

旋转双焦点激光-TIG复合焊接头的研制

Study on Rotating Dual-Focus Laser-TIG Hybrid Welding Head

北京航空航天大学 汪 苏 段素爽 沈忠睿 苗新刚



汪 苏

教授、博士生导师。主要从事机器人焊接技术、航空宇航制造工程技术、激光光学头伺服技术、焊接工程计算机模拟技术、激光焊接技术研究。先后承担国家“八五”攻关项目——多媒体光盘库研究、原国防科工委“九五”攻关项目——焊接自动化研究等多项科研项目,发表论文 60 余篇,申请专利 12 项。

近年来,在激光-电弧复合焊接几何参数、激光聚焦位置及能量参数的优化与选择、热源相互作用机理、保护气体对接头性能的影响、坡口形貌对焊接工艺的影响、熔池的流动特性和复合焊接熔滴过渡力学行为等方面的研究使激光-电弧复合焊接

近年来,在激光-电弧复合焊接几何参数、激光聚焦位置及能量参数的优化与选择、热源相互作用机理、保护气体对接头性能的影响、坡口形貌对焊接工艺的影响、熔池的流动特性和复合焊接熔滴过渡力学行为等方面的研究使激光-电弧复合焊接技术得到了很大程度的发展。

技术得到了很大程度的发展。但是到目前为止,对于激光-电弧复合焊接专用设备的研制与其实际应用还存在很大差距。本课题对激光-电弧复合焊接头设计结构、气体保护模式和特点进行了深入探讨,设计出了旋转双焦点激光-TIG复合焊接气体保护结构,并对气体保护效果进行了分析。

激光-电弧复合焊接加工头设计方案

激光以其显著特点使得焊接技术成为先进制造技术中的一种,并在航空航天、汽车制造和造船等行业得到广泛应用,它也是先进连接技术的重点发展方向之一。随着铝、钛合金在尖端武器装备研制和航空制造业中的广泛应用,传统焊接方法已不能

满足实际生产的需求。常规的激光焊接由于各种因素影响,有一定局限性,特别是焊接铝、钛合金,使激光的利用率降低,而且难以实现大熔深和厚板材的焊接。所以通过新型焊接头及保护装置的研制,使激光更适应铝、钛合金的焊接,对于提高一个国家的尖端武器装备研制和航空水平,具有非常重要的意义。

1 激光-电弧旁轴复合结构

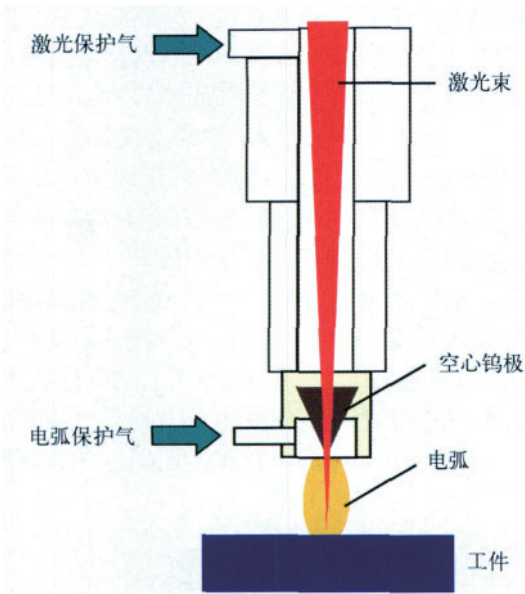
由于激光-MIG电弧复合焊接存在送丝与熔滴过渡等问题,绝大多数企业都是采用旁轴复合方式进行焊接。德国库格勒公司生产的复合焊接头采用反射式、直接水冷的易更换光学元件,用于加工的激光功率可超过 $40\text{kW}^{[1]}$;奥地利 Fronius 公司生产的激光-MIG复合焊接头^[2]几何尺寸小,可以确保焊接的可达性,

尤其是应用于焊接车身时。此外该接头还具有有良好的可拆卸性,便于安装到机器人上,焦距和焊炬也具有可调功能,调整精度为0.1mm。

弗罗纽斯国际有限公司所申请的激光混合式焊接过程的装置^[3]具有指示器,借助指示器可以从预定位置起沿X、Y和Z方向相互调节各部件相互间的位置,并采用横向吹高压气体的方式来保护激光头免遭碎屑的损伤等。

2 激光-电弧同轴复合结构

我国哈尔滨工业大学的陈彦宾教授采用空心钨极的方法实现了激光与TIG电弧的同轴复合。电弧在空心钨极的尖端产生,激光束从钨极中心穿过环状电弧到达工件表面,其



激光与空心钨极同轴复合原理

复合原理如图所示。同轴复合时激光从电弧中心穿过,因而没有焊接方向性的问题,这尤其适合于三维零件的焊接。同轴复合的焊接头调节虽然没有旁轴那么复杂,但是钨极孔径的大小、钨极尖端与工件的距离都对焊接质量有较大的影响,而且钨极尖端的烧损会严重影响环状电弧的形状,影响焊接过程的稳定性和焊缝形状^[4]。

