紫外激光切割FPC覆盖膜工艺及机理研究

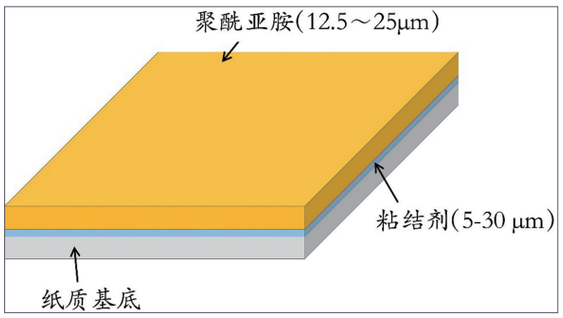
作者：杨焕博士，深圳英诺激光科技有限公司高级激光应用工程师

引言

柔性线路板（Flexible Printed Circuit，FPC）覆盖膜，主要成分为聚酰亚胺（Polyimide，PI），通常工业所使用的PI薄膜借助于粘合剂附着于纸质基底，呈卷状储藏，工业界也称之为PI覆盖膜，聚酰亚胺是分子主链上含有酰亚胺环状结构的耐高温聚合物，具有优异的综合性能，而耐热和耐辐射性能在目前工业化生产的高分子材料中极为突出。高温下具有突出的介电性能、机械性能、耐辐射性能和耐磨性能，广泛用于航空、兵器、电子、电器等精密机械方面。自五十年代末发现了聚酰亚胺优良热稳定性和力学性能以来，人们对这类聚合物的研究一直很活跃。然而，难以加工和较高的制造成本却严重限制了它的应用。

在FPC中，覆盖膜的作用如下：（1）保护铜箔不暴露在空气中，避免铜箔的氧化；（2）为后续的表面处理进行覆盖，如不需要镀金的区域用PI覆盖起来；（3）在后续的表面贴装工序中，阻焊作用。因此，在工业生产中要求对覆盖膜相应的位置进行窗口切割，同时不同电子线路所要求的覆盖膜切割窗口的尺寸和类型都不一样。目前FPC覆盖膜大批量生产所采用的工艺为传统冲压方法，该工艺存在精度低、耗费人力物力，且加工环境粉尘和噪音污染较大等问题。

近些年来，随着激光技术的不断发展，采用全固态紫外激光器切割FPC覆盖膜逐渐成为主流，生产规模也逐年扩大。尽管如此，业内在采用激光加工FPC覆盖膜时，若激光器性能存在缺陷或工艺参数选择不恰当，极易导致切割边缘发生碳化，由于碳具有导电性，会使后续所制作的电子元器件发生微短路，产品良率不高。



本项目主要内容针对以上问题，采用英诺激光自主研发的激光器，开发出更具性价比的激光加工方案来实现覆盖膜激光加工的规模化生产，通过本项目，客户可以节省大量人力成本，实现更高精度的加工，缩短产品生产周期并节省大量成本。本项目也致力于推动激光在电子行业中的应用，本工艺将来可取代或改善无法满足生产需求的工艺。

基本加工原理

采用纳秒激光作用高分子材料时，若光子能量高于材料的某些化学键，激光光子可以使材料的化学键直接断裂，产生以光化学作用为主的“冷”加工过程。在PI的化学键结构中，常态下C－C键和C－N键的键能分别为3.45eV 和3.17eV，而355nm紫外激光的单光子能量为3.49eV，高于常态下C－C键和C－N键的键能，可直接破坏材料的化学键，波长越短，光子能量越高，因此，相对于1064nm红外激光和532nm绿激光，355nm紫外激光更加适合于PI薄膜的切割。

即便如此，在光子能量高于材料的化学键能的同事，若激光能量密度达到材料的热损伤阈值，其相互作用不仅为光化学过程，还存在光热转换过程，随着热量的产生和积累，材料温度不断上升。相关研究表明，当聚酰亚胺温度高于600℃时，相对于C元素，N和O的比例会不断减小，这也是紫外激光工艺参数选择不当时，PI发生碳化的原因。因此，本文的目的为在不减小加工效率的前提下尽量降低紫外激光加工过程中产生和积累的热量，获得无碳化的加工结果。

实验材料和装置

本实验所采用的PI覆盖膜厚度为20±2μm，拉伸强度≥160 MPa，热分解温度≥500℃。实验所采用的激光加工系统为英诺激光应用实验室自主搭建的微加工实验

平台，如图3所示，该加工系统主要包括本公司自主研发生产的355nm全固态紫外激光器、光束变换系统、振镜扫描系统和真空吸附平台，激光器的最高功率为15W。实验检测设备为电子扫描显微镜（SEM）和奥利巴斯BX51光学显微镜。

实验结果

当采用脉冲激光进行切割时，任何实验结果都是多个脉冲的叠加，因此，为优化多个激光脉冲叠加进行切割的实验结果，必须先研究单个激光脉冲对材料的作用。如图4所示，为单个激光脉冲作用深度随激光能量密度增加的变化曲线，由于实验所涉及的能量密度主要集中在1~100 J/cm^2，为兼顾对高能量密度的实验结果进行研究，横坐标以指数形式进行表示，结果显示刻蚀深度HPI（μm）随激光能量密度E（J/cm^2）的上升呈线性趋势增长（H_{PI}= 0.11E+1.5），除此以外，当激光能量密度较低时（1.13J/cm^2），激光作用区域无任何熔渣和热变形，此时仅发生了光化学作用，而激光能量密度增加到单个脉冲便可穿透材料时，激光作用区域边缘发生明显的热变形，这说明了由于激光能量密度较高，光热作用的比重较大。相关研究表明，当激光能量密度大于38.94J/cm^{2}时，光热作用占主导地位，且能量密度越高比重越大。

