

激光切割

# 纳秒脉冲光纤激光器用于金属切割

文/Jack Gabzdyl, SPI Lasers脉冲激光器系统副总裁

尽管纳秒脉冲激光在材料打标应用领域的成功众所周知，但在微切割应用中的报道较少，然而这一市场正在不断增长。纳秒脉冲激光能够实现多种金属材料的微切割，并且无需辅助气体。

在过去的十年中，纳秒脉冲光纤激光器已经成为金属打标领域占主导地位的激光源，随着其平均功率的持续增加，纳秒脉冲光纤激光器在雕刻领域的应用也在不断增长。这类激光器的脉冲能量通常低于几个毫焦，脉冲峰值功率在 10 kW 左右，平均功率现在高达 100 W，并且体积紧凑，颇受市场青睐。

英国 SPI 公司生产的脉冲光纤激光器基于主振荡器功率放大器 (MOPA) 设计，使用半导体种子激光器结合光纤放大器，使其与传统调 Q 设计相比，在脉冲特性方面具有更显著的控制力。

与具有标称高斯能量分布的传统调 Q 脉冲相比，这些纳秒光纤激光器产生的脉冲具备独特的快速上升时间，使得光束能更加有效地耦合到目标材料中。通过基于扫描头的光束传输系统，工作波长为 1.06  $\mu\text{m}$  的纳秒光纤激光器，可以提供非常快的材料加工速度。

尽管纳秒脉冲光纤激光器过去常常用于打标应用，但是今天的纳秒脉冲光纤激光器的通用性和控制

能力，使得它们在多种微加工应用领域表现出了强大的竞争力，这些应用包括雕刻、烧蚀、划线、毛化和微切割。这些纳秒级脉冲光纤激光器具有从 1 kHz~1 MHz 的宽重复频率范围，从 3~500 ns 的可变脉宽控制，并且能以连续波 (CW) 和调制准 CW 模式运行。

## 切割金属箔

为了实现激光在金属箔类材料中的完全渗透，可以用纳秒脉冲光纤激光器进行简单的单程加工，而切割速度是决定因素。由于该加工通常是基于扫描头的，因此不需要处理气体。

基于扫描头光束传输的金属箔切割，是通过烧蚀和熔体喷射实现的，以获得具有最小热影响区域的无毛边切割。例如，铜和铝电池箔片是一种复杂材料，通常具有 20~40  $\mu\text{m}$  的金属芯，夹在几个专有层之间，总厚度约为 100  $\mu\text{m}$  (见图 1)。可以使用功率为 70~100 W 的脉冲光纤激光器，以大于 1 m/s 的线性切割速度切割这些电池箔，使得激光切割成为比机械切割技术更好的选择，因此机械切割技术要受到工具磨损、定期维护以及普遍缺乏灵活性等因素的限制。

在该应用中，切割质量极其重要，毛边最少以及对薄膜层无损伤是至关重要的。切割质量可以通过优化脉冲和工艺参数来控制，但已有结果表明，

对于某些材料，双程加工可以提升边缘质量。

## 切割厚金属

对于切割厚达 0.5 mm 的金属材料，通常需要光路重合的多路光束，以实现材料的完全渗透。但是，该技术的局限在于：随着槽的深度和高宽比在光束多个来回后增加，材料表面的光束参数优化随之变差，导致光束衰减，降低材料加工的效率。该过程能够有效的自限：调整光斑尺寸，并移动焦点在材料中的位置，但是也只能对上述情况有轻微的改善。

当采用 CW 激光切割时，光束质量是一个重要影响因素。然而，当采用脉冲光纤激光器时，光束质量与  $M^2$  关系更少，而更多受到可达到的脉冲能量和峰值功率的影响。

