JUNE 2019

工业激光应用

INDUSTRIAL LASER APPLICATIONS • CHINA

激光：制造业的一种通用工具 04

光纤激光技术使零间隙镀锌钢板焊接成为可能 10

极高速激光材料沉积征服行业应用 16

用于汽车动力总成生产的先进制造解决方案 30

免费索阅

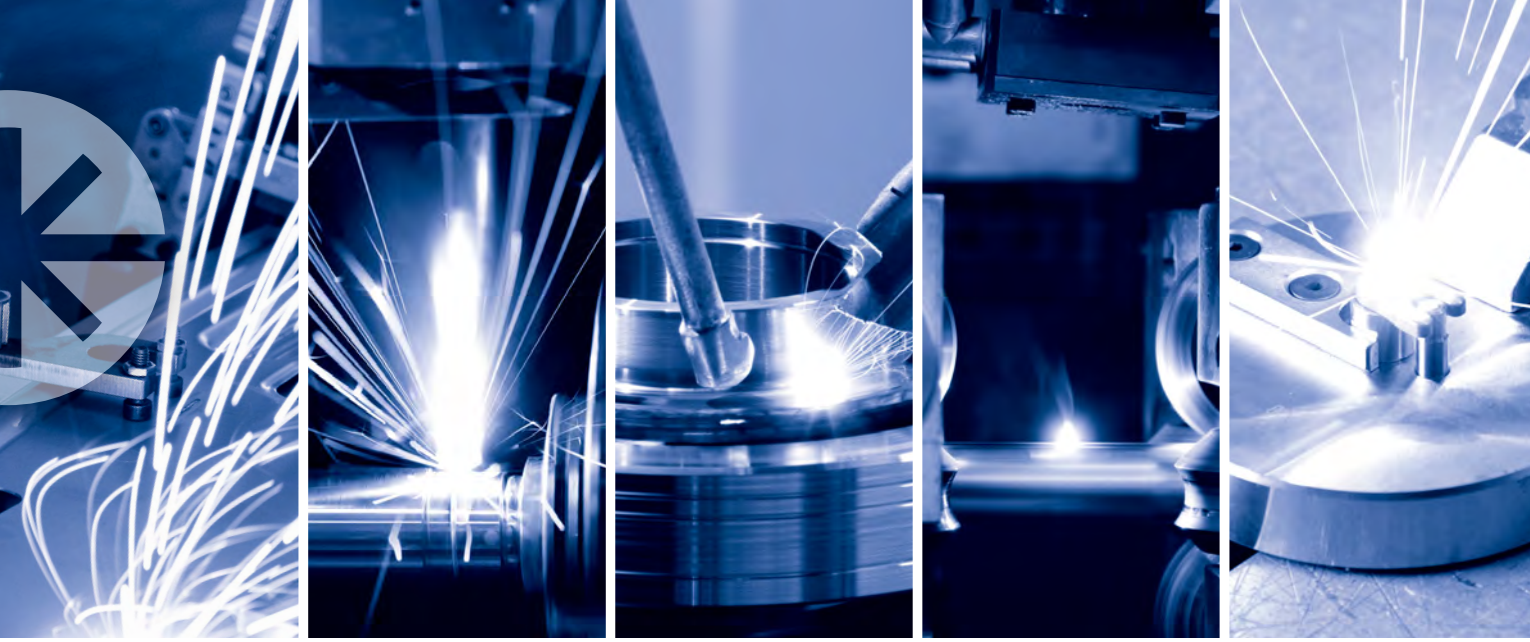
绿光波长激光焊接助力电动汽车应用 24

www.industriallaserapplications.cn

ENDEAVOR BUSINESS MEDIA

ACT

PennWell®



领先创新的
激光焊接技术

全新HighLight FL-ARM光纤激光器将高功率与独特的可调节环形光斑模式技术完美结合，呈现全新功率输出模式。针对关键且复杂的材料焊接，可以实现高速度、高产能以及优异的加工质量且无需后处理加工。动态、可调节、多用途-ARM将出色应对各种高难度焊接的挑战。

了解更多ARM技术：go.coherent.com/HighLightFL-ARM



COHERENT®
Superior Reliability & Performance

Aerotech全新的Nmark和AGV-HPO扫描振镜电机

精准• 稳定 • 灵活 • 可细分 • 经济

高精度
1微米精度

高稳定性
兼顾长时间工性能

配置灵活
10到30mm孔，
兼容不同波段激光波长

易于集成
无布线干扰激光束运动

经济实惠
开放式框架设计降低成本



AEROTECH
www.aerotech.com • +86 (21) 5508 6731

AF0419B-LPM-ZH-CN

工业激光应用

INDUSTRIAL LASER APPLICATIONS · CHINA

China Office

ACT International
www.actintl.com.hk

中国/香港特别行政区 China / Hong Kong SAR
电话 (852) 2838 6298
传真 (852) 2838 2766
地址 香港九龙长沙湾青山道478号
百欣大厦13楼B室
出版总监 麦协林 Adonis Mak
电邮 adonism@actintl.com.hk
中国区总经理 徐旭升 Michael Tsui
电邮 michaelt@actintl.com.hk
中国版主编 黄莺 Katie Huang
电邮 katieh@actintl.com.hk

免费索阅咨询
电话 (86) 755 2598 8571
传真 (86) 755 2598 8567

US Office

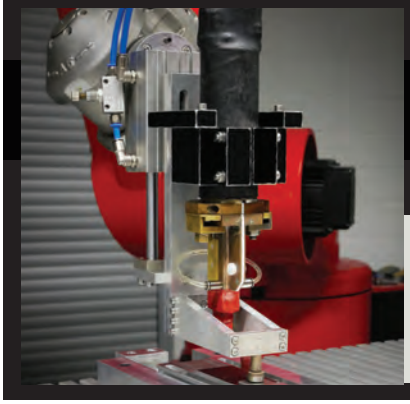
Endeavor Business Media, LLC
www.endeavorbusinessmedia.com

Editorial Offices Industrial Laser Solutions For Manufacturing
61 Spit Brook Road, Suite 501, Nashua, NH 03060
电话 (603) 891-0123
传真 (603) 891-0574
网址 www.industrial-lasers.com

Vice President/Group Publisher Alan Bergstein
电话 (603) 891-9447
电邮 abergstein@endeavorb2b.com
Editor-in-Chief David A. Belforte
电话 (508) 347-9324
传真 (508) 347-7737
电邮 dbelforte@endeavorb2b.com
Associate Editor Lee Dubay
电话 (603) 891-9116
电邮 leed@pennwell.com
Editorial Assistant Virginia E. Belforte
International Editorial
Advisory Board Bo Gu – PhD, MA, MsC
(laser processing in China)
Geoff Shannon – Ph.D., BS
(laser welding, micromachining)
Stan Ream – MS, BS
(laser materials processing)
Ronald D. Schaeffer – PhD, MS, BS
(laser micromachining)
Milton S.F. Lima – Ph.D., MS, BS
(laser processing in South America)
Kunihiko Washio – PhD, MS
(solid-state laser materials processing in Japan)
Anant Deshpande – MS, MBA, M.Tech
(laser processing in India)
Brian Victor – MS, BS
(laser materials processing)
Andreas Thoss – PhD
(laser processing in Europe)
Creative Director Meg Fuschetti
Production Manager Sheila Ward
Senior Illustrator Christopher Hipp
Audience Development Manager Debbie Bouley
Ad Services Coordinator Alison Boyer Murray
电话 (918) 832-9369
电邮 alisonb@pennwell.com
Marketing Comm. Manager Adrienne Adler

CORPORATE OFFICERS
Chief Executive Officer Chris Ferrell
Chief Revenue Officer Scott Bieda
Chief Operating Officer Patrick Raines
Chief Technology Officer Eric Kammerzelt
Chief Marketing Officer June Griffin

