光纤激光切割金属中厚板材的工艺技术研究和探讨

温劲苇

【摘要】本文结合目前光纤激光金属切割的广泛市场需求，针对光纤激光与CO_2激光比较的优势、特点及当前应用中的问题，共同探讨光纤激光加工在切割金属中厚板材方面的工艺技术和相关设备装置研发。

关键词：光纤激光切割；中厚板；切割

1. 概述

随着大功率光纤激光器制造技术的快速发展及数控技术水平的不断提升，近几年光纤激光加工设备在金属板材切割的市场应用正在迅速扩展。根据市场反馈信息，以及板材的厚度、切割质量和切割设备的售价细分了钣金加工制作的市场应用群体，特别是该领域的中小企业用户迫切需要切割金属板材厚度范围宽、切割质量好的大功率光纤激光成套加工设备。

目前用于金属中厚板材（8~20mm）切割的激光主要以CO_2激光为主。CO_2激光发生器体积较大，占用场地大，对机架和导轨要求极高，难以实现多枪切割；光路完全依靠铜反镜来传播，光路衰减快，光路要求高，能量损失较多；CO_2激光源通过以CO_2为主的混合气体受高压激发谐振后产生激光，光电转化率低，仅为 10%，故运行成本高。对光纤激光器而言，由于所有分子间的碰撞激发都发生在光纤内，泵浦源由一个或多个大功率半导体阵列耦合构成，因此所需能源大大减少——约为CO_2 激光器的三分之一。由于产生的热量越少，冷却器的体积就可以相应缩小。总之，在达到相同性能的情况下，光纤激光器的整体能耗要比CO_2 激光器低70%。随着大功率光纤激光器的不断发展和相应的加工工艺技术水平的提升，替代CO_2激光切割金属中厚板材已成为现实（比较结果见附表）。

2. 光纤激光能量特点

光纤激光器是采用多个多模泵浦二极管并行设置作为激光源，产生的激光通过分支在谐振腔调整后耦合进入单根光纤，形成功率较高的激光。光纤激光的波长为 1.07 μm，在泵浦多次反射后被纤芯吸收，进而在谐振腔内耦合而增强。由于采用了多模泵浦二极管，能量被分散，光电转化率高，可达 25%以上，因此光纤激光器在工作时只需简单的

CO_2激光与光纤激光相比较在切割中的优点

CO_2激光切割	光纤激光切割
激光由CO_2混合气体受激发射产生，光电能量转化率10%	激光由半导体泵浦产生，光电能量转化率 25%以上
光路由多组反射镜进行传输，光路稳定性要求很高，维护复杂频繁	激光由光纤传输。无外光路，柔性光缆易于维护
有激光反射镜光路，若完成多维立体空间切割加工，需光关节等器件，成本高，维护困难	无激光反射镜光路，既能平面切割，也能完成多维立体空间切割加工
谐振腔需外供混合气体，光路易受污染，使用环境和维护要求高，特殊气体成本消耗大	无外光路污染，使用环境、维护要求、成本消耗低
CO_2激光波长10.06 μm，既能切割金属材料，也能切割非金属材料。但铝材料切割困难，不能切割铜材料	光纤激光波长1.06 μm，对金属材料吸收率高，切割速度快，可切割铝、铜等高反材料。但不能切割非金属材料

风冷或水冷散热装置。

光纤激光切割设备就是将半导体激光光源通过光纤为传导介质传输到激光束整形切割头内，然后通过准直系统对激光光束散进行校直，以其特有的多模或单模光束质量经过聚焦镜聚焦后在辅助气体的作用下进行数控切割加工的一种成套设备。光纤激光切割以其能量转换效率高、光束质量好、维护简单等独特的性能优势和市场所接受的性价比，最近几年在钣金加工行业获得了广泛应用。

3. 光纤激光切割金属中厚板材存在的问题

(1)切缝过于窄小，造成热损失增大。切割速度的降低使得切割区域的热损失增加。热损失的主要形式是热传导，厚度越大，热传导损失越大，切割速度也越低。切口底部材料去除变得不一致，虽然激光穿透了厚板，大量的熔渣粘结在底部。挂渣的形成是因切口底部的平均切割温度低造成的，温度低又是因为能量损失大的缘故，这种情况下的切口质量通常不高。

(2)光纤激光光斑直径较小，焦距深度有限。光纤激光切割金属中厚板材时，尽管能够维持切深内有较高的激光功率密度，但由于光束直径较小，切缝较细，故不利于切割排渣。这就对光纤激光的模式和光斑束散准直整形及范围提出了更高的要求，也为光纤激光切割金属中厚板材的工艺质量带来了较大的难度。

(3)辅助气体质量和气压的作用和影响。以氧气为例：光纤激光切割碳钢中厚板材时氧气起了非常重要的作用。激光入射到工件表面形成小孔，当激光束沿着切割方向移动时，小孔及切缝周围有氧化熔化物。氧气的纯度和压力对激光切割有很大的影响，含杂质多的，气压不合适的氧气就不能提供足够的能量到切口底部形成高流动性的熔化物，因而降低了切割质量和切割速度。通过测量不同切缝位置的辅助气体的质量和压力，发现切缝越窄，辅助气体的作用就越差，切割质量就越难维持，因此保证合适的切缝宽度、辅助气体质量及气压控制，对切割质量的效果是很重要的。

(4)几何形状的差异使得拐点切割质量下降。激光切割厚板时，熔化前沿的倾角变得突出了，这将导致材料对激光吸收系数的降低，进而通过增加切割功率、降低切割速度保证切割质量。

