

双焦点激光-TIG 电弧复合焊接工艺

Double-Focus Laser-TIG Arc Hybrid Welding Technique

北京航空航天大学机械工程与自动化学院 李晓辉 汪 苏 夏彩云

[摘要] 针对 1Cr18Ni9Ti 奥氏体不锈钢的双焦点激光-TIG 电弧复合热源焊接工艺进行了初步的研究。通过试验分析了双焦点激光-TIG 电弧复合焊接过程中激光功率、电弧电流、热源间距以及焊接速度等工艺参数对焊缝熔深、熔宽的影响。结果表明,双焦点激光-TIG 电弧复合热源在一定程度上可以提高焊接速度、焊接质量,降低装配精度,是一种很有应用前景的焊接工艺方法。

关键词: 双焦点 激光焊接 TIG

[ABSTRACT] The double-focus laser-TIG arc hybrid welding 1Cr18Ni9Ti stainless steel is studied. A series of experiment is done to analyze the effects of welding parameters (including laser power, arc current, heat source spacing and welding speed, etc) on the weld penetration and weld width in double-focus laser-TIG arc hybrid welding. The experiment results indicate that the double-focus laser-TIG arc hybrid welding can improve the welding speed and quality to a certain extent, in the same time can reduce the requirement in assembly quality. This is a new welding technique with wide foreground.

Keywords: Double-focus Laser welding TIG

激光焊接作为一种精密、高效、快速的高能束焊接方法,在航空航天领域得到了越来越广泛的应用。但常规的激光焊接也存在着一些问题和缺陷,比如激光能量利用率低、装配精度要求高、设备昂贵等。为了解决这些问题,提出了几种新的激光焊接技术:一种是多焦点激光焊接技术,这种焊接方法可以提高激光能量利用率,提高焊接过程的稳定性,改善焊缝质量,同时可降低对装配精度的要求。另一种是复合焊接技术,即采用激光和其他热源共同作为焊接热源,这种工艺可以有效增加熔深,提高效率,还可以在很大程度上改善接头性能,降低设备成本。本课题在这两种技术的基础上,通过采用自制的双焦点激光-电弧复合接头对 1Cr18Ni9Ti 奥氏体不锈钢的焊接工艺进行初探,分析了双焦点激光-电弧复合焊接的优越性。

90 航空制造技术·2008 年第 17 期

1 试验设备

在试验过程中采用双焦点激光-TIG 电弧旁轴复合焊接,自行研制焊接头,如图 1 所示。其中焊枪的角度、高度、两热源的间距都可以精确调节。焊接热源包括:

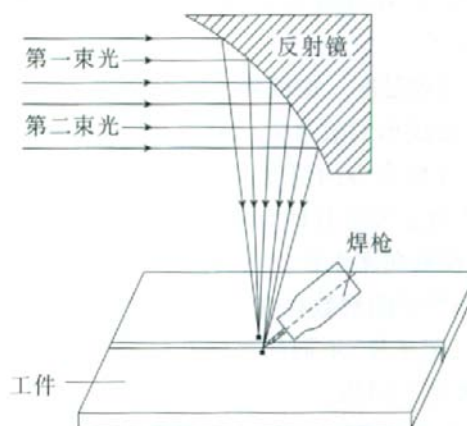


图 1 双焦点激光-TIG 电弧复合焊接装置

Fig.1 The double-focus laser-TIG arc hybrid welding device

(1) 快速轴流 CO₂ 激光器 (美国产 PRC SL1500 型), 主要技术指标: 最大连续输出功率 1.5kW, 波长 10.6 μm, 光束模式 TEM₀₀, 焦距 200mm, 聚焦后光斑直径 0.2mm, 两焦点间距 0.63mm。

(2) 松下 YC-300WX4 焊接波形控制多种电弧功能交直流脉冲 TIG 焊机, 输入三相 380V 9kW, 额定负载持续率为 40%。

2 试验方法

试验材料为 1Cr18Ni9Ti 奥氏体不锈钢, 厚度为 3mm, 试件尺寸为 100mm×50mm, 焊接前试件表面经过打磨和丙酮处理。对试件进行复合热源平板熔焊, 焊接过程中采用 Ar 作为保护气体, TIG 电弧气体流量 10L/min, 激光测吹气流量 15L/min, 激光离焦量为 -0.2mm。

3 试验结果及分析

3.1 激光功率的影响

复合焊接中,激光功率及电弧电流作为两热源的主要参数,其不同匹配对焊缝熔深、熔宽有较大的影响。首先研究了激光功率对焊缝的影响,其中焊接速度 v 为 1.0m/min ,两热源间距 α 为 0.5mm ,激光前置。