以上实验结果虽然显示激光能量密度的升高直接导致了热效应的产生，但在单个激光脉冲作用的过程中，即使能量密度高到足以穿透材料的程度，也观察不到材料发生明显的碳化，因此覆盖膜实际生产中的碳化是由多个激光脉冲叠加所导致的。当激光功率为3W时，扫描速度为100mm/s时，由于相邻光斑间的距离过低导致所积累的热量达到材料的碳化阈值，切割边缘发生明显的碳化，随着振镜扫描速度的增加，切缝不断变窄，切割边缘的热影响区和热变形的尺寸也逐渐减小，此时，由于扫描速度较高，单次扫描切割深度较浅，需进行多次扫描方可完成材料的切割。因此，在采用紫外激光切割PI覆盖膜时，为获得较高的边缘切割质量，需采用振镜高速多次扫描来完成材料的切割。

上述结果显示，当采用紫外激光器对PI覆盖膜进行切割时，通过重复频率和扫描速度的优化，可以获得无碳化的高效率切割，由此本项目通过对不同功率下的实验参数进行优化，获得如下结果，图7显示随着激光功率的增加PI覆盖膜的切割效率不断变大，当功率为12W时可以获得500mm/s的加工效率。

小结

本文介绍了紫外激光切割覆盖膜的基本原理和优势，对材料碳化的原因进行分析，通过自主研发的高性能紫外激光器分别对PI加工过程中单个激光脉冲及多个脉冲叠加的结果进行研究和分析，结果表明：PI发生碳化的前提条件是单个激光脉冲产生足够的热效应，而多个脉冲叠加所产生的热积累是PI碳化的最终原因，因此，在保持较高切割效率的同时，为获得较高的边缘切割质量，需采用振镜高速多次扫描来完成材料的切割。 ILSC

Performance: First Class, Price: Economy
头等的性能，经济的价位

basiCube10 – tailor-made for laser marking

- Available for 355 nm, 1064 nm, 10600 nm
- 800 characters per second with good marking quality
- Ultra-compact size
- Attractive price/performance ratio
- Engineered and produced in Germany

For more information – get in touch with us!

ACCESS 查询号码 LA0061

www.scanlab.de

SCANLAB innovators for industry

激光系统在大直径管件切割上的应用

作者：GIOVANNI ZACCO
摘自：美国《Industrial Laser Solutions》杂志

如今，激光切割小（<6英寸）和中等直径的管件（<12英寸）在工业过程中已经被普遍接受。然而，在面对大直径管件时，激光切割——具体来说是使用光纤激光器会同样有用吗？要找出这个问题的答案，让我们去意大利Venetian山的Prosecco葡萄酒产区，来到一家名为Tubilaser（www.tubilaser.com）的公司。15年来，该公司一直是结构钢管及激光切割管状零部件的供应商。

该公司服务的行业很广泛，包括桥梁和体育场施工（图1）、农业机械、滑雪场的滑雪电缆车、室内设计和建筑以及机械装配。总之，该公司的客户可以是任何一个激光切割管件的使用者（图2）。Tubilaser最初购买了BLM的激光管切割技术，以使自己在与其他制造商的竞争中脱颖而出。根据公司创始人Guido Bonaldo所说："这种方法让我们能够为客户提供更高品质的零部件，同时成本也较低。"

涉足激光管切割

Tubilaser首次涉足激光管切割时选择了一台BLM的LT652小直径设备，使用的是2kW CO_2 谐振腔，切割的管件直径最大为4.75英寸、长度为20英尺。第二台是LTJumbo 20 3.5kW CO_2 型号，能让他们加工直径达20英寸、长度50英尺、壁厚达0.625英寸的管件。除了加工圆管，LT Jumbo 20也可以切割正方形、长方形、椭圆形、槽形、弯管和工型梁（图3）。

在2014年，Tubilaser购买了他们的第一台光纤激光器LT Jumbo 14（直径14英寸），配备了3kW IPG谐振腔。这进一步增强了其加工大直径零部件的能力（图4）。

使用激光切割工艺用于大直径管件的决定是有着充分理由的。因为这使该公司能满足其客户的要求，同时也是出于Bonaldo作为企业家早在15年前就产生的直觉。他高瞻远瞩地意识到激光切割所能提供的潜在优势，甚至在切割大直径管件时也是如此。在他开始投资时，这些优势并不明显。"最初，所有客户认为我投资这么大一笔钱来购买这样的设备是一种疯狂的决定，"他谈到决定购买LT Jumbo 20时的情况，"一开始我们没有收到任何关于大型零部件和结构件的订单咨询。我们不得不更加努力地与客户的工程部门合作，力图让设计师们了解使用激光切割工艺所带来的优势。这些优势之前在加工小直径管件方面已广为人知，但需要花时间

图1：Tubilaser为美国乔治亚州Tblisi的和平之桥（左）和爱尔兰都柏林的英杰华体育场（Aviva Stadium）（右）生产了管状零部件。（图片来源：joyfull/Shutterstock.com 和Pavel L Photo and Video/Shutterstock.com）

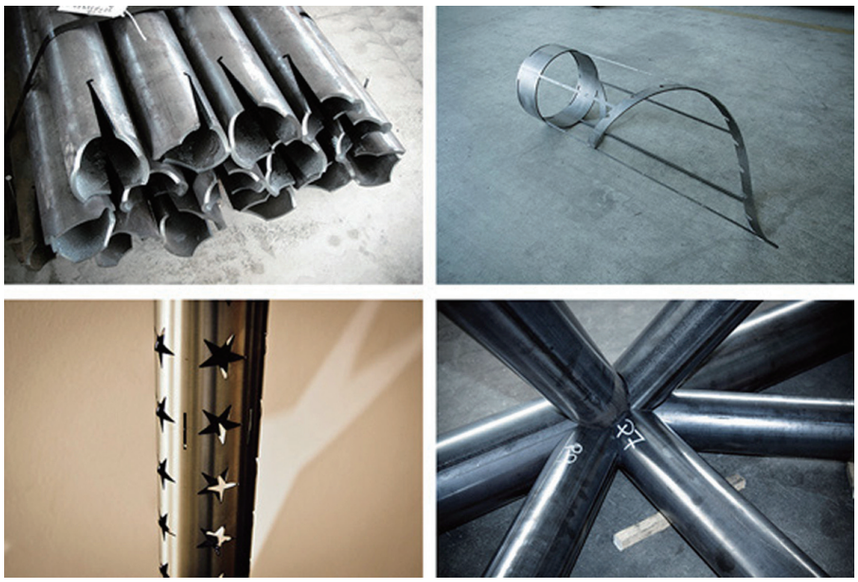


图2：Tubilaser制作的零件用于车轴（左上）、枝形吊灯（右上）、灯（左下）和桁架（右下）。（图片来源：Tubilaser）

让市场相信它在加工更大、更重的管件时也有着同样的优势。”