© 2019 版权所有 翻印必究



样刊

JUNE 2019

9月 正式出版
欢迎免费索阅

用于金属-热塑性材料连接的机器人引导点焊枪（来自Fraunhofer IWS）

技术报道

4 激光：制造业的一种通用工具
作者：Thomas Graf, Marwan Abdou Ahmed, Peter Berger, Volkher Onuseit, Rudolf Weber
德国斯图加特大学IFSW研究所

10 光纤激光技术使零间隙镀锌钢板焊接成为可能
作者：Takashi Kayahara, Ryosuke Nishii, Tomomichi Yasuoka，Takashi Shigematsu
日本古河电工公司

16 极高速激光材料沉积征服行业应用
作者：Thomas Schopphoven, Andres Gasse, Gerhard Backes
德国弗劳恩霍夫激光技术研究所激光材料沉积小组

应用报道

24 绿光波长激光焊接助力电动汽车应用
作者：Henrikki Pantsar，Eva-Maria Dold，Marc Kirchhoff，Oliver Bocksrocker
德国Trumpf公司

30 用于汽车动力总成生产的先进制造解决方案
作者：Andreas Mootz博士
德国EMAG汽车公司管理总监

34 激光热处理提升汽车模具制造质量
作者：Aravind Jonnalagadda *Synergy Additive制造公司技术总监*
Marcus Stackpoole *Synergy Additive制造公司CEO*
Matthew Stackpoole *Synergy Additive制造公司研发经理*

40 激光连接工艺制造金属-热塑性材料混合零件
作者：Annett Klotzbach
德国弗劳恩霍夫物质与光束技术研究所

46 激光光束整形的创新应用
作者：Sami Laroui
法国CAILabs公司售前工程师

50 新闻 **52** 观点 过去和现在 **56** 广告索引

关于《工业激光应用》

《工业激光应用》（Industrial Laser Applications China）杂志是全球著名的Industrial Laser Solutions for Manufacturing杂志中文版，原版由Endeavor商业媒体公司拥有。《工业激光应用》杂志将于2019年9月由雅时国际（ACT International）商讯公司根据Endeavor 商业媒体公司的授权协议推出，杂志内容获准译自Industrial Laser Solutions for Manufacturing杂志及其官方网站。

《工业激光应用》杂志是面向中国激光材料加工行业中高水平、决策型专业制造人才的专业杂志。它将为中国读者提供来自全球以及中国的及时、实用和有深刻见解的内容。杂志内容来源于Industrial Laser Solutions for Manufacturing，并由我们的本地编辑辅以内容。

《工业激光应用》杂志将每隔一个月以简体中文出版，向中国有资格的专业人员免费发行，纸质版发行超过1万，数字版发行为2万。通过网站，我们正在向更广泛的读者群提供内容。

ACT International，中国香港九龙长沙湾青山道478号百欣大厦13楼B室
Endeavor Business Media, 331 54th Ave N. Nashville, TN 37209, USA.

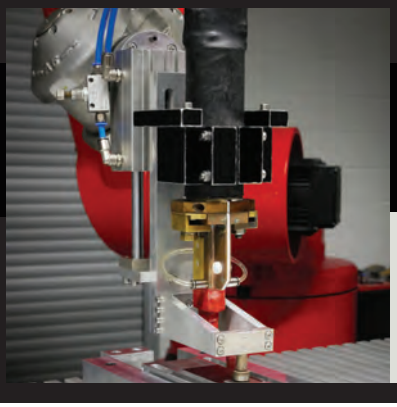
工业激光应用 INDUSTRIAL LASER SOLUTIONS

工业激光应用

INDUSTRIAL LASER APPLICATIONS • CHINA

Sample Issue

JUNE 2019



A robot-guided spot-welding gun for metal-thermoplastic connections is shown. (Courtesy:Fraunhofer IWS)

TECHNOLOGY REPORT

4 The Laser: One Universal Tool for Manufacturing

Author : Thomas Graf, Marwan Abdou Ahmed, Peter Berger, Volkher Onuseit, Rudolf Weber
Institut f ü r Strahlwerkzeuge (IFSW) at the University of Stuttgart

10 Fiber Laser Technology Enables Zero-Gap Galvanized Steel Sheet Joining

Author : Takashi Kayahara, Ryosuke Nishii, Tomomichi Yasuoka , Takashi Shigematsu
Furukawa Electric, Tokyo, Japan

16 Extreme High-Speed Laser Material Deposition Conquers Industry

Author : Thomas Schopphoven, Andres Gasse, Gerhard Backes
Laser Material Deposition Group at Fraunhofer Institute for Laser Technology (Fraunhofer ILT), Aachen, Germany

APPLICATION REPORT

24 Laser Welding at the Green Wavelength Benefits Electrified Mobility Applications

Author : Henrikki Pantsar, Eva-Maria Dold, Marc Kirchhoff, Oliver Bocksrocker
Trumpf, Ditzingen, Germany

30 Advanced Manufacturing Solutions for Automotive Powertrain Production

Author : Dr.Andreas Mootz
Managing director of EMAG Automation, Heubach, Germany

34 Laser Heat Treatment Improves Quality in Automotive Die Manufacturing

Author : Aravind Jonnalagadda
Technical Director ,Synergy Additive

Marcus Stackpoole
CEO, Synergy Additive Manufacturing LLC

Matthew Stackpoole
R&D Manager, Synergy Additive Manufacturing LLC

40 Laser Joining Process Yields Metal-Thermoplastic Hybrid Parts

Author : Annett Klotzbach
Group Leader, Bonding and Composite Technology at the Fraunhofer Institute for Material and Beam Technology (Fraunhofer IWS), Dresden, Germany;

46 Laser Beam Shaping for Innovative Applications

Author : Sami Laroui
pre-sales engineer at CAILabs, Rennes, France



DABbling

A blog by **DAVID A. BELFORTE**

David shares his insights and opinions on current activities affecting industrial laser materials processing.

www.industrial-lasers.com/dabbling.html

50 NEWS

52 My View
Then and Now

56 Ad Index

Inaugurate Issue
September 2019

Free Subscription

About Industrial Laser Applications China

Industrial Laser Applications China, the Chinese edition of the world famous Industrial Laser Solutions for Manufacturing magazine, owned by Endeavor Business Media. Industrial Laser Applications China magazine, will be launched in September 2019 by ACT International under the licensing agreement granted by Endeavor Business Media, authorized to translate exclusively content from Industrial Laser Solutions for Manufacturing magazine and its official website.

Industrial Laser Applications China is the professional magazine for high-level, decision-making audience of manufacturing professionals within the laser materials processing industry in China. It provides comprehensive global and China coverage of timely, practical, and insightful content for our audiences in China. The editorial content is sourced from Industrial Laser Solutions for Manufacturing and is supplemented by content generated by our local editors.

Industrial Laser Applications China will be published every other month in simplified Chinese and distributed to over 10,000 in print magazine and 20,000 in digital magazine free-of-charge to qualified professionals in China. Through our website we are providing our content to an even larger audience base.

ACT International, Suite B, 13th Floor, Por Yen Building, 478, Castle Peak Road, KLN, Hong Kong.. SAR, China

Endeavor Business Media, 331 54th Ave N. Nashville, TN 37209, USA.

工业激光应用 INDUSTRIAL LASER SOLUTIONS

激光：制造业的一种通用工具

The Laser：One Universal Tool For Manufacturing

激光在工业加工领域的未来会是怎样?