从试验结果可以看出,随着激光功率的增大,熔深不断增加,而熔宽增大的趋势不明显。在不同焊接电流条件下,熔深、熔宽随激光功率的变化如图 2、3 所示。

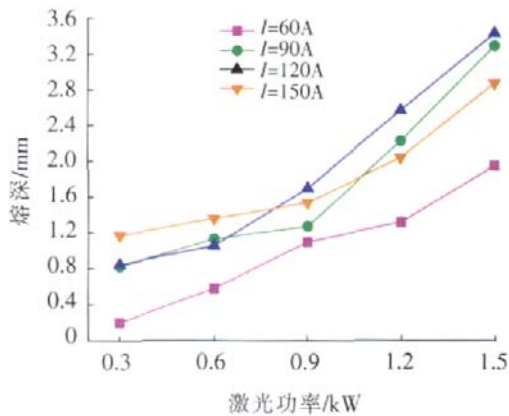


图 2 熔深随激光功率的变化

Fig.2 Weld penetration changing with laser power

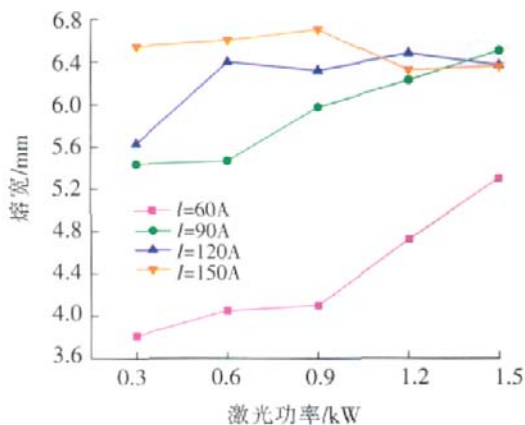


图 3 熔宽随激光功率的变化

Fig.3 Weld width changing with laser power

由图 2 可以看出,激光功率对复合焊熔深的影响比较大。激光功率增大,熔深随之增大,并且当激光功率高于一定值时,熔深的增加幅度增大。在激光功率大于 900W ,电弧电流为 120A 时,复合焊熔深大于电

弧电流为 150A 时的熔深。这是因为当激光功率较小时,复合焊接中的激光焊表现出热导焊的特点,所形成的熔深主要取决于电弧电流的大小;当激光功率较大时,复合焊中的激光焊具有深熔焊的特点,熔深的大小更多地取决于激光焊的熔深,因此当激光功率较大时,熔深的增大幅度增加。由图 2 可知,当复合焊接电弧电流在 120A 左右时,复合焊熔深增大较快,此时表现出了电弧增强激光焊,激光与电弧相互作用最大,激光强烈压缩电弧,使得电弧的作用半径变小,从而提高热源的功率密度,增大熔深。然而当电弧电流继续增加时,由于电弧等离子对激光束屏蔽作用的增强,激光能量损失严重,减小了对电弧的压缩作用,从而使电弧膨胀,热源功率密度减小,熔深随之减小。

由图 3 可知,焊缝熔宽基本上不随激光功率的增大而增大,焊接电弧电流增大,熔宽随之增大。在同样的激光功率下,复合焊熔宽都远大于单一激光焊所得的熔宽,与单一 TIG 焊基本相同。这主要是因为熔宽的大小取决于电弧电流的大小,因此,当电弧电流增大时,熔宽的增加比较明显,而激光功率对熔宽的影响较小。

3.2 焊接电流的影响

在激光功率一定的条件下,电弧电流对熔深、熔宽的影响如图 4、图 5 所示。

由电弧电流对焊接熔深及熔宽的影响曲线可以看出,随着电流的增大,熔深、熔宽都有较大的增加。这主要是因为随着电弧电流的增大,热源总能量增大,熔敷金属的量随之增大,因而熔深和熔宽增大。复合焊与单一 TIG 焊相比,熔深明显增大,相同条件下最高可达 3 倍以上,而熔宽基本不变。这是由于在复合焊中,激光与电弧相互作用,使得电弧的挺度增大,作用半径减小,使得电弧的能量集中,从而熔深相对

