先进激光加工技术在焊接行业的应用

魏丽华[1]，暴宋杰[1]，张维官[2]

1.中国机械工程学会/北京中机天达科技发展有限责任公司 北京·埃森焊接与切割展览会组委会 北京 100036

2.机械工业信息研究院金属加工杂志社 北京 100037

摘要：2023年6月27-30日，作为全球两大专业焊接展览会之一，第26届北京·埃森焊接与切割展览会在深圳国际会展中心隆重召开，为焊接新工艺和新技术的发展与应用搭建了良好的交流平台。介绍了激光加工技术中涉及到的激光器、激光焊接工艺、手持激光焊接设备等最新的工艺和产品的特点和应用情况。通过展会的信息表明，激光加工技术将越来越快地在焊接行业中应用，促进企业的高质量焊接。

关键词：焊接；激光焊；激光器；手持激光焊；焊接工艺

光学技术的快速发展，快速推动了激光加工技术的进步与应用，特别是超快激光器、飞秒激光器、蓝光激光器等产品的面世，对于激光加工在焊接领域的高效焊接起到了巨大的作用。

由于激光加工具有光点小、能量集中、热影响区小、不接触工件及对工件无污染等特点，因此，涌现出激光切割、激光焊接[1]、激光复合焊[2]、激光增材[3]等各种形式的新工艺新技术，在汽车制造、轨道

的途径，提高了企业生产率。通过介绍协作机器人在汽车外观检测与HUD检测中的应用状况，对协作机器人在整车制造中的优势与未来应用提出发展方向，有助于汽车行业及各类制造业在未来更加快速地走向智能制造，实现国家对制造业智能化、自动化等的相关要求。

参考文献：

[1] ZANCHETTIN A M, ROCCO P, CHIAPPA S, et al. Towards an optimal avoidance strategy for collaborative robots[J].Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2019（59）：47-55.

[2]吴其林，赵韩，陈晓飞，等.多臂协作机器人技术与应用现状及发展趋势[J/OL].机械工程学报，2023（15）：1-16.

[3]闵小翠，李鹏.基于D-H法的农业采摘机器人运动协作控制系统设计[J/OL].计算机测量与控制：1-8.http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4762.TP.20230816.1240.034.html.

[4]贾计东，张明路.人机安全交互技术研究进展及发展趋势[J].机械工程学报，2020，56（3）：16-30.

交通、航空航天等众多行业得到了快速的应用。基于此，越来越多的激光加工相关的研制企业涌现出来，为装备制造企业的快速、高效、智能化的激光加工提供了各种各样的产品和解决方案。

激光器促进焊接加工技术快速进步

激光器作为激光加工的“心脏”，对激光加工能够在制造业中的快速推广起到关键性作用，因此，激光器的功率、光束直径、光斑模式及噪声等性能，以及小型化、便携化等是激光器企业最重要的研发方向。因此，行业知名的IPG、锐科、凯普林、创鑫、通快等激光器企业都展示出了公司最新研究成果。

（1）凯普林闪电系列激光器　凯普林作为国内激光器知名企业之一，一直致力于激光器的研发及应用效果，其闪电系列光纤激光器，主打“更小更轻更智能”，是最小的激光器之一。其中，闪电1000W光纤激光器更是仅有笔记本电脑大小（见图1）。“Less is more”是闪电系列的极限设计理念，通过对泵浦源、芯片和水冷板的一体化设计，旨在让光纤激光器剔除多余构造，打造极限空间，从而减小体积、减小质量，便于终端用户的应用集成。凯普林闪电系列12kW光纤激光器，拥有独特的抽屉式设计，比老款体积减小74%，质量减少51%，更便携，应用场景也更多元。

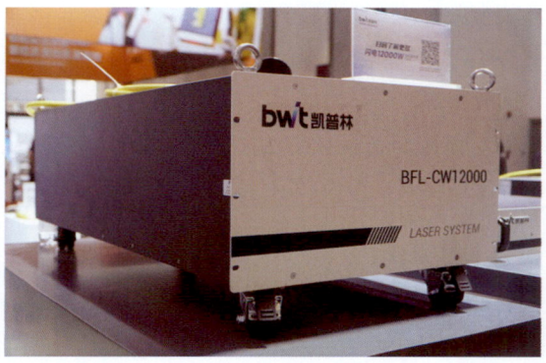


图1　凯普林闪电系列激光器

此外，闪电系列还具有高功率、高亮度、智能化、性能稳定等特征，针对市场同类产品体积冗余、笨重的痛点具有较强的竞争优势。目前，闪电系列1000W、1500W、2000W及3000W主要应用于手持焊领域，闪电系列6000W、12kW侧重于激光切割领域，对不锈钢、碳钢以及铝铜等金属材料都可实现精细加工（见图2）。