慢慢地，Tubilasers的客户开始意识到激光切割的好处，并开始为他们的零部件实行创新的设计方案。现在，即使是简单的应用也在采用自动化的激光切割工艺。Tubilasers的生产经理Flavio Colusso解释说：“优势并不体现在单个零部件的自动化生产过程，而是覆盖了某个项目的整个生产过程，这样能实现相比传统工艺更低的整体成本。”为了解释其观点，Colusso举出了一个例子：“让我们看看两根40英尺长的大直径圆管。这些管子都将被端切以形成90°的接头，并沿管长切割出豁口以便插入其他管，形成管状结构。这些豁口需要与端面成正确的方向来切割。即使是小至1°的方向误差，也会使得管的另一端的极不匹配。在用传统工艺来制作时，这些错误很常见。因而需要对零部件进行返工以更正这些错误，有时甚至非常频繁。这意味着成本超支，并且从审美的角度来看这种返工是永远不会美观的。LT Jumbo系列激光切割管设备可以用一种单一的、完全自动的方式来循环生产这些大型管件，准确性和可重复性非常高，这是原来的传统工艺所无法比拟的。

该设备的3D倾斜切割头可以沿管长移动，因为有两个旋转夹头来控制它。这种方法在切割端面或是在任何部位切割豁口时能实现高的精度和灵活性。“所有客户都非常满意我们供应的零部件的精度和质量。”创始人的儿子Filippo Bonaldo表示。借助激光切割工艺，Tubilaser可以用较短的交货时间和低的成本来供应高质量的零部件。当客户将他们与其他使用传统工艺的供应商进行比较时，这是一个巨大的优势，不管是质量还是一致性都无法匹敌。

“当使用传统方法时，制作某个零部件的总时间（以及随之而来的成本）不能事先确定，因为这取决于若干因素，其中最重要的是操作者的技术，”Colusso说，“而激光的情况又不一样，对于任何给定的零部件，甚至是需要为之后的焊接进行接头预处理的坡口切割，都可以事先计算成本和时间。不管是生产一个零部件还是几百个，计算出来的成本都会保持不变。这种对成本和质量的把握备受客户的赞赏。”

“有一个成功案例是为铁路制造复杂的管状结构，”Bonaldo说，“这些管状结构沿着铁路线安装，用来悬挂信号灯与火车的其他标识。这些管用激光切割，然后送到现场预备组装。在组装过程中不需要进一步的调整或任何形式的返工，组装出来的结构就像迷宫一样。”他还解释了另一个重要方面，“传统工艺中，操作者的技术水平并不一致，而且他们一次只做一件。在过去，操作者可以根据你给的图纸来独立制造一个零部件，新的工人并没有相同的技术。所犯的任何错误都会带来很高的成本，要么你不得不花费大量时间来返工和修复，要么你放弃一切重新再来。由于大尺寸管件的材料成本非常高，因此用户不可能负担得起。”

光纤激光管件切割的优势

在LT Jumbo 14上使用光纤激光器也不是一个显而易见的选择，因为这台设备是用于大直径的厚壁管件，而我们熟知的是，光纤激光器在以较高的切割速度切割薄壁材料时有着最佳的表现。选择光纤激光器是因为其总体运行成本较低。“管状结构和农业机械对成本极为敏感，零部件的成本必须非常精细地控制，”Bonaldo说，“光纤激光技术有着较低的能耗（因此也会降低所需的装机功率）和更低的维护成本，有助于降低单件成本。它还增加了切割其他材料的

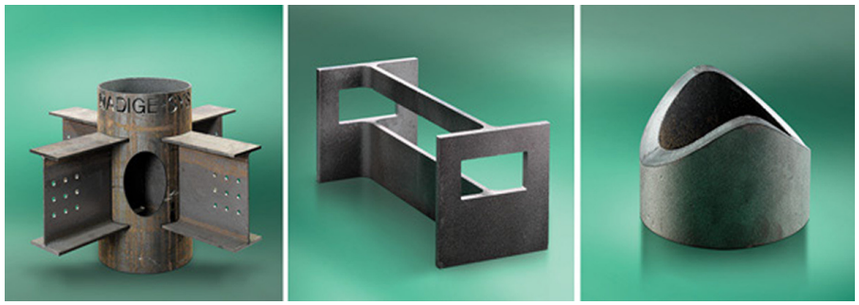


图3：使用激光切割制造出来的梁和管。（图片来源：BLM集团）

能力，例如镀锌、铜、黄铜、不锈钢，这些都不适合用CO_2激光器切割。这种扩展的加工能力对于任何管件制作车间都是很重要的因素。这些优点充分抵消了其他小的不足，我们不得不接受由此而来的切割表面质量。”事实上，与安装CO_2激光器相比，电源需求也几乎只有一半；因为光纤激光器没有移动的部件，因此几乎无需对激光谐振腔进行维护；还有，这里没有反射镜组来引导光束，因此无需对齐、清洁和维护。如果采用CO_2激光，所有这些维护都会带来设备停机以及生产损失。此外，光纤激光器内部具有额外的备用电源模块，一旦某个操作模块发生问题就能启用。

使用光纤激光技术迫使设备制造商必须完全封闭工作区，以确保操作人员的安全。对于LT Jumbo，整个激光切割过程是通过安装在工作区的摄像机来监控。Bonaldo认为应将这点视为积极因素：“因为工作区是全封闭的，设备制造商必须付出额外的关注，来确保机器操作更加可靠，并最终尽可能多地解决自动化生产中的停顿问题。”这真是一个有趣的观点！

