

## 综 述

## 激光焊接技术研究

翟晓莉 付魁军 吕冬 及玉梅  
(鞍钢股份有限公司技术中心)

**摘要** 介绍了激光焊接技术的研究概况,包括焊接用激光发生器、激光焊接工艺参数、激光焊接工艺特点等,重点介绍了激光焊接在汽车工业中的应用情况。

**关键词** 激光焊接 汽车板 焊接性能

**中图分类号**: TG456.7 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006 - 4613(2007)05 - 0015 - 04

## Study on Laser Welding Technology

Zhai Xiaoli Fu Kuijun Lu Dong Ji Yumei  
(Technology Center of Angang Steel Co., Ltd.)

**Abstract** General study situation of laser welding technology is described including laser producer used for welding, technique parameters and characteristics of laser welding, etc. Application condition of laser welding in automobile industry is emphatically introduced

**Key Words** laser welding automobile plate welding property

## 1 前言

激光焊接因具有高能量密度、深穿透、高精度、适应性强等优点而受到航空航天、机械、电子、汽车、造船和核能工程等领域的普遍重视。尤其在汽车生产中,无论是车身组装还是汽车零部件的生产,激光焊接都得到了广泛的应用。据有关资料统计,欧美工业发达国家 50% ~ 70% 的汽车零部件都是用激光加工完成的,其中主要以激光焊接和切割为主,激光焊接在汽车生产中已成为标准工艺。

## 2 激光器种类

激光器一般按产生激光工作物质的不同来分类,主要有半导体激光器、固体激光器、气体激光器、液体激光器、化学激光器、自由电子激光器等。目前焊接技术中广泛采用的是气体激光器和固体激光器。气体激光器以气体或金属蒸气作为工作

介质,产生平均为 10.6 $\mu\text{m}$  的红外激光,连续工作并输出很高的功率。它激励方式最多样化,激光波长分布区域宽,容易实现大功率连续输出。另一类是固体激光器,将产生激光的粒子掺于固体基质,其浓度比气体大,它输出的波长为 1.06 $\mu\text{m}$ ,恰好比 CO<sub>2</sub> 激光波长 (10.6 $\mu\text{m}$ ) 小一个数量级,对金属的反射率低,因而与金属的耦合效率高,一台 800W 的 Nd:YAG 激光器的有效功率相当于 3kW CO<sub>2</sub> 激光器的功率。固体激光器能与光纤耦合,通过光纤传输,实现远程焊接,而且可以借用功率分割,方便地将一束激光传输给多个工位焊接。固体激光器能以脉冲和连续两种方式工作,其加工范围比 CO<sub>2</sub> 激光器更大。

## 3 激光焊接的工艺参数

影响激光焊接质量的工艺参数比较多,如功率密度、光束特性、离焦量、焊接速度、激光脉冲波形和辅助吹气等。

## 3.1 功率密度

功率密度是激光焊接中最关键的参数之一。

翟晓莉,高级工程师,1977年毕业于沈阳工业大学焊接专业,现工作于鞍钢股份有限公司技术中心钢铁产品研究所(114009)。

采用较高的功率密度,在几秒或几微秒时间内,可迅速将金属加热至熔点,形成良好的熔融焊接。激光光束的聚焦光斑直径与激光器输出光束的模式密切相关,模式越低,聚焦后的光点越小,焊缝越窄,热影响区越小。Nd:YAG固体激光器的光束模式为TEM<sub>00</sub>。

### 3.2 激光脉冲波形

激光脉冲波形在激光焊接中十分重要(尤其是对薄片焊接)。当高强度激光束射至材料表面时,金属表面将会有60%~90%的激光能量因反射而损失掉,且反射率随表面温度不同而改变。在一个激光脉冲作用期间内,金属反射率的变化很大,例如正弦波,适用于散热快的工件,飞溅小但熔深浅;方波适用于散热慢的工件,飞溅大但熔深大。通过快速渐升、渐降功率的调整(见图1),可使焊件避免激光功率开关瞬间突开、突闭造成的焊缝起始气孔和收尾弧坑裂纹缺陷。