直接对比三种不同光束质量的激光器 (采用相同的光学布局，功率均为 20 W)，可以发现， $M^2 < 1.3$ 、光束质量最好的激光器并没有达到最佳的



图1: 纳秒脉冲光纤激光器可以很容易地切割电池箔，通常仅需单程操作。

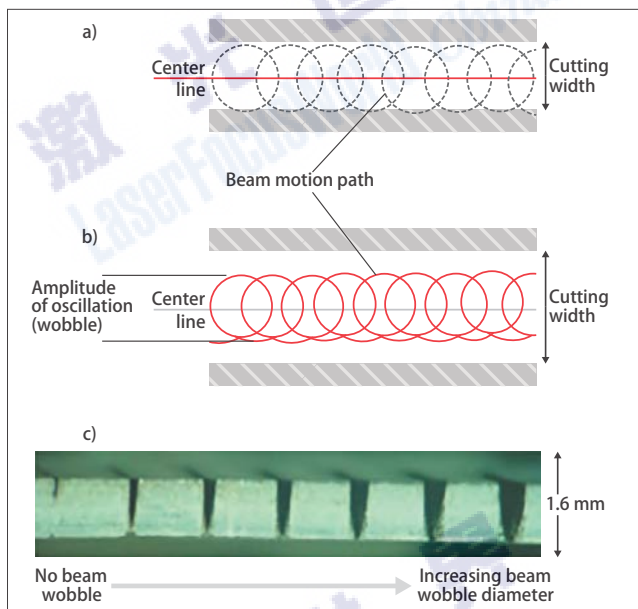


图2: 摆动切割示意图 (a) 给出了标准的切割路径和产生的切口宽度 (b); 通过对光束施加摆动, 可以增加有效切割宽度。通过增加摆动直径, 能够提高金属去除效率和切割深度 (c)。

切割效果, 因为高品质光束较低的脉冲能量和峰值功率, 不是较小的光斑尺寸所能充分补偿的。 $M^2 < 2$  的激光器效果最差, 因为虽然它具有较高的脉冲能量和峰值功率, 但是其光斑尺寸较大, 作用在材料上的能量密度明显更低。最后,  $M^2 < 1.6$  的激光器获得了最好的切割效果, 因为它以适中的光斑尺寸提供了脉冲能量和功率的最优组合。

为了充分切割较厚的材料, 需要采取新的切割方式, 以有效扩大切口, 以及允许去除更多的材料。虽然这是通过增加激光光斑尺寸来实现的, 但该方法的不利之处在于减少了入射能量密度, 从而降低了材料的去除效率。

一种更有效的方法是将每程光束的切割线偏离相同的距离, 偏离值在焦点直径量级, 从而有效地将切口宽度翻倍, 该方法尤其适用于基于 x-y 平台的系统。编程时需要特别小心, 以确保完成品零件的尺寸可以接受。随着切割材料厚度的增加, 在切割边缘会产生轻微的锥度。

通过基于扫描头的光束传输, 标准商用激光打标软件的“摆动”功能 (最初开发用于加宽打标线, 使其更可见) 可以很好地使用 (见图 2)。从本质上讲, 这种摆动功能使得光束以用户自定义的直径和频率, 沿着切割路径轨迹作圆周运动。

使用这种摆动功能, 光束以预定的幅度沿着切割线有效地螺旋。需要仔细控制摆动宽度、摆动频率和切割线速度, 以优化脉冲交叠, 从而实现材料去除最大化。



图3: 在珠宝首饰行业, 纳秒脉冲光纤激光器现在已经司空见惯, 用于生产精细金属切削和毛化, 如图中这款银百合的设计。

### 切割较厚的反射性金属

为了切割厚度大于 0.5 mm 的金属, 可以使用更为复杂的多程加工策略, 对每程的参数进行优化。这些技术可用于所有的金属材料, 但切割速度和可切割的厚度不同。例如, 利用 100 W 的脉冲光纤激光器, 可以对 1 mm 厚的铝板实现 0.9 m/min 的切割速度; 然而对于 1 mm 厚的银板, 切割速度则要降至仅为 0.2 m/min。

激光切割速度受材料反射率的影响, 但是, 与 CW 光纤激光器相比, 纳秒脉冲光纤激光器能够以相对较低的平均功率水平加工高反射性材料。这是因为这些纳秒脉冲光纤激光器的峰值功率可以比 CW 光纤激光器高 100 倍甚至更多, 很容易超过较厚金属材料的阈值。

对于反射性材料的传统 CW 激光切割, 一般需要大于 200 W 的平均功率 (对于 1  $\mu\text{m}$  光源), 以实现稳定的吸收和足够的切割性能, 这意味着平均功率明显更低的脉冲光纤激光器, 可以切割那些需要更高平均 CW 功率水平才能切割的材料。

### 带和不带辅助气体

传统切割需要切割头, 激光束聚焦到工件上, 通过喷嘴施加共轴切割辅助气体。激光束熔化材料, 辅助气体吹走熔体, 从而产生切割作用。

虽然使用基于扫描头技术的金属切割通常局限于厚度小于 1 mm 的材料, 以及可落入扫描透镜工作范围内 (约 100 mm  $\times$  100 mm) 的小零件, 更厚的部分可以采用脉冲光纤激光器进行加工, 但可能需要周期性调整焦点位置, 以保持能量密度。作为选择, CW 激光器不适合基于扫描头的切割, 因为不能产生实现材料熔融喷射的足够汽化,

