

# 使用IceFyre<sup>®</sup>皮秒激光器脉冲串方式加工铜和不锈钢，以提高材料移除率

超短脉冲激光器能够以极高品质加工各种材料，这已在近年来得到充分证明。通过适当优化的工艺，这种激光器可以高品质实现各种特性，而不会产生热相关缺陷，如金属边缘毛刺和/或熔化材料以及玻璃碎裂。工艺优化的一个关键方面是在工件上产生最佳能量密度(单位面积能量，单位J/cm<sup>2</sup>)，该能量足够高，可有效移除材料，同时又足够低，以避免对周围材料造成热损伤。今天的激光器具有越来越高的脉冲能量和平均功率，允许更高的材料加工吞吐率。然而，随着功率和能量的不断提高，人们在确定以高质量和高通量高效加工材料的合适设备和策略方面面临更大的挑战。

虽然皮秒激光器通常用于加工高带隙材料，如玻璃和蓝宝石，但它们正越来越多地用于加工金属和半导体等材料。为了避免可能导致热损伤的过高能量密度，我们可以增加光束尺寸或者在更高的脉冲重复频率(PRF)下操作。然而，这两种情况都需要提高扫描速度，以避免热量累积，且在某些时候需要AOM偏转器或多边形扫描器等设备，因此增加了系统复杂性和成本。

或者可以在时域中分割激光强度，如将单个高能脉冲分成多个较低能量脉冲，其中每个脉冲可产生更接近最佳强度的能量密度。对于这种“脉冲串”加工，Spectra-Physics的IceFyre<sup>®</sup>皮秒激光器平台因TimeShift™皮秒技术实现的高度可定制脉冲输出而胜出。IceFyre 1064-50激光器在1064纳米波长时具有>200 μJ的脉冲能量以及>50 W的平均功率。在脉冲串模式操作中，时间间隔、脉冲串包络内的脉冲数量以及脉冲串包络的形状可能变化很大，同时仍保持相同的最大输出功率，这是竞争产品所不具备的一种独特能力。

铜和不锈钢是各种重要行业广泛使用的两种金属。凭借其出色的导电性，铜在各种电子应用中(如PCB和柔性PCB制造以及先进电子封装)被用作导电介质。另外，铜具有优异的导热性，不仅在大规模应用中用作冷却介质，而且在热电冷却器(TEC)和冷却LED等小规模应用中也作为冷却介质。由于其高强度、耐腐蚀性和抗菌性，不锈钢在许多行业中都很有价值。在汽车制造业中，燃料喷射器喷嘴的激光钻孔是一个日益增长的应用领域，特别是对于超快激光器。它也广泛用于医疗设备制造，激光器用于切割、钻孔和标记。此外，用于复杂纹理工业印刷和压印的不锈钢模具激光加工具有巨大而不断增长的应用空间。铜和不锈钢都具有相对较低的烧蚀阈值，因此将单个脉冲分成多个脉冲应该是可行的。

在一系列实验中，Spectra-Physics应用工程师针对IceFyre 1064-50激光器的各种脉冲串输出，对块状铜和不锈钢材料的烧蚀效率进行了表征。该实验包括在各种实验条件下块状铜和304不锈钢板的凹槽切削体积区域，以测量切削凹槽的深度，并确定体积烧蚀速率和效率。另外，使用光学显微镜进行了切削表面的质量评估，研究了包括脉冲串中的脉冲数量以及脉冲串间隔时间等变量。对于所有的脉冲串输出组合，平均功率在AOM后恒定为43W。因此，在比较4脉冲串和2脉冲串后，4脉冲串中每个的脉冲能量是2脉冲串中的单个脉冲能量的一半。

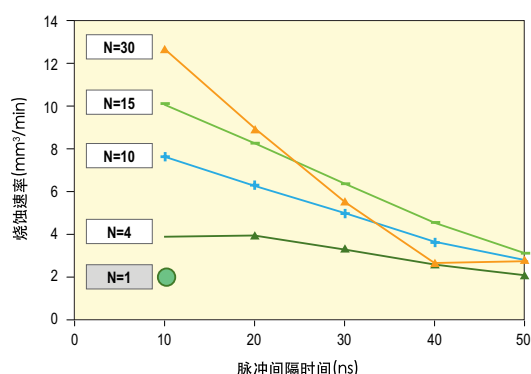


图1: 具有不同脉冲串子脉冲数量且子脉冲间隔时间越来越大的铜的烧蚀速率。

# 使用IceFyre®皮秒激光器进行铜和不锈钢脉冲串加工，以提高材料移除率

测试结果证明了脉冲串切削加工对于提高材料移除速率的优势。图1表明，随着脉冲串内脉冲数量的增加，铜的体积烧蚀速率增加。图2表明，不锈钢的体积烧蚀速率也有类似趋势。

显然，将能量分布到多个脉冲有助于在铜和不锈钢中实现较佳的能量密度。使用30脉冲脉冲串，烧蚀速率比单脉冲高6倍。此外，数据表明，较短的脉冲间隔时间会导致较高的材料移除速率。