图4：BLM集团的LT Jumbo 14光纤激光切割系统。（图片来源：BLM集团）

我们可以得出结论，那就是我们已经克服了激光切割大直径管件所面临的挑战。虽然一开始有一些不情愿，但现在Tubilasers的客户已经充分体会到随之而来的好处，精确、高质量的零部件可以在现场很容易地进行组装和焊接，所以这种激光切割的零部件已经成为他们的新标准。这个行业的设计师也发现这种技术能给他们带来更多的设计方面的自由，而且他们已经开始借助这种技术来设计一些美观的创新结构。

有吸引力的设计，高精度的零件，单件成本的降低，维护的减少，以及装配时间的减少，所有这些都证明了Guido Bonaldo在多年以前决定在大直径厚壁管件和管道制造中引进激光管切割设备的选择是正确的。 ILSC

GIOVANNI ZACCO（giovanni.zacco@blmgroup.it）是总部位于意大利科摩Cantù的BLM集团的市场发展经理，www.blmgroup.it。

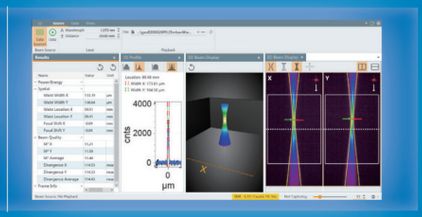
高功率激光，先锋科技帮您“控制质量”

OPHIR Photonics · Spiricon OPHIR Photonics · Photon OPHIR Photonics

以色列Ophir公司成立于1976年，激光量测设备全球领导者，主要产品包含：激光功率/能量计、OEM探头、相机式光束分析仪、狭缝式光束分析仪、M2分析仪、焦点光斑测试仪等。

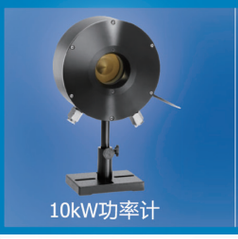
Ophir公司高功率激光量测产品的研发一直处于全球领先地位，部分产品如下：

高功率焦斑测试仪BeamWatch

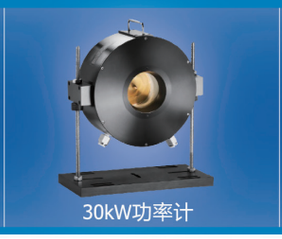


- 功率量程：1kW-无上限（截止到目前测试到100kW）
- 波长范围：980-1080nm
- 非接触式测量，光路中无需任何衰减元件
- 24小时全天候测试，焦点光斑位置、大小、光束发散角、M2因子等参数时时显示。

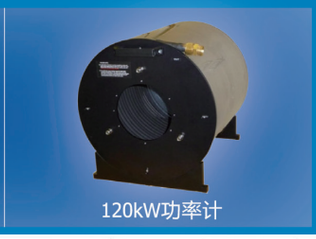
高功率激光激光功率计



10kW功率计



30kW功率计



120kW功率计

- 功率量程：10kW-120KW
- 宽波长
- 高灵敏度
- 高损伤阈值
- 快速响应
- 水冷

预订或技术问题请联系：北京金先锋光电科技有限公司

北京总公司：电话：010-62634840　邮箱：sales@teo.com.cn
上海分公司：021-62227575　深圳分公司：0755-83205020
西安分公司：029-88326276　成都分公司：028-68080921

ACCESS 查询号码 LA0182

先锋科技 Titan Electro-Optics Co.,LTD.
顶级光电产品系统集成商

激光系统为切割焊接和打孔加工带来新的潜力

作者：Terry VanderWert Prima Power Laserdyne, LLC

最新三维光纤激光系统的灵活性和功能可以为制造商带来效益的增长。在过去，所用的激光器只能实现材料的切割和焊接或切割和打孔加工，但无法同时实现三种工艺 。脉冲调制光纤激光技术的出现使得三维光纤激光系统能够实现三种及更多的工艺。事实上，随着对激光加工不断深入的理解，应用范围已延伸到切割、焊接和打孔之外的领域；正因为激光加工有此多样性，制造商可以开发新的工艺以便快速应用到生产中。

直到最近，多轴激光系统的功能性和价格的匹配一直超出了很多制造商的承受范围，但现在LASERDYNE 430 Versa系统在价格和多样功能性方面做出了最佳的平衡, 可以实现多种材料的激光切割、焊接、打孔、纹理及打标等精密加工。对于那些期望扩展激光用途的生产商来说最重要的是，高性价比的430 Versa 系统融合了所有光纤激光加工工艺，为高效益的量产提供了一种选择。

新的LASERDYNE® 430 Versa 是价格实惠的光纤激光系统

配备第三代BeamDirector®的LASERDYNE 430 Versa 三维光纤激光系统适合此类制造商，即其目前产量低、非常混杂但考虑将来某些产品会大批量生产。430 Versa 是为制造商的工具室、模型室及研究开发中心典型的激光加工需求而设计的，除此之外还为扩大生产提供了便捷的途径。具体如下：

430 Versa系统配备空冷峰值功率达3000瓦的光纤激光器及LASERDYNE专有的加工头， 加工头可以实现激光光束两个轴方向的运动而无任何工件移动。430 Versa 系统同样拥有高精密度，与目前在全球范围内加工航空航天、医疗产品的LASERDYNE 系统具有同样的系统和技术。精密度不仅仅出于430 Versa运动系统的性能和精确性，同样得益于LASERDYNE独有的先进功能设计，使其能够有效执行全部设计任务；这也是激光、运动和过程传感器集成控制的成果。高精密度不仅仅是通过对系统定位、重复定位精度测量得出，更重要的是通过对加工后的工件检测而得出的。

此系统的高效源于对激光、运动和加工传感器的高度集成和控制，这点非常重要，后面的性能特点将证实。系统线性轴X和Y运行速率高达20.3米/分，Z轴20米/分, 双向精度为0.0005英寸（12.7微米），加工头旋转速率为90转/分，双向精度为6弧秒。使用200毫米透镜时，旋转轴的精度可以将激光焦点处的误差控制在0.0003英寸（7.6微米）以内，此精度在系统585 x 408 x 508的工作行程内始终一致，非常适合对宽范围尺寸的、厚的、薄的金属或非金属进行激光加工。