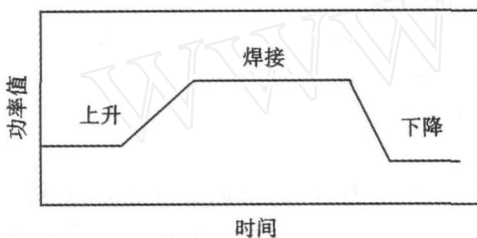


图1 激光脉冲波形

### 3.3 离焦量

离焦量是指工件表面偏离焦平面的距离。离焦位置直接影响拼焊时的小孔效应。离焦方式有两种:正离焦和负离焦。焦平面位于工件上方为正离焦,反之为负离焦。当正负离焦量相等时,所对应平面的功率密度近似相同,但实际上所获得的熔池形状不同。负离焦时,可获得更大的熔深,这与熔池的形成过程有关。实验表明,激光加热50~200μs时材料开始熔化,形成液相金属并出现部分汽化,形成高压蒸气,并以极高的速度喷射,发出耀眼的白光。与此同时,高浓度气体使液相金属运动至熔池边缘,在熔池中心形成凹陷。负离焦时,材料内部功率密度比表面还高,易形成更强的熔化、气化,使光能向材料更深处传递。所以实际应用中熔深较大时,应采用负离焦,焊接薄材料时宜采用正离焦。

### 3.4 焊接速度

焊接速度决定了焊接表面质量、熔深、热影响区等。可以通过降低焊接速度或增大焊接电流来改善熔深。通常采用降低焊接速度的方法来改善熔深,以延长设备使用寿命。

### 3.5 辅助吹气

辅助吹气在高功率激光焊接中是必不可少的一道工序。一方面是为了防止金属材料溅射而污染聚焦镜(同轴保护气);另一方面是为了防止焊接过程中产生的高温等离子体过多集聚,阻挡激光到达材料表面(侧吹气)。辅助气体的种类和吹气量大小对焊接结果有较大影响,不同的吹气方法也会对焊接质量产生一定的影响。国内外在这方面的研究较多。

## 4 激光焊接的工艺特点

激光聚焦后,功率密度高、焊接速度快、深宽比大,可达5:1,最高达12:1。由于熔深大,可以获得良好的焊接接头,同时焊接边缘坡口角度小,节省了填充材料。由于功率密度高,光束非常集中,对非照射部位影响极小,因此热影响区小,焊后基本无变形,无需后续处理,这是传统焊接方法所不具备的。激光焊接的接头形式与普通焊接相同,有对接、搭接、卷边、角接和T字等。在汽车制造中应用最广泛的是薄钢板的对接接头形式。

激光焊接能量密度高,对高熔点、高反射率、高导热率和物理特性相差很大的金属焊接特别有利,能在室温或特殊条件下进行焊接。在汽车生产中,激光焊接可以很容易地将不同材质、不同厚度、不同镀层的板材拼焊在一起。

但是,激光焊接也存在着一定的局限性,主要表现在以下两方面:

(1) 要求焊件装备精度高,且要求光束在工件上的位置不能有明显偏移。这是因为激光聚焦后光斑尺寸小、焊缝窄,焊接时需要在焊缝中加入填充金属材料,如工件装备精度或光束定位精度达不到要求,很容易造成焊接缺陷。

(2) 激光器及相关系统的成本较高,一次性投资较大。目前,我国在激光焊接设备研制方面技术还不够成熟,生产成本也很高,因此使用中主要引进美国和西欧国家的激光器以及配套设施。

## 5 薄钢板激光焊接的基本特性

激光焊接时由于接缝处存在间隙及焊接过程中部分金属材料气化蒸发,故焊缝中心部厚度  $T$  低于母材板厚  $T_0$  ( $T/T_0$  为焊缝板厚比),图 2 所示为激光焊接的焊缝形状分布情况。因为激光焊接焊缝的形成过程是一个快速冷却过程,焊缝处性能必定发生变化,其强度和硬度必然比母材有一定程度的提高,塑性则有一定程度的降低。图 3 为激光焊接焊缝及硬度分布,从图中可看出,焊缝处硬度约为母材硬度的 2.5 倍左右,整个接头区窄,仅在 2mm 范围内,焊接变形也小,不存在普通电弧焊时的热影响区硬度下降区域。