在两种金属中，烧蚀速率最高时的最短测试脉冲间隔时间为10纳秒。对于这个10纳秒的短脉冲间隔时间，图3绘出了作为脉冲串子脉冲数量函数的铜和不锈钢的烧蚀速率。

图3表明，如果子脉冲数低于20，则铜的烧蚀速率高于不锈钢。然而，如果数量超过20，则铜的烧蚀速率下降，而不锈钢的烧蚀速率上升。

鉴于用皮秒脉冲激光源加工时金属的烧蚀阈值非常低，要仔细管理应用的激光能量密度，以最大限度地提高材料移除效率，同时最大限度地减少有害热效应，这十分重要。虽然空间光束整形和超高速光束扫描允许进行这种优化，但这些方法成本高昂、复杂且不灵活。另外，Spectra-Physics公司的IceFyre激光器可以在时域内进行简单的脉冲强度调整，这种方法已被证明可以提高铜和不锈钢材料的移除速率。

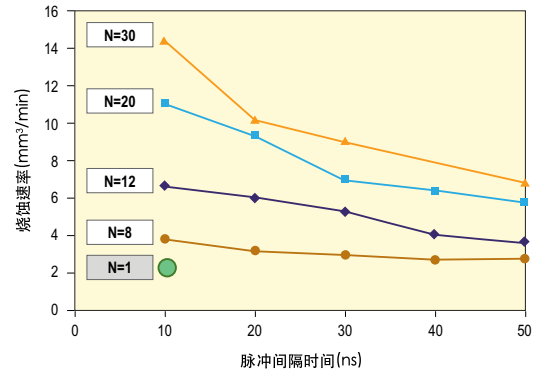


图2: 具有不同脉冲串子脉冲数量且子脉冲间隔时间越来越大的不锈钢的烧蚀速率。

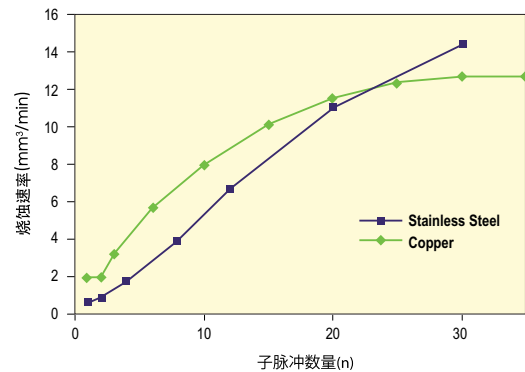


图3: 具有不同子脉冲数量且脉冲间隔时间为10纳秒的不锈钢和铜的烧蚀速率。

## IceFyre 1064-50

波长	1064 nm
功率	>50 W
典型最高脉冲能量	200 kHz时单脉冲>200 μJ
重复频率范围	单脉冲到10 MHz
脉冲宽度, FWHM	<20 ps
空间模式(TEM <sub>00</sub> )	<1.3
激光器尺寸(长 × 宽 × 高)	29.50 × 12.13 × 7.50英寸(749.5 × 308.0 × 190.6毫米)

**Spectra-Physics**

A Newport Company

[www.spectra-physics.com](http://www.spectra-physics.com)

3635 Peterson Way, Santa Clara, CA 95054, USA

电话: 1-800-775-5273 1-408-980-4300 传真: 1-408-980-6921 电子邮件: [sales@spectra-physics.com](mailto:sales@spectra-physics.com)

比利时 +32-(0)0800-11 257

中国 +86-10-6267-0065

法国 +33-(0)1-60-91-68-68

德国 / 奥地利 / 瑞士 +49-(0)6151-708-0

日本 +81-3-3794-5511

[belgium@newport.com](mailto:belgium@newport.com)

[info@spectra-physics.com.cn](mailto:info@spectra-physics.com.cn)

[france@newport.com](mailto:france@newport.com)

[germany@newport.com](mailto:germany@newport.com)

[spectra-physics@splasers.co.jp](mailto:spectra-physics@splasers.co.jp)

韩国 +82-31-8021-1600

荷兰 +31-(0)30 6592111

新加坡 +65-6664-0040

台湾 +886 -(0)2-2508-4977

英国 +44-1235-432-710

[korea@spectra-physics.com](mailto:korea@spectra-physics.com)

[netherlands@newport.com](mailto:netherlands@newport.com)

[sales.sg@newport.com](mailto:sales.sg@newport.com)

[sales@newport.com.tw](mailto:sales@newport.com.tw)

[uk@newport.com](mailto:uk@newport.com)