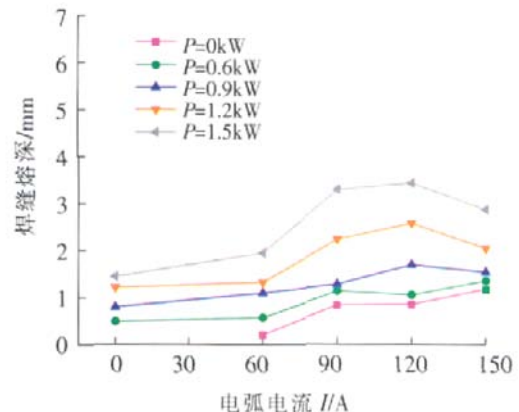


图 4 电弧电流对熔深的影响

Fig.4 Influence of arc current on weld penetration

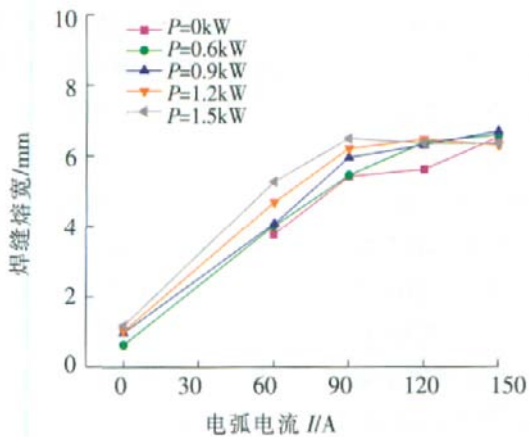


图5 电弧电流对熔宽的影响

Fig.5 Influence of arc current on weld width

于单一 TIG 焊增大很多。

由图 4 可以看出,在同一激光功率下,熔深随着电弧电流的增加而增大,当电流增大到某一值时,熔深达到最大值,随后当继续增大电流时,熔深反而减小。这一结果也验证了激光-电弧复合焊接能量匹配决定焊接机制转变的过程,中小电流时复合焊接表现为深熔焊机制,临界电流以上则表现为热导焊特征。

3.3 激光与电弧两热源间距的影响

在激光-电弧旁轴复合焊接中,两热源之间的距

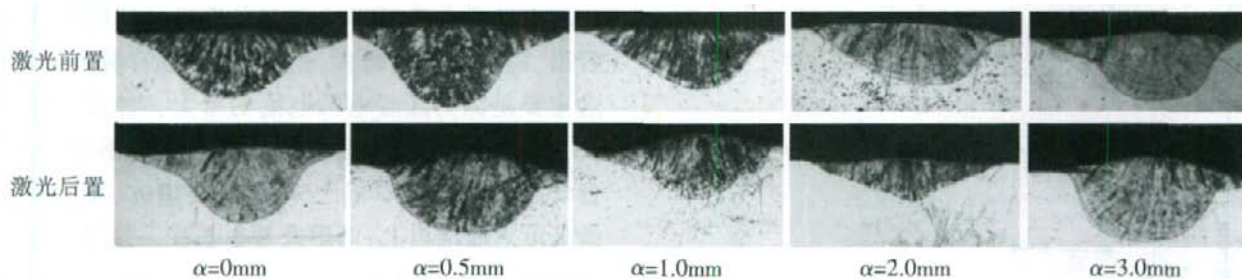


图6 激光前置及后置时在不同热源间距下的焊缝形貌

Fig.6 Seam shape in the case of different heat source spacing with fore-and-past laser

当两热源间距 大于 0.5mm 时,激光远离电弧弧根,对电弧的稳定性减弱,从而获得较小的熔深。当热源间距继续增大时,复合焊接过程实际上就变成了两热源前后串行排布,产生两个分离的熔池,激光将不能吸引电弧,两热源不再产生相互作用。所以,激光与电弧复合焊接时,热源间距的选择应保证激光与电弧之间能产生有效的相互作用,并使激光作用于电弧形成熔池的底部。

3.4 焊接速度的影响

焊接速度是一个重要的工艺参数,在薄板焊接

离大小决定了激光与电弧是否能够形成同一个熔池。这是激光-电弧复合深熔焊的先决条件,因此两热源之间的距离是复合焊接中一个重要的工艺因素。在激光功率 $P=1.2kW$,焊接电流 $I=120A$,焊接速度 $v=1.0m/min$,离焦量 $f=0mm$ 的条件下对激光电弧之间的距离及两热源的前后位置关系进行了对比。图 6 给出了复合焊激光前置及后置时,激光与电弧中心在不同间距()的情况下所得焊缝截面形貌。

从描述热源间距对焊缝影响的图 6 可以看出,复合焊的熔深、熔宽无论在激光前置还是激光后置的情况下都没有随热源间距的变化呈现出规律性变化。然而复合焊时,无论激光前置还是激光后置,焊缝熔深都在两热源间距 为 0.5mm 时达到最大值。由此可见在旁轴复合焊接时,并不是当热源间距为 0mm 时焊缝熔深最大,而是靠近电弧边缘的地方熔深最大。这是因为此时激光作用于电弧的弧根部位,激光稳弧作用最强,并且激光作用点正好位于电弧所形成熔池的底部,因此导致最大熔深的形成。同时还可以看出,在相同间距时,激光前置所得熔深及熔宽都要大于激光后置所得的熔深及熔宽。这可能是由于激光前置时,电弧力作用在熔池前端,激光后置时则指向熔池尾部,通常熔池尾部液面较高,故激光后置时复合焊的熔深总是低于激光前置的。

中,复合焊能更大地体现其速度优势。试验中选用的其他参数为:激光功率 P 为 1.2kW,焊接电流 I 为 120A,两热源间距 为 0.5mm,激光前置。图 7 所示为 3 种焊接工艺试验中焊接速度对焊缝熔深的影响。

从图 7 可以看出,3 种焊接工艺方法的熔深、熔宽都随着焊接速度的增大而减小。这是因为随着焊接速度的增大,热源线能量减小,焊缝单位长度上的热输入量减小,从而使金属的熔敷量减小,因此熔深和熔宽都减小。其中焊接速度的变化对熔深影响较大,而对于激光焊接来说,速度的变化对熔宽影响较小。