430 Versa另外一个重要特征是节省空间，支撑脚小降低了对地面的要求；尽管是紧凑型设计，但其配置了Laserdyne最新最强的控制系统 – S94P。430 Versa 包含了Laserdyne所有软硬件功能，以对激光、运动和加工传感器进行集成控制。虽然激光器是三维激光加工系统的重要部分，但是激光

加工的全部功能只有在激光、运动和加工传感器完全集成控制后才可实现，这是430 Versa的关键所在。

430 Versa的创新功能有Smart Pierce™ 和 SmartRamp™

基于对光纤激光器的高速、实时的控制，整合后的430 Versa是Laserdyne在加工领域的最新成果。来自Laserdyne 研发部的两项新技术有SmartPierce和SmartRamp，且都已被整合到该系统当中。

SmartPierce 的功能在于切割前打出微小洁净的穿孔而只产生极少的残渣。由于穿孔直径和切缝具有同样的尺寸，所以可以在微细的材料边缘进行切割。

430 Versa另一个创新的加工功能是 SmartRamp，此功能避免了闭环焊接在末端产生焊缝凹陷的问题。鉴于重叠焊接时传统的方法是降低激光功率，SmartRamp采取对一系列加工参数进行集成控制以使焊缝表面形成光滑的过渡。

附加的功能扩展了系统的灵活性

LASERDYNE S94P控制系统中成熟的应用功能也已被整合到430 Versa中，其拥有一整套标准的软硬件功能。其中包括自动焦点控制 AFC™，适用于有电容感应的材料；另外作为备选的功能有光学焦点控制OFC™，其应用于非电导性材料。

电容感应和光学焦点控制的两种方法都会精确引导控制系统，保持垂直方向固定的焦点位置，不管工件表面是否平整焦点都会精确跟随工件轮廓运动。系统线性轴会随感应运动，在光束轴方向做无限量补偿。工件感应和防撞保护功能的集成使得操作人员可以放心使用最大加工速度，而不用担心损坏设备或工件。

防撞保护功能对于需要激光加工的新零件设计者来说非常重要，430 Versa的防撞保护领先业界5年，对碰撞导致损坏的切割头终身保修。

Laserdyne 430 Versa 促进原型进入量产

当一个新设计的产品验证、修改、再验证并进入大量生产时，对此430 Versa将是一个理想的选择。430 Versa 是基于这样一个系统平台开发的：优化应用辅助轴、聚焦透镜、加工传感器、夹具、传送装置及激光器等来实现大批量生产。

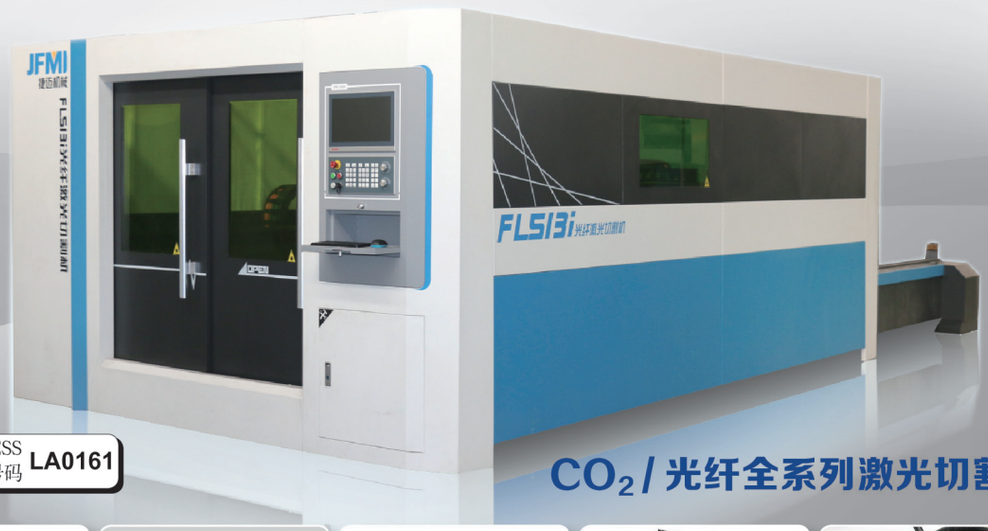
小结

430 Versa为新老用户提供了新的加工功能及灵活性，现在可以用此更加灵活、精确和高效的设备来替换旧的、功能少的设备了，我们有信心为您提供一个经济实惠的系统来实现产品从原型到量产的所有需求。 ILSC

中国激光加工设备“国家队”
引领行业发展“30 载”

国机集团 | JFMI 捷迈机械

1985 年研制出中国第一台激光切割机，30 年孜孜以求，引领行业技术发展，国内保持量逾 2000 台。



ACCESS 查询号码 LA0161

CO_2 / 光纤全系列激光切割机

济南铸造锻压机械研究所有限公司
JINAN FOUNDRY & METALFORMING MACHINERY RESEARCH INSTITUTE CO.,LTD

电话：0531-86521106 / 86521287　传真：0531-86521039 / 86521286
地址：济南市长清区凤凰路 500 号　邮编：250022　网址：www.zds.com.cn

WeldMaster智能激光焊接系统在汽车行业的应用

作者：Thibault Bautze，德国普雷茨特焊接系统产品经理

前言

WeldMaster自适应智能焊接系统，是一套能为激光焊接提供多种应用选择的平台。通过传感器和执行机构，对焊前、焊中及焊后进行监测和控制，为焊接任务提供了最先进的一站式解决方案。在汽车行业中，设备的稳定、可靠和高效对客户来说尤为重要。WeldMaster完全能够满足这些需求。智能焊接头与WeldMaster的组合，不仅有助于改善已有的焊接工艺，而且还能开辟更多的搭接方式。

激光焊接的优势已经得到广泛的认可，并在多年的发展过程中持续地改进对异形材料的焊接、提供多样化的搭接方式并降低生产成本。在汽车行业对轻量化、节能减排和更短生产节拍的需求不断推动了焊接技术的发展。目前激光焊接已在汽车行业大量使用，比如传动件、白车身和激光拼接焊板中。