作者：Thomas Graf, Marwan Abdou Ahmed, Peter Berger, Volkher Onuseit, Rudolf Weber
德国斯图加特大学IFSW研究所

被宣称为第四次工业革命的最有趣、但也最具挑战性的方面之一，是大规模个性化需要灵活和可重新配置的生产系统。[1]实际上，这是工业革命（所谓的工业 4.0）首次已经提前公布，但对普遍适用且灵活的生产工具的需求是激光器的巨大机会。



图1：激光可用于材料加工应用，涵盖德国工业标准DIN 8580定义的整个工艺范围。

几十年来，众所周知，激光是一种非常灵活的材料加工工具，可用于满足各种制造应用，实际上涵盖了德国工业标准 DIN 8580 定义的所有制造工艺。DIN 8580 将工艺分为模塑、成型、分离、连接，涂覆和改变材料特性（见图 1）。在 1992 年的教科书中，Helmut H ü gel 就这样说道：“激光在工业制造中的重要性，在于其在各种加工工艺方面的非凡灵活性，包括切割、烧蚀、钻孔、焊接、硬化、合金化、重熔，以及众多材料和不同的工件配置。”[2]



图2：德国斯图加特大学Institut für Strahlwerkzeuge（IFSW）开发的多程碟片激光放大器，核心是平面反射镜阵列，引导超短脉冲激光束在薄的碟片激光晶体上多次放大；[3,4]直到现在才通过这种方法展示了平均输出功率高达2.5kW，脉冲持续时间为几皮秒的输出。

这就是我们已经习惯于将激光视为通用生产工具的原因。但到目前为止，我们总是使用完全不同的激光来应对不同的应用。其主要原因是各种工艺的物理要求，特别是平均激光功率、强度、脉冲持续时间，峰值强度或峰值能量密度，以及有时波长也都是完全不同的。第二个原因是到目前为止，超短脉冲激光（USP 激光；也称为超快激光）的设置提供脉冲持续时间在皮秒或飞秒范围内的脉冲，与自由运行的脉冲或连续波（CW）激光显著不同。与此同时，这些不同激光器提供的平均功率相差几个数量级，因此使用 USP 激光进行微加工的效率，仍然远远低于使用高功率 CW 激光器进行宏观加工的效率。

扩展USP激光系统的功能

但所有这一切都将改变。由于 USP 激光器的平均输出功率刚刚进入数千瓦级（见图 2），[3–5]这种类型激光器的使用目前正在扩展到传统的微加工实验室之外，并且

全新一代

尖端科技

PROCUTTER 2.0 – 从优秀到卓越

MADE IN **GERMANY**

PRECITEC

全新一代**ProCutter 2.0**切割头，快速，简便，表现力更佳，更高效率更加持久 —最高激光功率**15kW**，可切平面和坡口；并以高品质高效率加工从薄板至厚板的所有材料。



了解更多详细信息!
http://www.precitec.de/en/products

普雷茨特天猫旗舰店配件火热促销中
打开淘宝扫一扫即可查看

普雷茨特 激光切割的精益之道

www.precitec.com

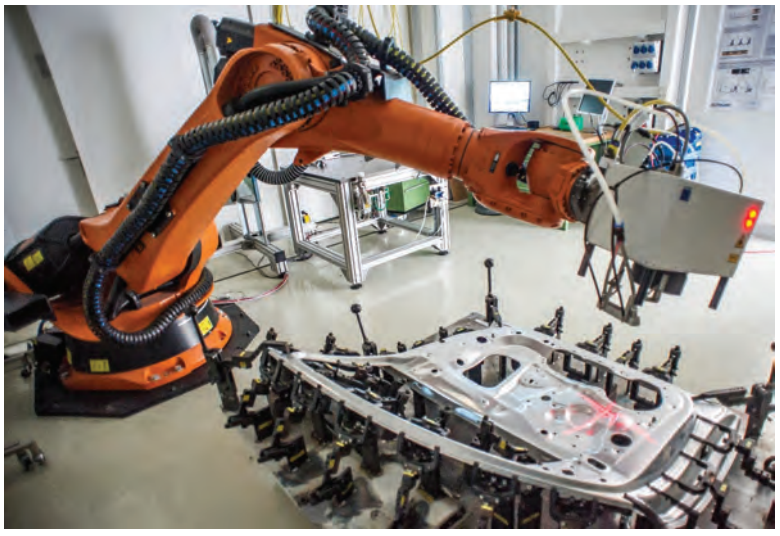


图3：显示了使用高功率CW激光进行远程焊接的典型安装（IFSW，斯图加特大学）；在未来，类似的装置也可能用于使用千瓦级USP激光进行高产的微材料加工。

确实征服了大规模的制造应用。[6,7] 因此，我们将看到更多基于激光的高精度超快材料加工在大型生产机器上进行，初看起来与我们用于切割或焊接等的经典宏观应用非常相似（见图 3）。因此，在同一台机器上执行所有已知激光材料加工应用的想法很自然。但这可以用同一台激光器实现吗？

实际上，这个问题并不新鲜。在 1993 年于慕尼黑举行的第 11 届国际激光大会上，Andreas Gebhardt 教授和他的同事们讨论了特别是中小型企业的期望，即所有不同的激光制造应用，应该使用同一个激光设备[8]，这种期望至今仍未实现。然而，观察现代高功率 USP 激光器的模块化结构，可以很容易地得出结论：应该可以设置能在不同工作模式之间切换的激光器，并且适用于所有常见的材料加工应用。

提供高平均功率的超短脉冲激光系统，都基于小的种子振荡器和一个或多个放大级（图 4）。重要的是，在高平均功率下，这些放大器（例如片状预放大器和多程碟片功率放大器）对于超短脉冲或 CW 辐射同样有效。因此，通过集成额外或更灵活的种子源，没有技术上的原因会阻碍我们建立一个可以在 CW 和脉冲或 USP 操作之间切换的单套激光系统。

初次尝试中，可以选择在同一系统中仅实现两个或更多种子源，例如超快速锁模振荡器和简单的 CW 激光器。由于大多数系统包括用于拾取发射到放大器链中的脉冲的脉冲拾取器，因此可以容易地使用脉冲拾取器在两个种子源之间切换。在更高级的方法中，可以使用一种可以在不同模式下（锁模、调 Q 和 CW）运行的种子源。由于可以在不同运行模式之间切换的二极管激光器已经可用，因此即使这种想法也不是一场革命。[9]

将当前大功率 USP 激光器的常用架构再往前推几步，我们可能实现一种激光器，可以提供几千瓦的平均输出功率，可以在不同的运行模式之间切换，从输出超短脉冲到常见的 CW 辐射。此外，可以从最先进的激光器获得高功率或高强度，也使得通过非线性光学效应的频率转换越来越有吸引力和有效（见图 5）。因此，我们不仅能够在不同的脉冲持续时间和 CW 运行之间切换，而且能够在不同波长之间切换。这将最终满足可以使用同一台激光器来实现大多数已知的材料加工应用的期望。

这通向一种通用机器，只需改变其操作参数，即可几乎执行一整套基于激光的加工工艺。这不仅是工业 4.0 的理想软件控制通用工具，将肯定也证实其他经常被引用的宣言，即 21 世纪将是光子的世纪。

迎接挑战

当然，在此过程中仍然存在一些挑战。一些仍然与光学有关，例如对高能超短脉冲的光纤光束传输的需求。其他人则关注系统工程。得益于激光源和激光材料加工物理基础知识的巨大进步，我们在很大程度上知道如何和采用