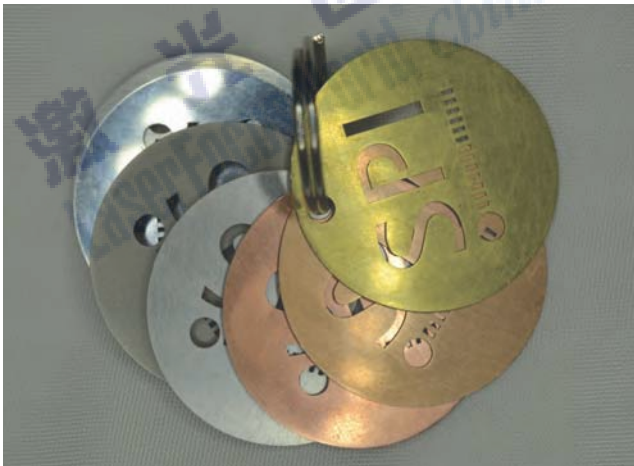


图4: 纳秒光纤激光器使用辅助气体, 可以切割各种金属(钢、不锈钢、铝、紫铜、青铜和黄铜), 甚至是非金属材料。

因此通常使用固定的光学元件和辅助气体。

除了不需要辅助气体这一明显的优势外, 用于微切割应用的基于扫描头的纳秒脉冲光纤激光器, 还具有相对较低的资本费用。CW 光纤和二氧化碳(CO<sub>2</sub>) 激光器具有固定光学元件、切割头和辅助气体, 通常是高于10 万美元的机床, 而用于金属切割的基于扫描头的 20 W 脉冲光纤打标系统, 尽管适用于薄片和有限的零件尺寸, 但其成本只有 2 万美元。

此外, 纳秒脉冲激光器还有其他诸多优势, 如可用于打标、雕刻和毛化以及切割和焊接。这种通用性能很好地用于珠宝首饰行业, 纳秒脉冲光纤激光器是加工(包括切割和雕刻)基于精细金银丝的金银饰品的标准产品, 为设计人员和制造商提供了极大的灵活性(见图 3)。

许多脉冲光纤激光器是在 24/7 生产环境中使用, 在众多应用领域, 这些激光光源的可靠性对销售的强劲增长至关重要。改变光纤激光器脉宽的能力, 为加工优化提供了一条额外的路线, 即根据材料类型影响材料去除速率。

脉冲光纤激光器也可以配合标准的切割头和带有辅助气体的喷嘴使用, 就像传统的 CW 光纤激光器一样。甚至 50 W 的纳秒脉冲光纤激光器可以切割银、黄铜和紫铜, 而这通常需要连续光纤激光器的功率

水平 >200 W (见图 4)。

当使用辅助气体切割时, 取决于应用, 光纤激光器可以在脉冲、CW 或准 CW 模式下使用。在脉冲模式下, 高功率峰值光束容易耦合进入材料, 从而能够以低平均功率切割高反射性材料, 虽然有时切割速度可能较低。在 CW 模式下, 强度仅限于激光的平均功率, 因此不能用在反射性材料切割, 因为未达到耦合阈值。使用高重复频率(> 200 kHz)的长纳秒脉冲(> 200 ns), 可以产生峰值功率 > 200 W 的调制准 CW 脉冲串, 特别适合该应用, 并且平均功率 < 100 W 的激光器能够切割厚度达 1 mm 的多种材料。

## 不止切割金属

应当指出的是, 纳秒脉冲光纤激光器能够切割的材料并不仅限于金属材料。这些激光器还可以有效地切割多种非金属材料, 只要这些材料在标称的 1 μm 波长显示出至少一些水平的吸收。可以切割的其他材料包括硅、碳纤维增强塑料(CFRP)、陶瓷、橡胶、某些塑料和聚合物, 甚至是电子工业中常用的多层材料。□

## 精密位移解决方案



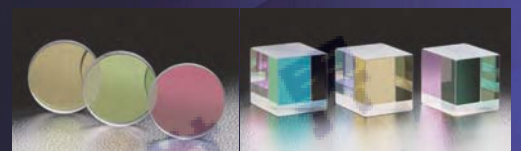
## 高稳定工业专用调整架



## 精密隔振光学平台



## 优质光学元件



北京卓立汉光仪器有限公司

地址: 北京市通州区金桥产业基地  
联东U谷中试区68号B座

电话: 010 56370168

传真: 010 56370118

邮箱: info@zolix.com.cn

网址: http://www.zolix.com.cn



官方微信