图2　激光器应用样品

（2）锐科激光器　锐科是国内激光器的头部企业之一，其产品的应用领域也是涵盖了汽车制造、机械制造、航空航天等。锐科有3款产品值得关注：旗帜带光闸环形光斑ABP4000/2000激光器、蓝光500W光纤激光器和250W MOPA脉冲光纤激光器。

旗帜带光闸环形光斑ABP4000/2000激光器相比普通光纤激光器，采用优化升级的泵浦源、有源光纤等核心器件，配置高耦合效率、可高频次切换的分时光闸，焊接无飞溅，避免焊后处理，显著提升良率，实现更快焊接速度、更高焊接质量，广泛应用于铝电池、汽车零部件、电子元器件制造等。

蓝光500W光纤激光器（见图3）对铜等有色金属的吸收率是红外的12倍，复合焊接能够实现2～5mm以内紫铜对接焊，抗拉强度均可达到母材强度的67.7%以上，最大抗拉强度可达母材的81.3%。通过高速摄像观察，蓝光-光纤复合焊接紫铜过程中熔池形成非常稳定，无飞溅。主要应用于电池铜箔的软连接焊接、电池极柱的焊接、电池紫铜位置焊接、电动机铜扁线的焊接、铜丝导线的焊接、紫铜水冷装置的焊接及黄铜阀门焊接等。



图3　蓝光500W光纤激光器

（3）IPG YLS-ECO系列 在IPG众多的产品和技术解决方案中，YLS-ECO系列高效节能型高功率光纤激光器（见图4）就是其中的一款，该激光器是IPG在绿色制造理念下研发推出的创新产品。在IPG独有技术平台的支持下，YLS-ECO系列激光器电光转换效率可达50%以上，并且拥有出色的长期功率稳定性，确保在所有高功率应用（包括切割、焊接、钎焊、熔覆和表面处理）中，能够年复一年地保持其卓越加工能力，为最严苛的应用提供长期稳定激光功率，帮助高端制造企业摆脱低效和高耗能的困扰，进而利用高效技术实现绿色制造。



图4 YLS-ECO系列高效节能型高功率光纤激光器

总之，焊接与切割作为激光加工应用的主要工艺，激光器的优劣是企业重点考虑的因素之一。因此，激光器企业除了研发各种高性能的激光器之外，也在贴近用户，针对各种应用场景，研发各种解决工艺方案。

先进的激光焊接工艺助力企业高效焊接

当前，激光焊接工艺主要有激光焊、激光-MIG复合焊、激光-MAG焊及激光熔覆等[1, 4-6]，而激光复合焊在行业中的应用越来越成熟，因此，激光电弧复合焊接发挥作用将会越来越多。激光焊接工艺的快速应用，也促进了激光焊接相关的企业的发展，涌现出一批在国内比较知名的企业，比如华工激光、大族激光、铭雷激光、鑫全利、天一及创鑫激光等，铭雷激光推出了一款30 000W高功率激光电弧复合焊接系统；创鑫激光发布了双光束（环形光斑）系列激光焊接系统。

1）30 000W高功率激光电弧复合焊接系统。铭雷激光的该焊接系统采用高功率激光与传统焊接相结合，激光束和电弧在共同的熔池中相互作用，相互影响和支持，弥补彼此焊接工艺的缺陷，充分发挥激光深熔和弧焊盖面的优势，有效提升焊接质量和稳定性，降低制造成本。该激光电弧复合焊系统的优势：复合焊接强度高、速度快、热输入小、变形量少；30mm不需开坡口，减少送丝填料消耗；焊缝桥接大、间隙容忍性强；新型、智能、节能、自动化，如图5所示样机。