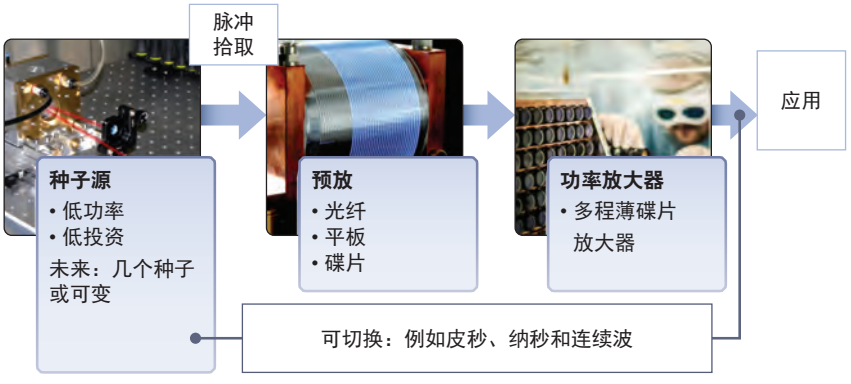


图4：该原理图显示了高功率USP激光器的典型架构；可以使用相同的方法来实现可以在不同操作模式之间切换的（单套）激光系统，因而适用于所有常见的材料加工应用。

1000 W @ 450 nm

laserline

使用蓝光高功率二极管激光器进行铜材料加工





AMTS

欢迎您前来参观我们的展台
2019年上海国际汽车制造技术与装备及材料展览会
2019年07月03-06日
展台号：W4-G08

Laserline推出了全球首台1kW蓝光二极管激光器，用于有色金属焊接，尤其是铜。
和其他激光源理念不同，这台二极管激光器可以直接发出450nm波长的激光，无需光光转换过程，
这使得加工效率大大提升并为新的加工方式提供可能性。并且铜材料的可控热传导焊接不易产生飞溅。

和所有Laserline 紧凑型LDM 系列激光器一样，LDMblue 1000-100 激光器也采用19英寸机架。

更多信息：**www.laserline.com**



利泽莱恩激光技术（上海）有限公司
上海市静安区沪太路1895弄51号16号楼
电话：+86 21 6266 2230 | www.laserline.com



图5：CW碟片激光器的腔内倍频。[10]

何种策略，以及哪种工艺参数来实现理想的工艺。在这里，瓶颈往往更像是机器本身。事实上，根据计划的应用，用于激光加工的机器应该快约 100 倍，或精确约 10 倍。

为了实现这一目标，我们应该停止将激光机器仅仅视为内置激光器的机床。相反，我们应该从头开始设计激光机器，视其为光子系统。这将需要新的科学方法和系统工程方法，并将成为激光制造未来成功的关键。■

参考文献

1. See http://bit.ly/ilsref1.
2. H. Hügel, Strahlwerkzeug Laser: eine Einführung, B. G. Teubner, ISBN 3-519-06134-1 (1992).
3. J.-P. Negel et al., Opt. Express, 23, 16, 21064–21077 (Aug. 2015); doi:10.1364/oe.23.021064.
4. J.-P. Negel et al., Opt. Lett., 38, 24, 5442–5445 (Dec. 15, 2013).
5. M. Müller et al., Opt. Lett., 43, 24, 6037–6040 (Dec. 15, 2018).
6. C. Freitag et al., Appl. Phys. A, 119,1237–1243 (2015); doi:10.1007/s00339-015-9159-3.
7. S. Faas, U. Bielke, R. Weber, and T. Graf, “Scaling the productivity of laser structuring processes using picosecond laser pulses at average powers of up to 420 W to produce superhydrophobic surfaces on stainless steel AISI 316L,” accepted for publication in Scientific Reports.
8. J. Gartzen, A. Gebhardt, and H. Lingens, Proc. 11th International Congress LASER, Munich, Germany (Jun. 1993).
9. See www.fbh-berlin.com.
10. T. Dietrich et al., Opt. Express, 25, 5, 4917–4925 (Mar. 6, 2017).

大视场
激光扫描切割解决方案



XL*SCAN* 组合的激光扫描解决方案是由SCANLAB公司和ACS运动控制公司联合开发的. 它创新的理念是靠扩展的工作区域 使能宽范围的激光打标和大型基板的加工



SCANLAB
innovators for industry

ACS MOTION CONTROL

ACS Motion Control China
,肇嘉浜路798号,301室
上海,200030, 中国

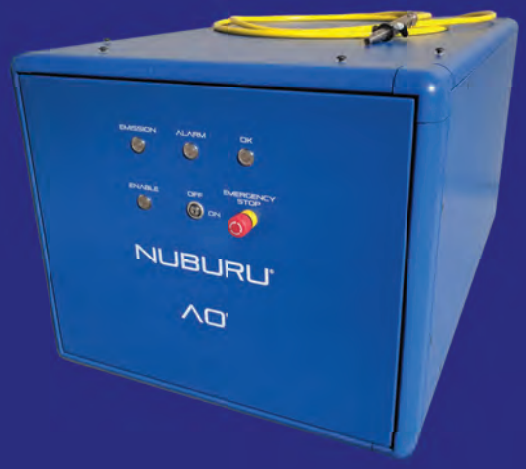
Tel: +86-21-54830819
Cell: +86-13601639842
www.acsmotioncontrol.cn

Smarter Motion

NUBURU®

The Blue Laser Company™

高功率，高亮度，蓝色激光解决方案

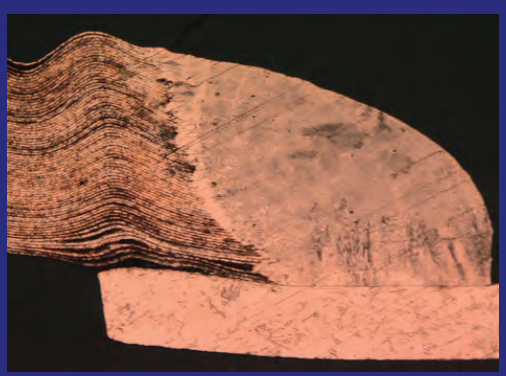


AO-500
500W – 400µm 光纤



AO-150
150W – 200µm 光纤

从金属箔到1mm的铜
几乎无缺陷/无飞溅的铜焊接



70x 8µm 金属箔到
254µm 铜



1mm 铜

www.nuburu.net • sales@nuburu.net

光纤激光技术使零间隙镀锌钢板焊接成为可能

Fiber Laser Technology Enables Zero-Gap Galvanized Steel Sheet Joining

光纤激光焊接镀锌钢采用激光光束模式控制

作者：Takashi Kayahara, Ryosuke Nishii, Tomomichi Yasuoka, Takashi Shigematsu 日本古河电工公司

镀锌钢板在防止腐蚀方面表现优异，因此广泛用于制造汽车、电器和建筑材料。根据应用有各种镀锌钢板，如热浸镀锌钢板（非合金和合金钢）和电镀锌钢板。

使用这些材料时，应用点焊、电弧焊和激光焊接。在此期间，应根据锌的量、其他元素的含量以及镀锌材料和钢板之间的粘附状态解决工艺稳定性问题。



图1：FEC6000M 6kW多模光纤激光器。

点焊广泛用于焊接镀锌钢板，特别是用于车身。当点之间的距离短时，电流分散在接合部分内，因此可能无法形成强接合区域。因此，连接点的数量和它们之间的距离存在限制，因此部件之间的接合强度和车身的刚性受到损害。因为激光焊接不需要考虑电分散，因此用作补偿点焊缺陷的方法。

当激光焊接镀锌钢时，钢的熔化温度（超过 1500℃）与锌的沸腾温度之间的温差使得搭焊困难。[1] 这种差异导致焊接缺陷吹走周围的熔融金属。为了解决这个问题，通过在重叠的镀锌钢板之间形成约 0.1~0.2mm 的间隙，以形成金属蒸汽的逸出路径，来实现精细的接合状态。[2] 然而，由于固定夹具限制了工艺过程和零件形状，精确地控制 0.1~0.2mm 的间隙，以稳定焊接质量较复杂。在本文中，我们介绍了一种新的连接技术，通过采用光纤激光器来焊接各种镀锌钢板。