清华大学张旭东提出圆形分布

同轴对称复合热源的方法,采用分光镜将入射激光分为2束对称分布的光束, MIG 焊电极由双光束中间送入。由于双光束是非封闭的,电极的引入可以避开光束传输路径。聚焦系统将双光束从电极两侧对称地聚焦在焊丝送进方向前端的同一位置,在焊丝不影响光束传输的情况下实现激光与电弧同轴。该方法存在的不足是分光后每束光束本身与电弧具有一定夹角,双光束的对称轴与电弧轴线很难实现重合,焊丝的送给对光束传播有很大影响等^[5]。

近年来的研究表明,复合焊接头结构设计都有着自身的不足之处。在有效地改善焊接适应性,改善焊缝成形的基础上,对旋转双焦点激光复合焊头的研究有着重要的实际意义。

旋转双焦点激光复合焊接加工头

激光-电弧旁轴复合焊接时容易受到电弧焊枪倾角、激光与电弧中心间距、焊枪高低以及激光与电弧相互位置等因素的影响。对于旋转激光-TIG电弧旁轴复合焊接方法,除了常规激光-电弧复合焊接的影响因素外,激光的焦点旋转时不能与TIG焊枪相互干涉,即保证

一定的运动空间,也是必须要考虑的。本课题组研究了旋转双焦点激光-TIG电弧旁轴复合焊接方法,并设计了用于两热源相互复合的焊接头。该焊接头的设计从组成上可分为2部分:旋转双焦点激光焊接头和TIG电弧夹持部分。

1 旋转双焦点激光焊接头

旋转双焦点激光焊接头主要是在目前常规CO₂激光焊接头的基础上,改变激光的聚焦方式,研究如何

产生2个焦点并使这2个焦点按一定的规律旋转。由于CO₂气体激光无法通过光纤传输,只能利用各种反射镜进行传输,所以光路的柔韧性远不及利用光纤进行传输的方式。因此结合该课题的研究基础,要实现大功率CO₂激光器旋转双焦点的焊接目的,该焊接头的光路应采用屋脊式反射镜作为分光镜、离轴抛物面镜反射系统。在旋转机构中,直流电机为焊接头反射镜部分绕垂直入射的激光束旋转,反射腔的左右2部分通过直线轴承连接在一起,由于偏心机构的存在使得反射腔在绕主轴旋转的同时其右半部分沿水平方向左右晃动,这样反射腔整体绕主轴的旋转运动与右侧沿水平方向直线运动的结合使得反射腔的右半部分作近似椭圆的回转运动,从而实现激光焦点的旋转。

2 TIG电弧焊枪夹持

激光与旁轴TIG电弧复合焊接时,容易受到TIG焊枪的倾角、电弧中心与激光焦点间距以及两热源的高度等因素的影响,所以在设计焊枪的夹持机构时,这些影响因素成为设计者需要考虑的关键所在。此外课题组还考虑到实际焊接工艺需要既能够单独进行激光或电弧焊接,又能够通过调节实现两热源的复合焊接的结构。

在对不锈钢进行旋转双焦点激光-电弧复合焊接的初步试验中发现,该复合装置提高了激光利用率,扩大了激光与电弧复合的功率配比范围,电弧受到更强的压缩及吸引等,显示了该装置复合技术的优点,为进一步试验研究打下了基础。

气体保护装置的设计

1 保护气体射流的基本流动原理

在激光焊接中,需要保护气体来消除光致等离子体在激光入射点处膨胀上升并屏蔽激光能量的现象。

在 TIG 焊接中,保护气体能够直接影响电弧焊接特性,决定焊接工艺稳定性、焊缝成形和接头性能等。显然,在旋转双焦点激光-TIG 电弧复合焊接时,保护气体对工艺过程和焊缝成形的影响更为重要,其研究具有重要的理论和工程意义。但到目前为止,对旋转双焦点激光-TIG 旁轴复合焊的气体保护系统及气体流动模式等,几乎还没有专门的研究。为此,作者根据旋转双焦点焊接的特点,设计了激光-TIG 复合焊接保护装置,对气体的保护模式及其流动特点进行了分析。

(1) 附壁射流。在射流控制技术中,通常是利用射流的附壁效应及其切换技术,来控制射流的方向。当气体射流从射流元器件的喷嘴喷出时,若喷嘴两侧的壁板对称设置时,则可形成附于两侧壁的射流。如果侧壁不对称,哪怕是微小的不对称,都会形成附壁于单侧壁的射流^[6]。

此外,射流流动可以是层流也可以是紊流或二者兼有。在焊接过程中,一般要求从焊接头吹出的气体是层流,尽量避免出现紊流,以免保护气体中有空气混入,造成焊缝的氧化和氮化。而保持层流或形成湍流的关键点是临界雷诺数 Re_{cr} ^[7],具体条件如下:

