孔、未熔合等缺陷。激光钎焊不同于炉中钎焊和电弧钎焊,其加热速度快、加热范围可以精确控制,在很短的时间内产生局部高温。自动填丝钎焊的钎料填充量可以实时调节,其焊丝倾角、送丝方向和焊丝的加热位置都对焊接过程有较大的影响。为获得成形良好的钎缝,对三种接头形式进行了大量的工艺试验,得到了以下规律:

(1) 激光加热位置在焊丝与母材接触处可获得最好的铺展效果和焊缝成形。

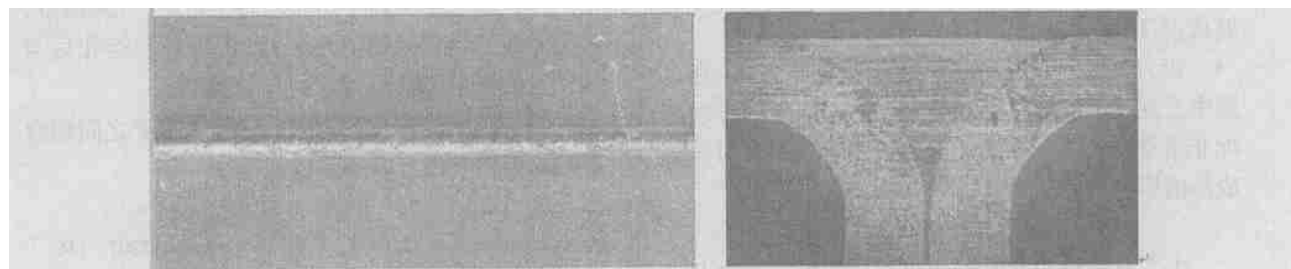
(2) 焊丝与镀锌板的夹角越小,越容易获得成形美观的焊缝。角度过大,焊缝表面成形不均匀,焊接过程不稳定。

(3) 焊丝从光束后方送入,焊缝成形良好,焊接过程稳定。焊丝从光束前方送入则易出现粘丝、钎缝表面易呈鱼鳞状。

(4) 光斑直径的选取应与所要求的焊缝表面宽度相匹配。本试验中,光斑直径取 3~4mm 时,钎料铺展充分,焊缝成形均匀。

(5) 在镀锌层的存在下,加氩气保护对钎缝成形无显著影响。在无钎剂惰性气体保护或活性气体作用下的氧化膜去除机理有待于进一步的研究。

(6) 激光功率过小,钎料未能完全润湿铺展,焊缝表面不光滑。激光功率过大,钎料向焊缝的过渡不连续,出现了间断的焊缝。试验结果表明,激光功率选择高于使焊丝恰好熔化的功率 200~300 W,可



(a) 钎缝表面

(b) 钎缝横截面

图 5 激光填丝钎焊钎缝接头形貌(激光功率 $P = 1500 \text{ W}$, 送丝速度 $V_f = 1.5 \text{ m/min}$, 焊接速度 $V_w = 1.6 \text{ m/min}$)

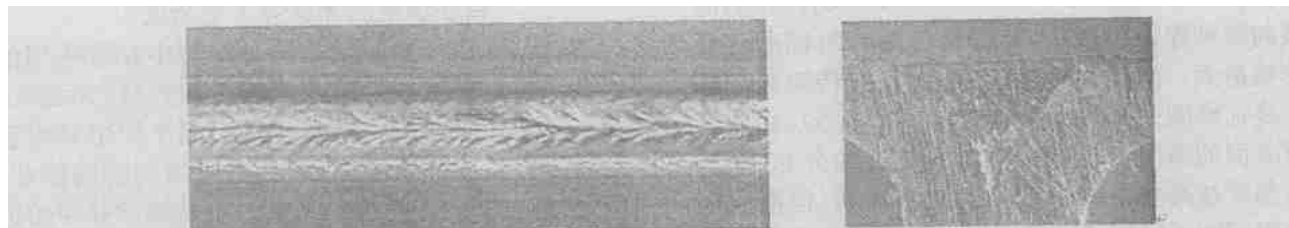


(a) 功率过小 $P = 1200 \text{ W}$

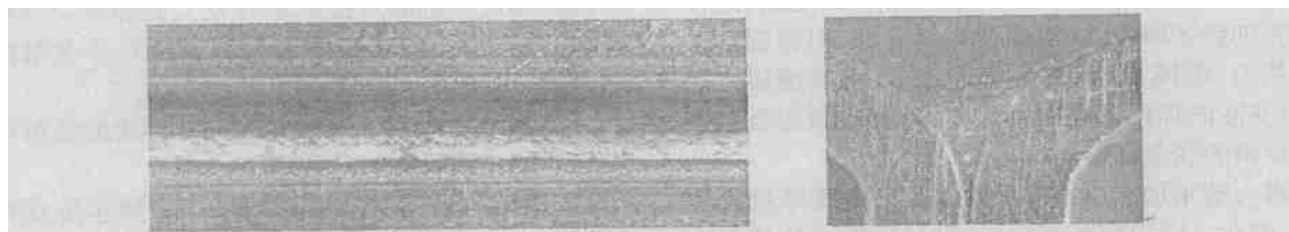
(b) 功率适中 $P = 1500 \text{ W}$

(c) 功率过大 $P = 1900 \text{ W}$

图6 功率对焊缝成形的影响 ($V_f = 1.6 \text{ m/min}$, $V_w = 1.6 \text{ m/min}$)



(a) 填充量适中 ($P = 2000 \text{ W}$, $V_f = 2.9 \text{ m/min}$, $V_w = 3 \text{ m/min}$)



(b) 填充量太少 ($P = 2000 \text{ W}$, $V_f = 2.9 \text{ m/min}$, $V_w = 5 \text{ m/min}$)



(c) 表面褶皱 ($P = 1500 \text{ W}$, $V_f = 1.6 \text{ m/min}$, $V_w = 1.0 \text{ m/min}$)

图7 送丝速度与焊接速度对焊缝的影响

获得成形良好的焊缝。

(7) 送丝速度与焊接速度相差越小,越容易获得稳定的焊接过程和成形良好的焊缝。但两者的具体取值还与焊缝所要求的钎料填充量有关。

(8) 通过对有镀锌层和去除镀锌层的母材钎焊比较发现,镀锌层的存在有利于钎料的润湿铺展,钎缝成形良好。

较为典型的成形良好的钎缝外观如图5。在试验中发现,激光功率、焊接速度、送丝速度的合理匹配非常重要。图6和图7分别给出了这三者对钎缝成形的影响。

结 论

本文对镀锌板激光钎焊过程钎料铺展行为及自动填丝激光钎焊工艺进行了研究,得到如下结论:

(1) 光斑直径对钎料的润湿铺展行为影响显

著,恒定光斑直径下提高激光功率比增加激光加热时间更有利于钎料的铺展;

(2) 镀锌层可有效防止母材氧化,有利于钎料在镀锌板表面的铺展,镀锌层存在时,加氩气保护对钎缝成形无显著影响。

(3) 激光填丝钎焊过程中,焊丝位于光束前方、减小焊丝与母材的距离与夹角,保证钎料熔化后与母材直接接触可获得较好的焊缝成形。

(4) 激光功率、焊接速度与送丝速度之间的合理匹配可以获得良好的焊缝成形。

参 考 文 献

- [1] H. Hanebuth, et al, 1994, *SPIE Proceedings*, 2207: 146
- [2] P. Kugler, et al, 6th International Conference on Brazing, High Temperature Brazing and Diffusion Welding, Aachen, Germany, 2001: 99