具有高光束质量、光束模式控制的光纤激光器

日本古河电工公司基于半导体激光器、光纤及其在光通信领域应用的熔融技术，已经开发并销售了工业用途的高功率光纤激光器有超过 10 年。公司的光纤激光器产品的典型光束特性对高达 1.5kW 的单模为 M2~1.06，在 4kW 时为光束参数乘积（BPP）

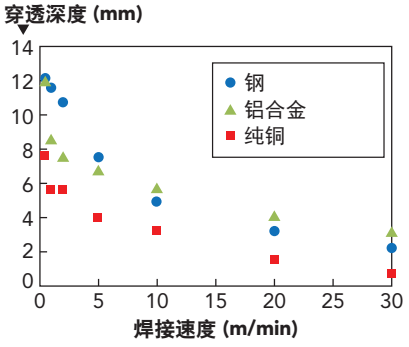


图2：使用6kW多模光纤激光器堆焊钢、铝合金和纯铜的穿透深度。

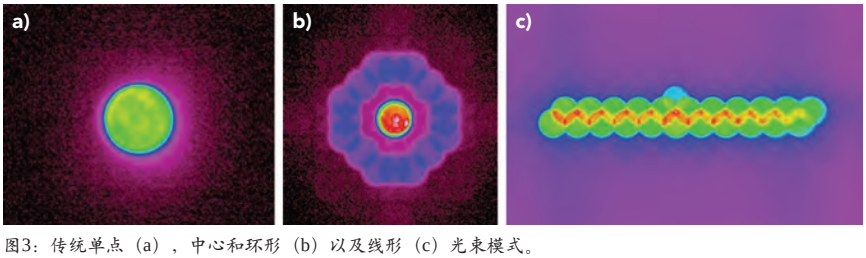


图3：传统单点（a），中心和环形（b）以及线形（c）光束模式。

光纤激光器全系列

波长、功率、应用全方位覆盖



千瓦级连续光纤激光器

以低成本实现高功率和高效率

- 切割
- 焊接
- 钎焊
- 热处理
- 熔覆和3D打印



QCW准连续光纤激光器

毫秒至微秒范围的高脉冲能量

- 打孔
- 焊接
- 微切割



脉冲光纤激光器

中红外、绿光和紫外纳秒、皮秒或飞秒

- 微加工
- 打标和雕刻
- 清洗
- 刻蚀
- 织构

IPG PHOTONICS®

关注IPG微信公众号

The Power to Transform®

为 ~1.7mm・mrad，在 6kW 时的 BPP 为 ~3.0mm・mrad（见图 1）。由于合束器的独特结构，稳定的部件质量和纤芯直径，这些光纤激光器具有良好的光束质量。由于激光聚焦点的高功率密度，这种光束质量使焊接具有深的穿透深度。

图 2 显示了使用 6kW 多模光纤激光器的各种材料的堆焊的穿透深度。在焊接速度为 0.5m/min 的低速区域，钢和铝的穿透深度约为 12mm，纯铜的穿透深度为 7.5mm。在焊接速度为 10m/min 的相对高速区域中，获得钢和铝约 7mm 的穿透深度，和纯铜约 4mm 的穿透深度。

这些高功率密度有助于提高焊接过程的速度，并降低功耗。但是，它们并不总是能在所有加工中产生良好的结果。聚焦在一点的激光束引起材料的快速温度变化，以及在加工点处熔池内的严重对流，并且熔池的较低稳定性导致焊接缺陷，例如溅射和气孔。因此，需要目视检查和溅射去除加工。许多生产工艺都使用光纤激光器，因此人们对抑制这些焊接缺陷的技术非常感兴趣。

古河电工与古河电子合作，开发了一种光纤激光器的光束模式控制技术，可以精确控制对目标材料的功率密度。由于非常简单的光学配置，该技术可以很容易地集成到加工头中，包括振镜扫描仪。而且因为可以自由地设计分配给每个点的能量分岔比，该组合是无限的（见图 3）。该光束模式控制元件对于数千瓦的输出激光具有足够的抗功率特性，并且对其的处理与传统透镜相同。

镀锌钢板的零间隙焊接

古河电工开发了激光（连续紧密接触）焊接（LC3W）方法，可以无间隙地连续焊接镀锌钢板。图 4 显示了利用单点光束焊接镀锌钢板作为常规方法时焊珠的外观。焊接条件为 3kW 输出功率和 1.5m/min 的焊接速度，由此结果可以推断，由两块镀锌钢板的重叠部分产生的锌的金属蒸汽引起的飞溅导致空隙。

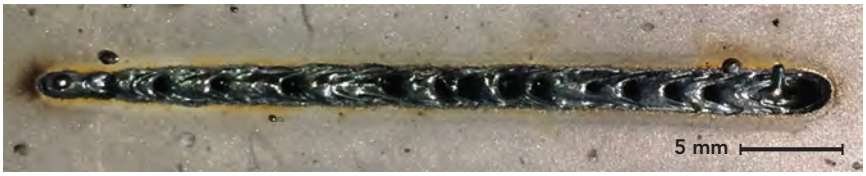


图4：显示了1mm厚的镀锌钢板，利用传统的单聚焦点，在3kW输出功率和1.5m/min的焊接速度下的零间隙搭焊的结果。

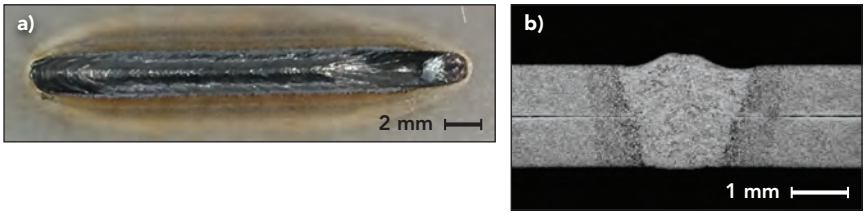


图5：在3 kW输出功率和1.5m/min焊接速度下，1mm厚的电镀锌钢板的LC3W结果，显示了焊缝外观（a）和横截面（b）。

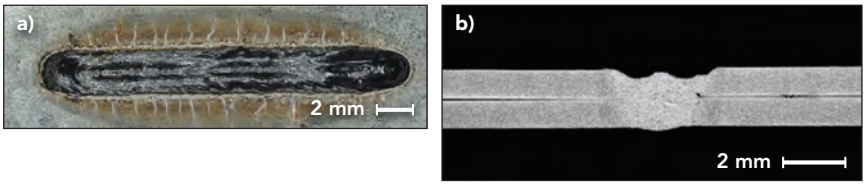


图6：在4kW输出功率和1.5m/min焊接速度下，1mm厚的热浸镀锌钢板（非合金）的LC3W结果，显示了焊缝外观（a）和横截面（b）。

事实证明，LC3W 除了采用特殊的光束模式外，还可以通过振镜扫描仪产生光束振荡，对几种镀锌钢板进行紧密接触搭焊。还展示了它可以抑制几种镀锌钢板的紧密接触搭焊的焊接缺陷。图 5 显示了焊缝的外观，以及通过搭焊 1mm 厚电镀锌钢板（镀锌附着量 20g/m^2）获得的横截面，其中输出功率为 3kW，焊接速度为 1.5m/min。