图 2 焊缝形状分布

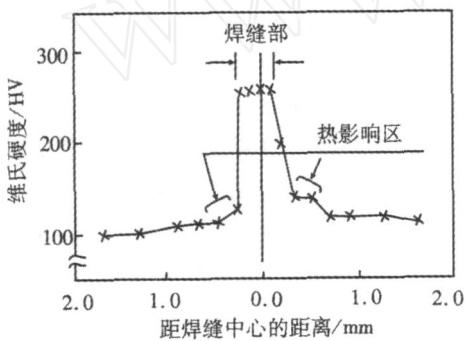


图 3 激光焊接焊缝及其硬度分布

图 4 所示为激光焊接焊缝的拉伸强度实验结果。焊缝的拉伸强度与焊缝板厚比  $T/T_0$  密切相关。当  $T/T_0 < 0.7$  时,拉伸实验结果为焊缝断裂,拉伸强度与母材相比显著下降;当  $T/T_0 > 0.8$  时,母材断裂,拉伸强度与母材接近。

通过杯突实验测定试件发生破裂时的最大成形深度。图 5 所示为激光焊接焊缝杯突冲压成形的实验结果。由图可知,极限塑性变形量也与焊缝板厚比  $T/T_0$  密切相关,当  $T/T_0 < 0.7$  时,极限塑性变形量急剧减小;当  $T/T_0 > 0.8$  时,焊缝的极限塑性变形量稳定在母材的 1/2 左右。

综合以上实验结果,当焊缝板厚比  $T/T_0 >$

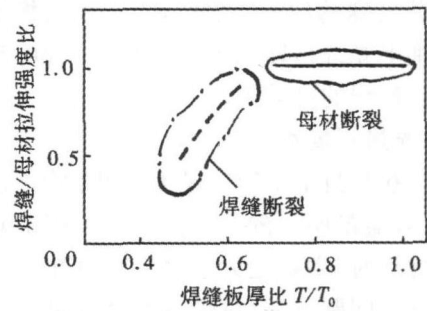


图 4 激光焊接焊缝的拉伸强度

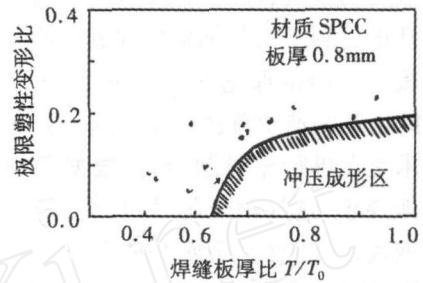


图 5 激光焊接焊缝杯突冲压成形实验结果

0.8 时,焊缝及其附近组织的机械性能与母材基本接近,激光焊接后的薄钢板仍能进行冲压成形加工。这是普通焊接焊缝所不具备的特性。

## 6 激光焊接应用技术

### 6.1 汽车车身激光焊接技术

汽车车身是典型的薄板壳结构,由低合金高强度薄钢板经冲压、剪裁、整形制成覆盖件,并经焊接装配而成。车身装配中焊点可达几千个,传统焊装采用的是电阻点焊工艺。电阻点焊工艺是用两个电极从两个方向压紧工件,在两块搭接件上加压并通电,使接触面间形成焊点而将工件焊在一起。为满足结合和外形要求,各焊点间要保持一定间隔。点焊时焊钳在工件边缘下进行焊接,凸缘宽度需要 16mm;而激光焊为单边焊接,凸缘宽度只需 5mm。把点焊改为激光焊,仅此一项每辆车就可节约钢材 40kg。

激光焊接形成的窄而深的焊缝容易使工件焊透。激光头和待焊件之间无任何机械接触,不存在加工机械应力。激光焊缝的拉伸强度和疲劳强度与母材相当,符合承载力要求,这样可使构件材料减薄,车身重量减轻。同时,由于激光焊接采用计算机控制,所以具有较强的灵活性和机动性,可