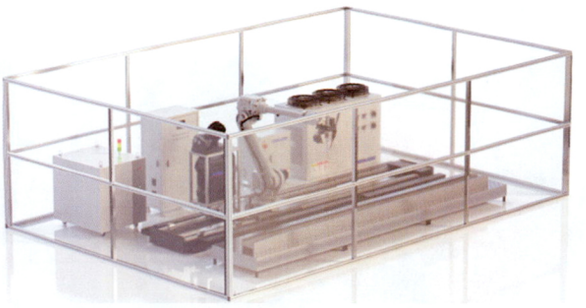


图5 高功率激光电弧复合焊接系统

2）双光束（环形光斑）系列激光焊接系统。该系统是创鑫激光针对新能源电池一站式激光解决中的核心主推产品。功率段为3000W+3000W和2000W+2000W，集激光器控制系统于一体，采用环形光斑设计，可有效抑制飞溅，能够得到更好的光束质量。功率输出稳定性高，功率波动<1.5%；具备功率监控与功率补偿功能，光束质量一致性强，补偿节拍在0.3ms以内。

总之，激光复合焊接技术是主要以通过激光器+协作机器人或工业机器人+焊机等方式组合起来的一整套焊接系统，随着智能化焊接技术的发展，未来激光复合焊接将会越来越智能，给企业带来更加高效、环保的焊接生产方式。

手持激光焊加快手工焊接变革

如果说激光复合焊会替代传统的焊接工艺，那么，手持激光焊的出现，将会加速传统弧焊工艺向激光焊工艺的推进，因此，也加速了手持激光焊的发展。据了解，目前生产或研制手持激光焊设备的企业有1000余家，如此庞大的企业规模，必将会进一步促进手持激光焊工艺的技术进步和应用。第26届北京·埃森焊接与切割展览会上，涌现出了一大批从事手持激

光相关的企业，比如桓日激光、凯普林、IPG、铭雷激光、麒麟激光、麦格米特及瑞凌等。

1）桓日激光的红桐系列新品A1MD30手持激光焊。它采用三控联调一体化，激光器、焊枪、送丝机三孔合一，仅通过主机上的屏幕就能控制整个系统并实现联调，自动调用最优焊接参数；其智能化与自动化使焊接变得简单易学，大大降低了焊接入门门槛，可帮助企业大大降低用工成本。此外，红桐A1MD30还可以焊多种金属，如铝合金、黄铜、紫铜等高反材料，且焊缝整洁美观、熔深高，如图6所示。



图6　桓日激光手持焊接机演示

2）麦格米特手持式激光焊接系统。该设备配备1.5kW/2.0kW激光器（见图7），适用于5mm以下薄板焊接，比如钣金、汽车内饰、灯具等行业。具有以下特点：①高稳定性激光发生器，严格指定核心器件，输出功率稳定，参数波动极小；②轻便式手持焊接枪头及送丝系统，故障率低，操作简单，维护方便；③双温双控智能冷却系统，可靠稳定；④一机多用，支持手持焊接、机器人焊接、激光焊缝清洗机简易激光切割等功能；⑤具有效率高、变形小、免打磨、上手快等特点。



图7　麦格米特手持激光焊机

手持激光焊机的爆发式增长，说明了未来手持激光焊将会越来越适合焊接的发展方向。

结语

激光加工技术作为当前焊接技术最具前沿性的一种先进焊接工艺，随着激光器、焊机、控制系统 视觉跟踪等技术的进步，越来越受到企业的重视。因此，激光加工开始从薄板加工向中厚板方向发展，未来必将更广泛的改变企业的生产方式。

参考文献：

[1] 王赞，李中成．激光焊接技术的应用及其进展研究[J]．科学技术创新，2018（22）：188-189.

[2] 张婧，杜伟，王孟果，等．钛合金激光-MIG电弧复合焊接头组织性能[J]．金属加工（热加工），2023（4）：10-13，27.

[3] 艾岳巍，王亿元．激光增材制造技术在轨道交通装备中的应用及发展趋势[J]．金属加工（热加工），2023（7）：1-11，39.

[4] 张培磊，刘庆永，茆宏兆，等．激光-电弧复合焊接接头缺陷的研究现状[J]．金属加工（热加工），2023（1）：31-34.

[5] 赵孔标，李利娜．激光-MAG复合焊接工艺及焊接接头性能分析[J]．金属加工（热加工），2021，50（6）：93-96.

[6] 李巧艳，赵昕，辛志彬，等．6082铝合金激光-MIG复合焊接工艺及接头组织性能[J]．应用激光，2021，41（6）：1168-1177.