传统的焊接过程监控是分别应用在焊前、焊中和焊后。焊前是采用三角测量法或灰度测量法对工件表面几何形状进行分析，从而实现定位跟踪。焊中控制是通过分析视觉传感器（比如CMOS照相机）来检测瑕疵，有些更高端的系统甚至可以测量到具体的熔深。同焊前一样，焊后也是通过三角测量法或灰度测量来检测焊接质量并发现瑕疵。

WeldMaster集成系统

每一个独立的焊接辅助系统都需要与上位机和控制界面进行大量数据交互，WeldMaster就是为了处理这些复杂的需求而设计的。该平台集合了所有的监控、控制功能。从最简单的焊前定位跟踪到更

表1：CMOS照相机和同轴照相机的技术参数。

数据	CMOS 照相机 WD100	CMOS 照相机 WD150	CMOS 照相机 WD200	同轴照相机
工件距离	100	150	200	取决于光学镜片
最大图像帧数（每秒）	2400			
图像分辨率	1024x1024			
垂直分辨率	18	30	54	>=20
水平分辨率	13	21	30	>=10
最大水平测量范围	12	22	30	>=10
激光波长	658nm+/-5nm			
激光级别	3B			
激光功率	100mW			
净化气体	✓	✓	✓	n.a
保护类别	IP 62			
尺寸	1150g/143x43x181mm(WxDxH)			750g/87x50x98(WxDxH)

复杂的激光功率与振镜的闭环控制，WeldMaster系统都能轻松应对。

WeldMaster系统里有两个处理器，一个负责处理来自传感器、其他外设或者PLC的数据；另外一个负责实时影像数据处理。照相机可以分为装置在焊接头上端的同轴照相机和/或在装置在焊接头前端或后端的旁轴照相机（CMOS照相机和LED照相机）。CMOS照相机（表1）用的是三角测量法。LED照相机（表2）提供视场照明度和三角测量分析。所有的照相机都是通过光纤传输图像，对电缆长度没有限制并且易于集成。WeldMaster集成了所有可能的影像监控功能。从简单的焊前跟踪和焊后检测，到实时激光功率控制，WeldMaster都可以游刃有余。

除此之外，WeldMaster还可以配置其它的输入信号。系统可以监控、控制模拟信号量，比如激光器功率。另外，也可以读取外部轴编码器信号以便对焊接头精确定位。焊接头的工作状态也能够被监测。诸如温度、压力、保护窗的洁净度、激光功率等数据都可以被永久记录并分析。

至于输出端，WeldMaster可以多轴控制直线电机、电动调节准置单元和ScanTracker摆动单元。同时额外的模拟信号可以用来控制外围设备，比如送丝机和控制阀。

表2：LED照相机相机的技术参数。

数据	LED 照相机 WD55
工件距离	55
最大图像帧数（每秒）	2400
图像分辨率	1024x1024
垂直分辨率	20
水平分辨率	10
最大水平测量范围	10
激光波长	658nm+/-5nm
激光级别	3B
激光功率	100mW
净化气体	✓
入射光	4 个独立的 LED 面板
保护类别	IP 62
尺寸	1300g/140x52x180 mm(WxDxH)

系统解决方案

WeldMaster的全套功能需要一个YW52智能焊接头（图1）才能得以实现。

- WeldMaster Track焊前跟踪；
- WeldMasterScan&Track焊前跟踪和单轴振镜；
- WeldMaster Monitor焊中监测；
- WeldMaster Inspect焊后检测。

WeldMaster Track焊前跟踪——汽车传动件齿轮箱的多种搭接方式

WeldMaster Track焊前跟踪系统是运用光速三角分析和灰度分析原理，通过同轴或旁轴照相机来追踪焊缝。现今，这种焊缝追踪已经成功应用在汽车传动元件的焊接上。WeldMaster对多样化的包容性使得该系统在焊前能轻易追踪多种不同的齿轮部件。在第一次的焊前扫描后，系统记录搭接位置并传输给编码器，并以此数据用来纠正焊接时的聚焦位置。如果配置了WeldMasterInspect检测功能，焊后还可以通过传感器来检测焊缝表面质量。用同一个传感器来完成焊前和焊后的控制，可以大大减少了系统的集成时间。

WeldMasterScan&Tract焊前单轴振镜——铝制车门的角接焊

WeldMaster Track的焊缝追踪功能与WeldMasterScan&Track的摆动单元及激光功率控制单元相结合，开辟了激光焊接应用新纪元。

Scan&Track可使焦点以指定宽度高频横向摆动，从而形成一个激光功率闭环控制。以此实现在横向上的激光功率的精确分布，从而来调节熔深（图2）。这点对角接工艺显得尤为重要，因为这样可以获取一个更优化的焊接截面，从而避免了穿透焊接。此外，通过焊前监测上下板的间隙宽窄来调节激光功率和摆动频率，

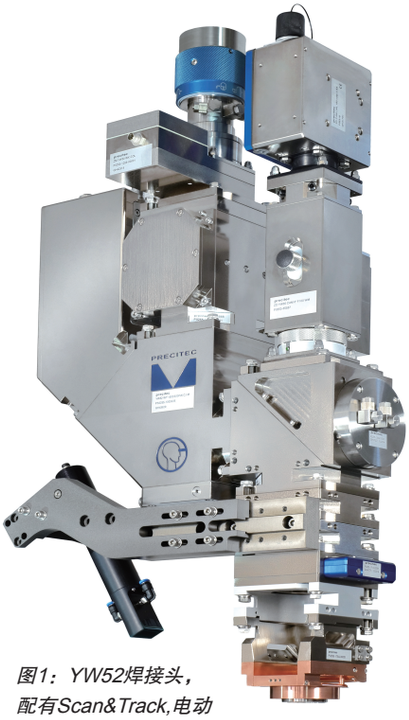


图1：YW52焊接头，配有Scan&Track,电动调节准置和高清照相机

以实现强固搭接。值得一提的是，搭建间隙可达到上板板厚的一半（图3）。

当触指焊和铝硅填丝焊接工艺出现后，5XXX / 6XXX铝合金替代了钢板成为汽车门板的首选型材。为了解决工艺短板和减少生产节拍时间，德国奥迪工厂使用了WeldMasterScan&Track进行远程焊接。这套系统使整个成本降低了95%，不仅减少了生产时间，而且生产过程中的热输入由最初62千焦耳/米下降至33千焦耳/米，从而生产过程中的二氧化碳的排放也降低了24%。