4. 光纤激光切割金属中厚板材工艺技术的提升

通过上述分析，为了提高光纤激光切割金属中厚板材的效果和加工效率，需要在以下几方面进行改进和探索。

（1）调整聚焦后光纤激光的焦深范围。光纤激光束经过专用的激光合束、整形、准直、聚焦的恒焦距输出装置（简称：光纤激光头）进行激光切割加工。光纤激光头光路结构如图1a所示。通常依据光纤激光光束质量好、光斑直径小的优势，可精准高效进行金属薄板的切割加工。

为了使光纤激光在切割金属中厚板材能够达到切割金属薄板的同样效果，光纤激光头内部光学系统及光束直径的配置至关重要。为此，针对不同厚度的金属板材，调整光纤激光头内部焦深镜的垂直位置使准直光斑直径变小，作用在金属中厚板材的焦距深度加大，形成较深的熔燃割缝并由合适气压的辅助气体配合切割金属中厚板材。光纤激光头光路结构如图1中b所示。

（2）调整光纤激光的输出功率、切割速度和辅助气体。光纤激光在切割金属中厚板材时，

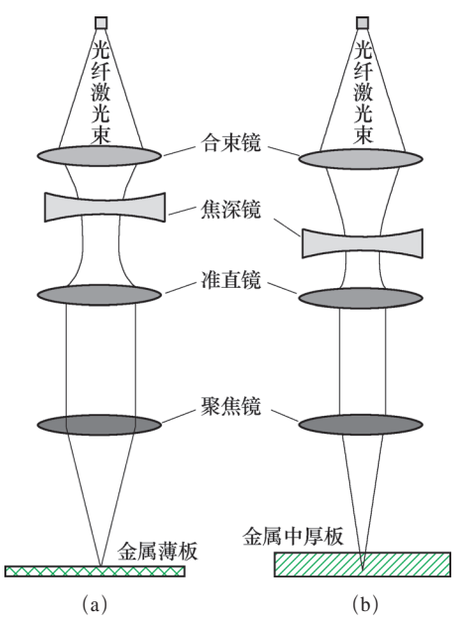

图1 光纤激光头光路结构

除光纤激光头内部光学系统及光束直径合适配置，在切割过程中激光的输出功率、切割速度和辅助气体会影响到切割质量。

光纤激光的功率调整范围较大，在切割速度、辅助气压不变时，应与喷嘴口径的配合达到合适的切割气体流量，调整激光功率的大小以达到最佳切割效果。

在薄板切割中，适用于大功率、高气压气割，可得到较好的切割质量及较快的速度；在厚板切割中，适用于高功率、低气压的切割，切割质量良好。

例如：使用1500W光纤激光器在3mm的碳钢切割中，切割速度5m/min时，气压达到了0.3MPa。光纤激光切割10mm碳钢中，切割速度0.8m/min，气压为0.15MPa时，有很明显的熔燃条纹。气压为0.07MPa时，容易有硬挂渣。当气压为0.1MPa时正合适，切割效果良好。如图2所示。

在相同气压和切割速度的情况下，在3mm的碳钢切割中，功率越大，切缝越宽，则热影响区变大。由于光纤激光器的功率变化范围较宽，故当切割速度为3m/min时，用1000W激光功率能得到很好的切割效果。在10mm碳钢的切割中，因为能量的需要，激光功率必须在1500W以上。

（3）建立光纤激光切割金属中厚板材工艺的参数配置库。为了达到光纤激光对金属中厚板材的切割效果，可通过数控系统各项工艺参数的设置、存储并不断积累，从而建立起光纤激光切割金属中厚板材的系统工艺参数库，针对不同材质、不同厚度的金属板材实现高质量的切割效果。

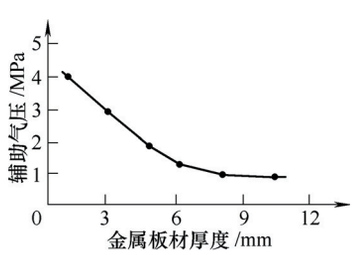

图2　激光切割厚度与辅助气压曲线

如：激光器切割功率、切割喷射头配置口径及与工件相对位置、辅助气体压力、切割速度、穿孔次数、弯角变化等参数。这些切割参数必须通过数控系统根据切割板材的材质、厚度自动选择切割方式和相关的工艺参数配置。因此，选择的数控系统首先必须能够扩充开放的用户编程和数据库容量；第二，编程语言必须与外部控制部件通信兼容。

目前，经过多年实践，开发出的光纤激光切割金属中厚板材系统工艺数据库已在我们生产的整机设备（见图3）获得应用。在该数控系统中为保证切割效果，根据不同切割板材的材料成分和厚度所设置的激光功率、焦距、气体种类及气压数据、喷嘴孔径及切割速度等参数分别建立了切割工艺数据库，用户可方便地调用并自动设置完成进行切割加工。节省了试切环节的时间和板材消耗，实际使用效果很好。

5. 结语

光纤激光器以其高光电转化率、高切割精度、柔性加工能力、良好的切割质量和适应性能，将会在切割领域得到更加广泛的应用。另外，通过不断研究高性能的光纤激光器，开发先进的光学切割方法及配套装置，寻找各种切割状态下最佳的切割参数，来提高切割安全性，将会给光纤激光切割带来更加广泛的应用，真正实现高效、节能、精密的切割。

图3　高功率光纤激光切割机

参考文献：

[1] 张小伟. 光纤激光切割低碳钢板切口质量研究[D]. 武汉：华中科技大学，2009.

[2] 陈亚军，罗敬文，张永康.光纤激光切割碳钢的工艺研究[J].应用激光，2010，30（4）：280-283.

[3] 谢小柱，等.激光切割金属厚板新技术[J].激光技术，2005，29（3）：251-254.

作者简介：温劲苇，天津市激光技术研究所。

MW 20160826