图 6 显示了在 4kW 输出功率下，焊接速度 1.5m/min，搭焊 1mm

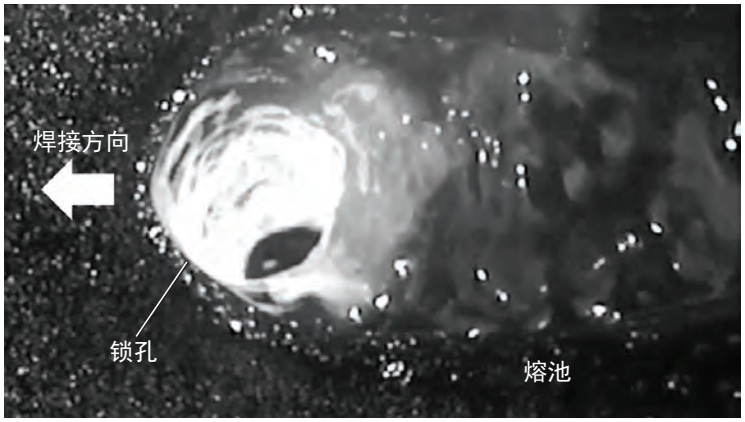


图7：由LC3W形成的锁孔的高速相机图像。



数控机床与金属加工展

工业4.0及中国制造2025首发平台

2019年9月17-21日 国家会展中心(上海虹桥)

ufi Approved International Event



Deutsche Messe

FIERA MILANO

东浩兰生 EAST BEST & LANSHENG

www.metalworkingchina.com

欢迎垂询：021 5045 6700-222/284/246

扫一扫
关注微信公众号

LFSZ LASERFAIR SHENZHEN

中国（深圳）激光与
智能装备博览会
2020年6月2-5日
深圳国际会展中心

Metal+Tech FOSHAN

华南国际钣金展
2019年11月20-23日
广东潭洲国际会展中心

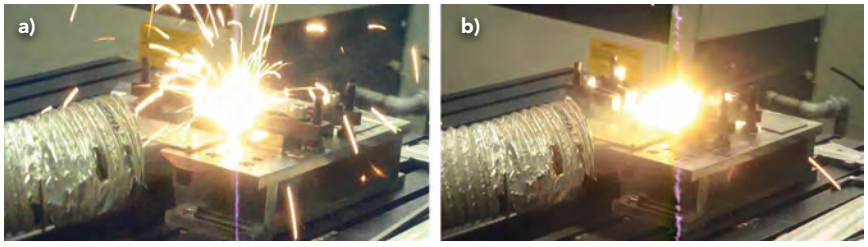


图8：使用常规单点（a）和模式控制技术（b）珠焊不锈钢板的飞溅图像。

厚热浸镀锌钢板（非合金锌：附着量60g/m^2）获得的焊缝外观和横截面。对于每块镀锌钢板，焊接速度恒定，以清楚地显示LC3W的效果。两个结果都表明可以形成稳定的珠焊外观，并且焊缝横截面中没有致命的空隙。LC3W通过根据附着量和镀锌类型，改变光束模式和光束振荡条件，精确控制熔池的行为。

图7显示了LC3W中锁孔的高速相机图像。由于锌金属蒸汽释放，在熔池内部打开了一个大孔。如果光束模式和光束振荡条件不匹配，则金属蒸汽的路径不能充分形成，并且由于珠形太细而发生熔池的喷射。另外，如果锌板中剩余过多的热能，则在焊接区域内产生由新金属蒸汽形成的空隙。因此，重要的是产生锌金属蒸汽的路径，并控制激光的输入能量。

与电镀锌钢板和非合金热浸镀锌钢板相比，合金热浸镀锌钢板特别具有相当窄的工艺窗口。因此，我们需要根据板材厚度和锌附着量，精确调整焊接条件。古河电工正在其应用实验室研究包括这些材料在内的最佳焊接条件。

其他应用

在研究中，古河电工通过将由光纤激光器的高光束质量形成的光束模式、激光输出、加工速度和目标材料相匹配，成功地完成了过去难以完成的加工。例如，不锈钢和纯铜具有完全不同的加工特性。因为不锈钢具有高的激光吸收率，使用1μm光纤激光器相对容易加工。另一方面，纯铜是激光加工起来非常困难的材料，因为对激光的吸收率小于10%，并且具有高导热率。对于具有不同加工特性的材料，最好能够自由地改变在焦点处形成的光束模式的排列形状、距离和能量分配比。即使对于相同的材料，如果所需的穿透深度和加工速度不同，则必须将光束模式更改为满足条件的形状。

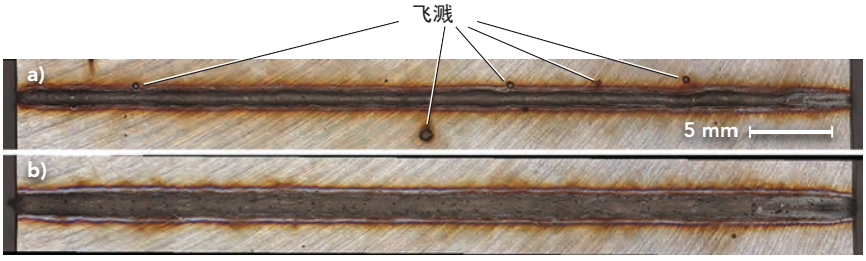


图9：使用常规单聚焦点（a）和光束模式控制技术（b）的不锈钢珠焊外观。



图10：使用常规单聚焦点（a）和光束模式控制技术（b）的纯铜珠焊外观。

图8给出了常规单聚焦点焊和使用光束模式控制技术的珠焊的图像。此外，图9显示了焊道的外观：在传统的单聚焦点的情况下，产生了许多飞溅，另一方面，通过光束模式控制显著抑制了飞溅产生。即使在焊缝外观上，单聚焦点焊也能看到飞溅附着和焊缝的不稳定性。光束模式控制实现了低飞溅附着和珠形稳定。在纯铜焊接中，古河电工使用的光束模式，利用光纤激光器获得的高功率密度，而不是像不锈钢焊接的情况，有效地吸收能量进入材料。结果，可以形成与不锈钢具有相同趋势的稳定焊缝（见图10）。

由于光束模式设计的自由度，古河电工的光束模式控制技术扩展了应用范围。例如，该技术应用于焊接难以连接的材料，宽区域的烧结以及在几处同时钻孔。在引入生产线时，有必要根据客户的材料、应用、加工条件和出货时间（平均客户需求时间）优化光束模式。因此，这些发展每天都在往前推进。

古河电工提供高可靠性和高光束质量的工业光纤激光器。此外，公司将通过加工和外围技术为客户提供解决方案。■

参考文献
1. M. Uchihara, J. Jpn. Weld. Soc., 77, 8, 10–18 (2008).
2. S. Yang et al., Weld. J., 92, 197–204 (2013).

LEAD LASER 领创激光 中意合资

中国智能激光装备主导品牌

为您提供全面的激光解决方案



平面激光切割机
激光切管机
激光焊接机
三维激光切割机
自动上下料装置
其他激光应用工艺





苏州生产基地
江苏省昆山市中华园西路1869号
0512-36832000

沧州生产基地
河北省沧州市运河区永安大道激光产业园内
0317-5202171

www.lead-laser.com
400-897-8800

微信扫码进入公众号

极高速激光材料沉积征服行业应用

Extreme High-Speed Laser Material Deposition Conquers Industry

与传统方法相比，新工艺提高了速度并降低了成本

作者：Thomas Schopphoven, Andres Gasser, Gerhard Backes 德国弗劳恩霍夫激光技术研究所激光材料沉积小组

德国弗劳恩霍夫激光技术研究所（Fraunhofer ILT）和亚琛工业大学的工程师们已经开发了一种新型极高速激光材料沉积工艺，并获得了三项著名奖项（见图 1）。该工艺的德语首字母缩略词为 EHLA，不仅征服了涂覆市场，而且还在加速金属 3D 打印。

这种方法听起来很简单：找来激光，在元件表面形成熔池，将金属粉末颗粒注入熔池，并在元件上形成牢固粘合且致密的保护层。该工艺已存在多年，被称为激光材料沉积。但是由于沉积的层太大而且太慢，在许多应用中它不能用于大表面的涂氟。这点已经发生了变化，一项发明现在正在解决涂覆行业许多公司面临的主要挑战。