WeldMaster Monitor焊中监测

由于各个焊接面的不规律导致了焊缝质量的不一致，这点可以通过熔池的大小来监测。焊前先预设熔池的大小，焊接中通过分析由同轴或旁轴照相机拍摄高精度的照片，来监测焊接的质量。WeldMaster Monitor可连续监测熔池的形状。这一点二极管传感器就无法做到。焊缝长度、宽度或者整个表面的参数波动都是分析焊接质量有价值的信息。

由于汽车齿轮箱的对接焊中只能允许极小的水平光束位置偏移，所以在线

的熔池分析最常应用在此工艺中。一旦激光焦点发生偏移，熔池大小监测系统就会发出报警提示。

WeldMaster Inspect焊后检测

焊缝表面的平整度是衡量焊接质量的重要指标之一。因此可以通过预设焊缝表面质量参数来对实际焊接结果进行比较。焊后检测可以在线同步进行或者离线独立操作。

在WeldMaster Inspect系统中，传感器有几种不同的工作方式。最精简的配置是由一台同轴照相机对焊前和焊后进行监测控制。此种情况是截取ROI图像来分析数据和执行控制。

WeldMaster Inspect可以外接两个CMOS照相机，用来测量工件距离，并且能够精确抓取3D面的形状。还有一种LED照相机可以同时测量2D和3D面的距离，且能够独立从不同角度进行拍摄。其首次实现了对焊缝表面缺陷的高精度照片的拍摄。

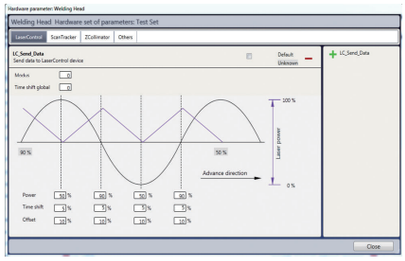


图2：用户界面显示光束摆动和激光功率单元

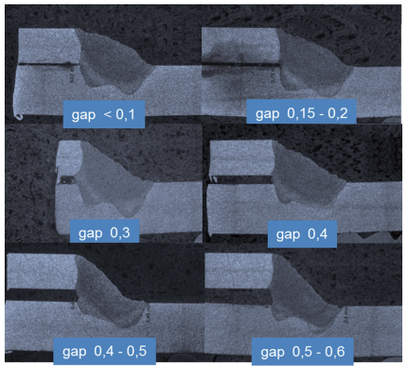


图3：激光功率闭环控制以实现对接焊和角焊（来源：德国奥迪）

小结

WeldMaster是一个模块化、可扩展的软硬件一体的系统平台，能够很好的满足高品质焊接需求。此外，激光功率与振镜的闭环控制、覆盖焊前、中、后的视觉系统，以及高精度的图像处理单元这些创新开启了激光焊接的新纪元。

WeldMaster适用于大部分的汽车焊接工艺。其自我检查功能保证了系统的可靠性，同时远距离的工作避免了污染等问题。即插即用，便于集成和易于操作使WeldMaster能为高端焊接任务提供了最先进和多样化的系统解决方案。并且能与LWM（Laser Welding Monitor）、IDM(In-process Depth Meter)集成在一起使用。

Thibault Bautze，任职于德国普雷茨担任激光焊接系统产品经理一职。长期从事激光焊接系统研发项目并且拥有丰富的现场数据处理经验。

ILSC

FSLAB-PICO50
超短脉冲皮秒激光器

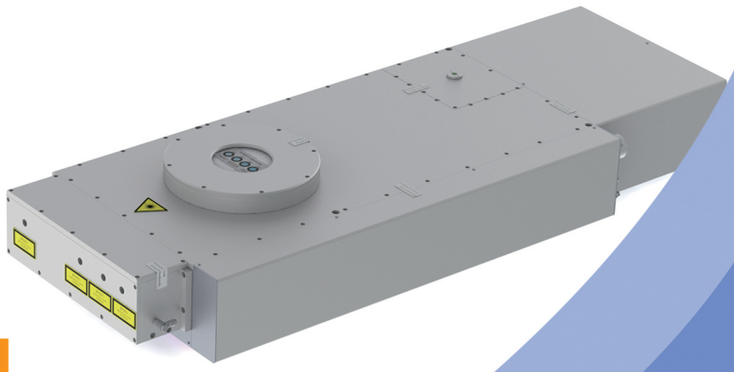
LAIZE

产品特点：

高平均功率：≥50w@500kHz
高光束质量：M2<1.5
重复频率：0-1MHz
用户自定义的“burst”模式
脉冲宽度：≤15ps
工业设计标准，保证长期可靠性

应用领域：

玻璃、蓝宝石、硅片、陶瓷、金刚石、各种金属以及各种薄膜以及柔性电路的切割、钻孔、开盲槽、划片；应用行业包括——移动通讯制造、LED照明、太阳能光伏电池、医疗、汽车、锂电池制造、表面微构造等领域。



可接受更高功率的激光器定制

北京莱泽光电技术有限公司

地址：北京市顺义区顺强路1号
电话：010-64318615
手机：13311296205
邮箱：sales@lzlaser.com

ACCESS 查询号码 LA0189

www.lzlaser.com

三菱电机光纤激光加工机中的最新技术

作者：三菱电机自动化（中国）有限公司　激光加工机科　郭澄若
三菱电机株式会社名古屋制作所　激光制造部　齐藤　善夫

前言

激光加工机以其任意轨迹的切割能力和在加工中厚板的能力在工业领域从试制品到批量生产都发挥着重要作用。目前，其应用台数无论在欧美日还是在中国都超过了数控冲床。而因电价以及人工费的上升，使得各工业品制造企业都必须考虑缩短工人劳动时间、降低机床的运行成本以及提高生产效率等问题。因而节能且在加工金属材料上具有优异特性的光纤激光加工机成为了人们瞩目的对象。为此国内外的各激光厂商推出了各种形式和性能且具有各自不同特点的光线激光加工机。在此将三菱电机光纤激光加工机所投入的最新技术及其应用后的与众不同介绍如下，抛砖引玉。