以对形状特殊的门板、挡板、齿轮、仪表板等进行焊接。加上光纤传输系统和机械手,就可实现汽车装配生产线的自动化。

## 6.2 激光拼焊技术

激光拼焊技术是激光焊接应用于汽车制造业最成功、效益最明显的一项技术。汽车工业最初应用拼焊板时,主要是为了解决轧机轧出的钢板板宽不够的问题,通过拼焊技术来满足汽车工业对宽板的要求。随着汽车工业的发展,拼焊板向着差厚板方向发展,即可将不同厚度的钢板拼焊,这时才真正达到了汽车钢板拼焊的目的。发明激光拼焊板技术的蒂森克虏伯公司于1985年在奥迪100的生产制造中首次应用了这一技术。激光拼焊技术是在进行车身制造时,根据车身不同部位的性能要求,选择钢材牌号、种类、等级和厚度不同的钢板,通过激光裁剪和拼焊,将车身某一部分如侧围、底板、车门内门、支柱等(见图6)拼焊起来再冲压成形,目的是在保证车身强度的前提下,降低车身重量。这种技术具有一系列优越性:

(1) 减少零件数量及大量冲压加工的设备 and 工序。拼焊可以一体成形,根据不同部位对强度的不同要求,将不同厚度的板料焊在一起,再一次冲压成形,同时可提高车身精度,减少大量冲压加工的设备、工序和模具。

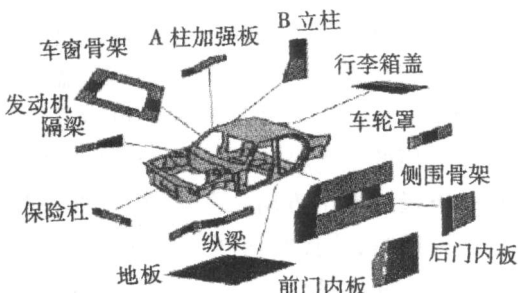


图6 采用拼焊板的汽车零部件

(2) 减轻构件重量。由于采用不同钢板拼接,对易腐蚀的部位可采用涂镀层钢板以提高使用寿命,对不承受载荷或载荷较小的部位可采用更薄的钢板,而对承受载荷的部位可采用高强度钢板,不再需要焊接加强筋,使车身结构大大简化,从而减少钢材消耗和生产成本,减轻车身重量,最终降低汽车能耗。

(3) 提高构件结构质量和可靠性。由于采用

连续的焊接代替不连续的点焊、铆接,车身刚度和紧固性、安全性得以很大提高。

(4) 为生产宽体车提供可能。由于轧机限制,不可能生产太宽的钢板,而汽车对宽板的要求日趋紧迫。采用激光拼焊不失为一种有效而经济的工艺方法。激光拼焊使汽车造型更美观、舒适。

在分析车身结构的基础上进行优化设计,选择少数几种典型的钢板拼焊成形,可提高材料利用率,省去二次加工过程,并大大减少模具数量。日本丰田汽车公司侧围生产线采用拼焊板后,零件数量减少66%,模具从20副减少为4副,材料利用率由40%提高到65%。采用激光拼焊,一台中型轿车可减重9kg且不会影响其强度。

目前,国外大型钢铁公司都在大力发展激光拼焊生产线。安赛乐米塔尔已拥有激光拼焊生产线35条,其产品在欧洲市场占有率超过50%;意大利Solblank公司已有14条激光拼焊生产线投入生产,而且还准备在英国及美国建立4条激光拼焊线;蒂森克虏伯已在印度尼西亚和美国(底特律)建立了激光拼焊合资公司;英国钢铁建成了能向汽车制造商提供拼焊板的专门中心(企业);美国和日本也都建立了类似的公司。目前,西欧生产的拼焊板占世界总产量的70%,美国生产的占20%,日本生产的占10%。

我国一些汽车制造厂家已经在部分新车型中采用了激光焊接技术,如上海大众在新上市轿车车身制造中采用了激光焊接技术;武汉华工激光工程公司为轿车前纵梁提供了几百套不等厚激光焊板,焊接质量达到了欧洲设计标准。蒂森克虏伯鞍钢中瑞激光拼焊板有限公司是鞍钢首条直接面向汽车制造企业的激光拼焊板生产线,它标志着鞍钢在冷轧产品深加工领域迈出了重要一步。

## 7 结语

随着激光焊接技术的发展,其可靠性、经济性和耐久性进一步提高,智能化、数字化激光焊接技术和激光复合焊接技术已成为今后的主要研究方向,并将在汽车制造、航天、电子、造船和核能工程等领域得到更广泛的应用,取得更丰硕的成果。

参考文献(略)

(编辑 袁晓青)

收稿日期:2007-05-22