图1：激光材料沉积中。

诸如硬铬电镀、热喷涂、激光材料沉积和其他沉积焊接技术的标准工艺具有缺点。例如，自 2017 年 9 月起，基于六价铬的涂覆需要特殊授权。这已经导致了表面技术思维的转变。新要求主要影响使用涂覆保护金属部件的制造商，这些金属部件面临严重的腐蚀和磨损压力。它们面临海洋应用中的最大挑战，盐水环境导致部件磨损和腐蚀更快，产生意外停机或整个设施的故障（例如在海上平台上）。

应用于海上市场

荷兰 IHC Vremac Cylinders B.V. 公司是荷兰著名船舶技术公司 Royal IHC 的子公司，开发和制造液压缸、旋转接头和活塞式蓄能器。这些部件长达 20m，必须应对挖掘机、海上设备、土木工程和重型机械的极端恶劣条件。

这家荷兰公司很早就对 2017 年 9 月生效的六价铬涂层的授权要求作出了反应。“过去，我们的液压元件由第三方涂装，”IHC Vremac Cylinders 公司的工程经理 Andres Veldman 说。“因此，我们必须寻找可以有效涂覆延展性和更硬涂层的新公司。”对于涂覆延展性涂层，电解技术是不错的选择，而对于硬涂层，高速氧燃料

EVERBRIGHT

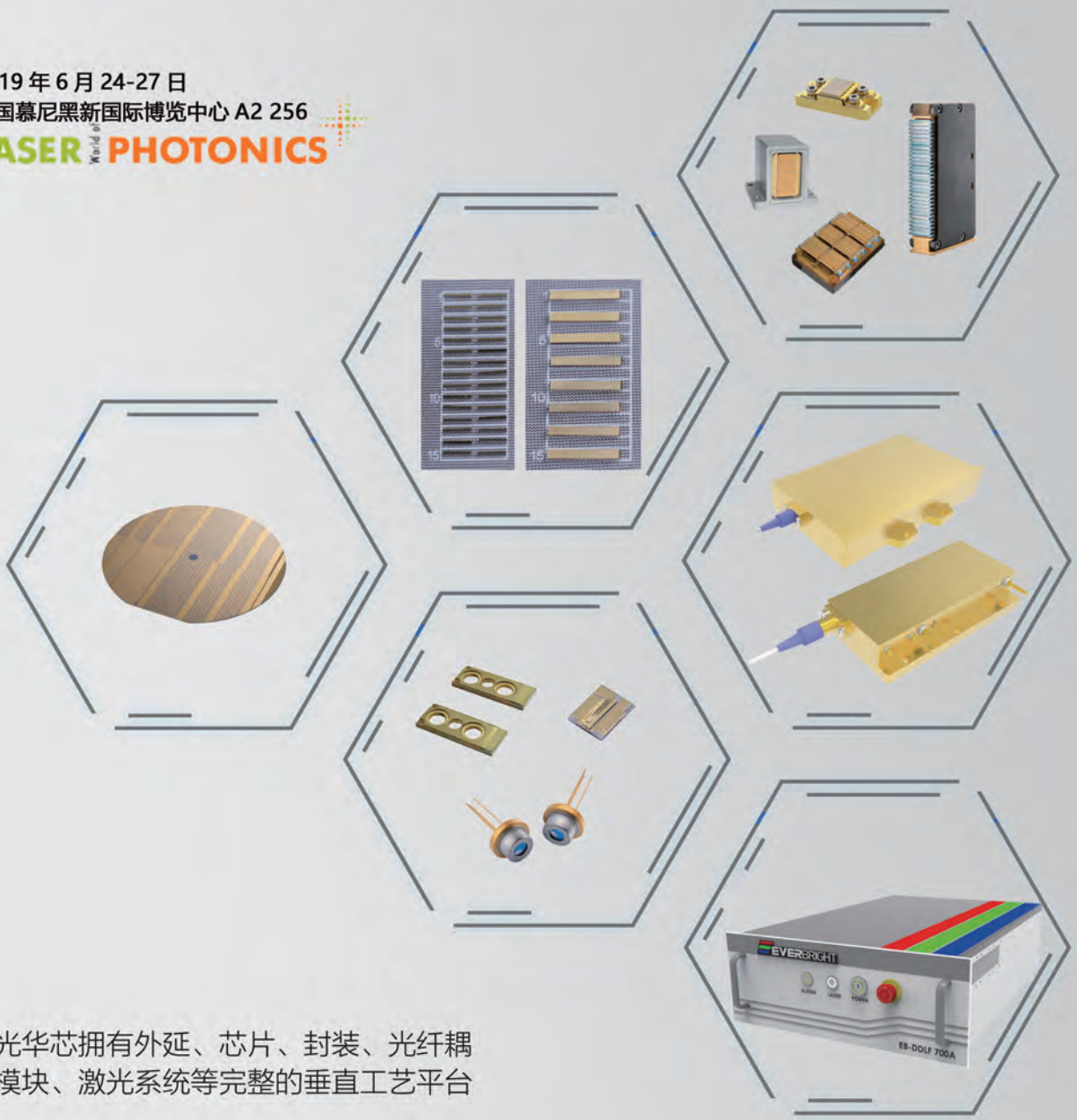
心所往 · 光所至

中国激光芯，光耀美好生活

2019年6月24-27日

德国慕尼黑新国际博览中心 A2 256

LASER World of PHOTONICS



长光华芯拥有外延、芯片、封装、光纤耦合模块、激光系统等完整的垂直工艺平台

苏州长光华芯光电技术有限公司
SUZHOU EVERBRIGHT PHOTONICS CO., LTD
江苏省苏州市高新区科技城昆仑山路189号2号厂房 215163
TEL：+86-512-69372570 FAX：+86-512-66806323
sales@everbrightphotonics.com
www.everbrightphotonics.com



图2：Fraunhofer ILT激光材料沉积团队生产力和系统技术组负责人Thomas Schopphoven。

（HVOF）喷涂是一种选择。但该公司的专家也密切关注激光加工。

然而，2006 年的初步测试已表明，传统的激光材料沉积太昂贵并且太复杂。“但我们确信这种技术是未来，”Veldman 回忆道。“最后，正是在 2014 年，荷兰 Hornet Laser Cladding B.V. 公司让我们关注到了 Fraunhofer ILT 和超快 EHLA 工艺。”

IHC Vremac Cylinders 公司选择了 Fraunhofer ILT 的极高速激光材料沉积工艺，该工艺在 2017 年获得了 Joseph von Fraunhofer 奖，在 2018 年德国钢铁工业联合会钢铁创新奖的钢铁研发类别中排名第二，并在 2018 年赢得了非常著名的 Berthold Leibinger Innovationspreis。在获得专利的 EHLA 工艺中，粉末颗粒仍在熔池上方被激光熔化。

速度高达500米/分钟

颗粒不再需要在熔池中熔化的事实，意味着处理速度可以从 0.5 到 2.0m/min 增加到 500m/min。EHLA 还可以减少涂层的厚度。以前，不可能在高沉积速率下生产 <500µm 厚的涂层，但现在可以使它们薄至 25~250µm。它还使涂层更光滑，表面粗糙度降低到传统激光材料沉积工艺的典型值的 1/10。



功率 & 能量测量
激光光束分析
从fW到超100kW
从EUV到FIR

- 激光测量领域的领导公司
- 被全世界激光制造商信任
- 全球设点及客户支持





详询 www.ophiropt.com/photonics

mks | Ophir®

Amplitude

Ultrafast Lasers for Industrial, Medical and Scientific Applications



Satsuma



> <350 fs to > 10 ps of pulsewidth
> Average power: > 50 W
> Air-cooled up to 20 W
> FemtoBurst™ and Trigger on demand - FemtoTrig™

Ideal for

> Microelectronics
> Multiphoton Imaging
> Medical Device Manufacturing
> Ophthalmology
> And many more....