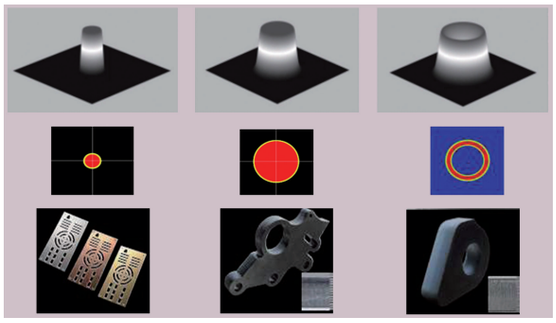


图1.　薄板加工时　　中厚板加工时　　厚板加工时

方式	以往技术　4kW	新技术　4kW
切割面		
加工速度	600mm/min	700mm/min
面粗糙度	98μm	52μm
坡度*1)	0.60mm	0.27mm

图2. 传统光纤厚板切割与三菱电机光纤厚板切割比较（使用材料：碳钢25mm）。

1. 几项新技术介绍

引入变焦式加工头技术改变光径以适应各种板厚的加工

众所周知，由于光纤激光的波长短，较易被金属吸收，加之其光径较小，因而在金属薄板的加工中相较CO_2激光更为有优势。然而也正是缘于此，光纤激光在中板特别是厚板加工时就会显得力不从心。三菱电机开发了自主产权的变焦式的加工头，根据加工对象的不同自动的调节光束光径（即光能量分布状态），提高了加工厚板的质量和能力。而其良好的防尘结构设计，也确保了加工头在实际应用中发挥出作用。图1.示出了加工不同板厚时光径的变化能量分布图。图2.示出了传统的光纤激光与三菱电机光纤激光在加工厚板时切割面的比较。非常明显，三菱电机光纤激光加工机的加工品质得到了极大的提高。同时，这项技术也使得在加工薄板时的加工速度更为快捷。

F-CUT应用范围的扩大

F-CUT技术是三菱电机基于最先进的信息交换技术而开发的在各轴运动中，适时开关光束从而节省机床的瞬停时间，达到真正的高效率的控制技术。图3.示出了F-CUT技术的概念。现在这项技术与另一项三菱电机新技术FRG（F-cut Rout Generator）---- 即自动选择最短加工路径和最佳加工顺序的结合，使F-CUT的光束OFF时间大大减少。此外，随着所采用的光纤激光发振器功率的提高，F-CUT的适用板厚也相应提高。三菱电机光纤激光加工机eX-F40（4KW）的F-CUT适用板厚达到了9mm，极大地提高了中板的加工效率。

磁性加工头碰撞保护机构

随着加工机的进给速度乃至加工速度不断提高，有些过去对加工效率影响不太显著的问题在当前就变

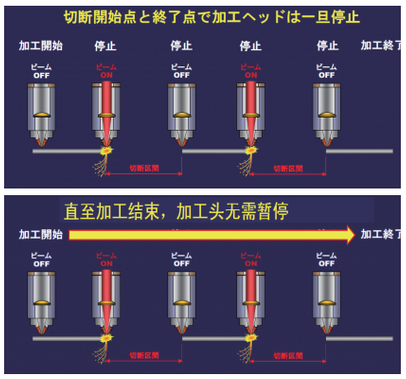


图3. F-CUT技术的概念和原理。

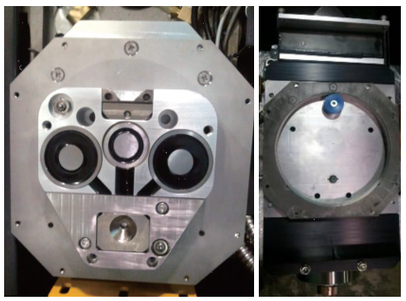


图4. 加工头固定机构。

得异常深刻。其中最为典型的是加工头与切割后翘起的工件碰撞所带来的等待加工头恢复时间问题。这个时间的短缩对提高加工机使用率和加工效率举足轻重。

一直以来三菱电机激光加工机所采用的是非对抗式加工头固定机构。即一旦发生加工头强烈碰撞，固定加工头的树脂螺栓会变形甚至断裂，恢复时只要花十数分钟更换4只树脂螺栓即可全面恢复加工状态。这种机构的最大优点是不会对加工机的Z轴产生任何伤害，避免了修复Z轴的昂贵费用支出。在三菱电机光纤激光加工机上，考虑到加工头碰撞将更为频繁。为了更进一步缩短因加工头恢复所需时间，三菱电机采用了磁性吸附式加工头固定机构。图4.示出了加工头固定结构。图5.给出了简单操作即可恢复加工头的示意图。这在高速加工中起到了非常好的效果，得到了客户的普遍好评。

小结

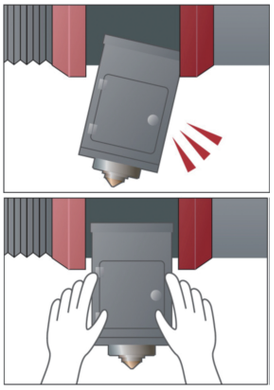


图5. 碰撞后简单恢复示意图。

三菱电机激光加工机是应时代要求不断进步的先进产品。40多年的技术积累使得在激光加工机整体技术（研发技术、制造技术、控制技术、加工应用技术）上有着完整的经验和保证体系。近年推出的三菱电机光纤激光加工机ML3015eX-F系列，不仅具备采用光纤激光发振器所追求的相比CO_2激光的加工成本方面的优越性，还融合了多年积累的应用技术，使其相比其他的光纤激光加工机更加能满足客户对加工材料的广泛要求。 ILSC

卓镭激光
GRACE LASER

蓝宝石切割理想光源
BLAZER-50工业级皮秒激光器

卓镭激光官方微信
欢迎关注获取更多资讯！

北京卓镭激光技术有限公司
地址：北京市顺义区空港工业区B区巨鸿大厦B座310
电话：010-60401920
邮箱：sales@gracelaser.com
网址：www.gracelaser.com

ACCESS 查询号码 LA0191