当 $Re < Re_{cr} = 2300$ 时,属于层流;

当 $Re > Re_{cr} = 2300$ 时,属于紊流。

其中,雷诺数 $Re = vd\rho/\mu$,流速 $v = Q/A$ 。

可见,流动状态不仅与流速 v 有关,还与管径 d ,流体密度 ρ 和流体的粘度 μ 有关。

(2) 旋转射流。旋转射流是一种较为特殊的射流。从宏观运动现象看其仍属于一种轴对称射流,而且一般也都是亚声速射流(在气体动力学中一般都用马赫数的大小来划分气流的不同速度特性范围, $Ma=0$ 为不可压缩流动; $Ma < 1$ 为亚声速流动; $Ma=1$ 即为声速流动; $Ma > 1$ 称为超

声速流动)。笼统而言,它是通过旋流喷嘴完成喷射的。这是因为射流本身一面旋转,一面向周围环境介质中扩散前进。

喷嘴形成旋流作用的方法有 3 种:一种方法是采用将射流介质通过切向导入口使之在腔内完成旋转,同时从喷嘴口喷出;另一种方法是在喷嘴内装置导向叶片,气流沿叶片运动被迫产生旋转;再一种方法是采用离心式喷嘴在其内部设置旋流器。

2 气体保护结构

激光-TIG 复合设计的保护气体结构为 TIG 焊枪 2 边分别有 1 个半环形通气道,并分别由 2 个小喷气嘴连接。在保护气体室内壁形成 4 个角度不同的喷气结构,使保护气体可以均匀地吹向焊接区域。气体室内有快速接头连接的螺纹,这样可以快速方便地接入保护气体以及不同形式的喷嘴。

根据气体射流原理可知,在喷嘴中嵌入整流装置可以改变气体流动状态。在喷嘴内部装入固定导流芯,气体通过导流芯切向进入喷嘴,在喷嘴内做绕轴心的旋转运动,最后通过喷嘴孔射向焊接区域。

假设旋转射流沿 X 轴的任意横截面的半径 r 处有密流 ρu ,它通过微环截面 $2\pi r dr$ 的质量流率为 $2\pi r dr \cdot \rho u$,而沿周向 θ 的动量流率为 $2\pi r dr \cdot \rho u \cdot \omega$,于是该切向冲力绕 x 轴的微冲力矩或动量矩为 $2\pi r dr \cdot \rho u \cdot \omega \cdot r$,经积分的绕 X 轴的总动量矩为:

$$T = 2\pi \int_0^{\infty} r^2 \rho u \omega dr$$

喷嘴半径为 r_0 时,旋转强度为:

$$\Omega = \frac{T}{2\pi \int_0^1 [(\rho + \rho)u^2]r dr | r_0}$$

旋转强度具体化可写为:

$$\Omega = 4L_0/dK_0$$

式中, L_0 为流体进入旋流器时,相对于旋转轴的动量矩; K_0 为旋流器出口截面上的平均动量; P 代表

气体压强; d 为旋流器出口截面的直径。由于 Ω 反映旋转射流旋转强弱的程度,所以 Ω 值越小,旋转射流扩散角度越小,回流区越小,射程越长。

旋转双焦点激光-TIG 复合焊接头气体保护效果

本实验室自行设计的旋转双焦点激光-TIG 电弧焊接头结构。在焊接铝合金的过程中,因为金属在高能量热源的作用下,焊缝附近的金属快速熔化甚至汽化,为了减少或避免焊接缺陷的产生,必须对激光的辐射区域进行保护。

该气体保护效果可以分成 2 部分来考虑:核心区和保护隔离层^[8]。中心核心区内的低压高速气流对前方介质的吸收避免了聚焦激光接头内部的光学器件遭受蒸汽及金属碎屑的损伤。保护气流区的外环部分起保护隔离作用,它的温度较低,相对于中心部分仍具有较大的粘滞力,因而对气流的受热上浮起着抑制作用,有效地提高了保护效果。每个喷嘴在喷射时都形成实心锥形,如果焊接参数(电流大小、气体流量以及喷嘴直径大小等)选择适当,就可获得较厚的气流保护层,这样保护气流的抗外界干扰能力就会增强,保护效果更加稳定可靠。

结论

(1) 在对比国内外焊接头设计结构的基础上,设计了旋转双焦点复合焊接装置。

(2) 讨论了 3 种不同的射流方式,并对保护气体的流动状态进行了对比分析。在有效控制气体方向和流速,改善了焊接质量的基础上,设计了合理的气体保护结构。

(3) 当焊接参数选择适当时,保护装置可以有效避免碎屑和蒸汽对激光头的损伤,较厚的保护层也对焊接区起到了良好的保护作用。

(责编 玉龙)