Tangor



> Industrial design for 24/7 operation
> 100 W of Average Power
> 1 mJ Pulse Energy
> FemtoBurst™ and Trigger on demand - FemtoTrig™

Ideal for

> Microelectronics
> Micromachining
> Flat Panel Display Cutting
> Medical Device Manufacturing
> And many more....

Our lasers are compatible with many options, and notably:
SHG, THG, FHG, OPA, and our new pulse management module Compress.

More information at
amplitude-laser.com

“使用 EHLA 涂覆旋转对称部件的优势在于，必要的技术可以很容易地集成到车床中，”位于亚琛的 Fraunhofer ILT 激光材料沉积团队生产力和系统技术组负责人 Thomas Schopphoven（见图 2）解释说。原则上，只需要安装激光束光源、EHLA 加工头和送粉系统，并将它们连接到控制系统（见图 3）。

亚琛的研究人员们最初将这一工艺安装在一台小型机床上，能够以高达 3000rpm 的速度涂覆管道。他们寻找设备制造商的努力最终将他们带到了 Hornet Laser Cladding 公司，而多年来他们就已经认识这家公司的创始人。Hornet 公司确信这些技术的优点，因此第一套 EHLA 系统于 2014 年建成。

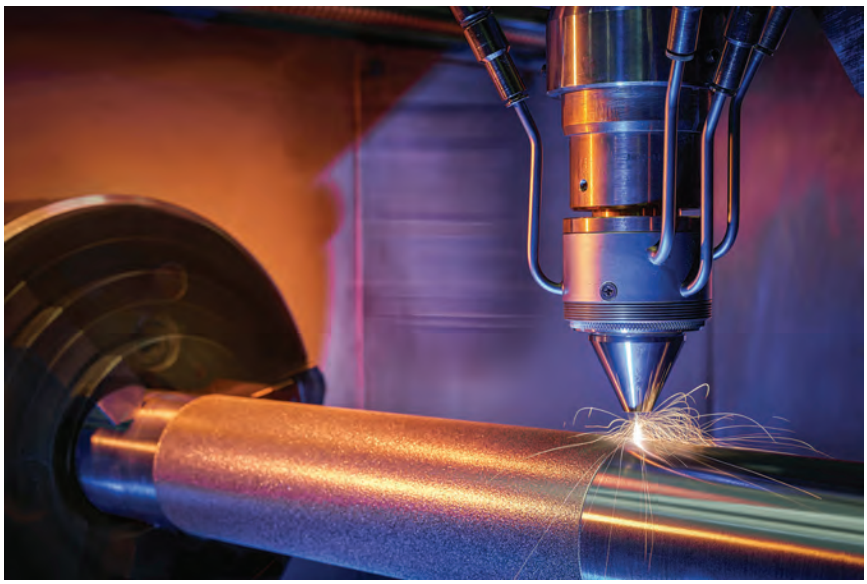


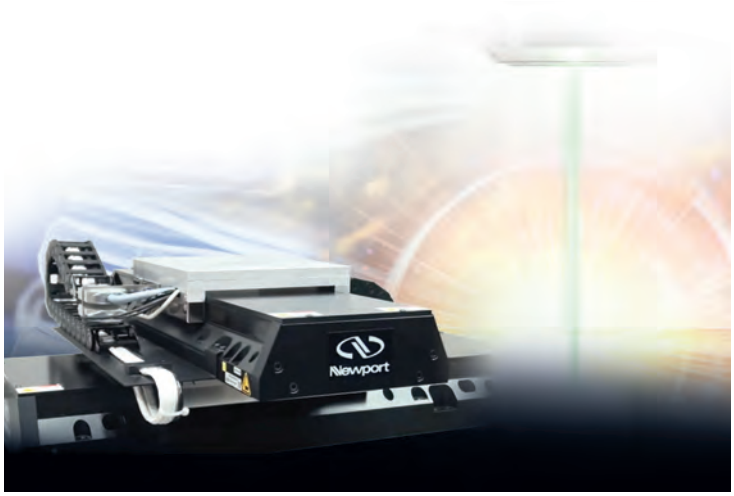
图3：激光束光源、EHLA加工头和粉末进料系统的集成，将车床转变为极高速激光材料沉积系统。

认证技术在大规模生产中取得成功

IHC Vremac Cylinders 公司决定采取行动，让 Hornet 公司制造出首套大规模的工业 EHLA 系统。荷兰人现在正在使用该系统进行批量

小 即 是 大

激光微加工的 Newport 运动解决方案



IDL 线性电机位移台

- 工业级设计与性能
- 非接触、高效线性电机
- 高精度编码器
- 行程范围100mm~1.2m

详询Newport网址：
www.newport.com 或致电 **877-835-9620.**

mks | Newport®

飞博激光

上海飞博激光科技有限公司

Shanghai Feibo Laser Technologies Co., Ltd.



上海飞博激光科技有限公司作为中国光纤激光技术的引领者，凭借卓越的研发能力持续推出高品质激光器， 在国内率先推出环形光斑技术的单腔1500 W 、2000 W 、3000 W 激光器，为客户提供高附加值激光器产品。飞博激光器种类齐全，技术先进，性能优异，欢迎来电垂询！



6000 - 14000 W 光纤激光器



3000 W 光纤激光器



500 - 2000 W 光纤激光器

飞博提供多种模式的售后服务，迅速高效地为您解决售后问题。

30分钟

7x24小时免费售后电话，30分钟内联系售后服务网点，2小时内提供售后反馈。

免费远程故障确认及修复指导，如若不能解决，2个工作日内提供现场售后解决。



上海飞博激光科技有限公司

公司地址：上海市嘉定区招贤路655号

销售热线：4008206680　　销售邮箱：sales@feibolaser.com

售后专线：4008205368　　售后邮箱：service@feibolaser.com

生产。完成几个项目后，Veldman 可以说 EHLA 目前的成本与热喷涂一样。自 2015 年以来，IHC Vremac Cylinders 公司已经涂覆了数百个液压缸，长度可达 10m，直径可达 500mm，采用耐磨和耐腐蚀合金，可满足全球最苛刻的海上应用需求。



图4：河北敬业增材制造科技有限公司已获得三套EHLA系统；这里展示了5米长的紧凑型系统，适用于重达3吨的部件。

出于与欧洲相同的原因，这种快速、环保的技术现在在中国也越来越受欢迎。中国计划采用欧洲模式来管理硬铬电镀。这就是为什么在 2017 年，Fraunhofer ILT 分出的 ACunity 公司选择与机械科学研究总院集团有限公司（CAM）进行战略合作，并提供采用 Fraunhofer ILT 改造的 EHLA 喷嘴技术的 5 轴系统。继在北京 CAM 首次成功应用后，河北敬业增材制造科技有限公司订购了两套系统，用于涂覆长达 5m、最大直径为 1m 的海上液压缸外部，该公司还订购了另一种内涂层系统（见图 4）。

这种全新技术的成功不仅取决于系统技术，还取决于工艺专业知识和服务。“中国公司非常重视可靠的加工，因此我们借助于客户组件开发定制工艺，”ACunity 公司的董事总经理 Chen Hong 说。“我们使用 EHLA 技术将材料涂在客户的部件上，以根据防止腐蚀和磨损检查加工质量。当然，这也涉及选择或开发合适的金属粉末，以及精细调节 EHLA 喷嘴。”

在德国发明，在荷兰进行测试和制造，使中国为之倾倒。那么这项发明注定只能在国外取得长期成功，而且只能在海洋中取得成功？这种印象具有欺骗性：德国通快集团现在提供 TruLaser Cell 系列激光系统，包括适用于各种元件尺寸的 EHLA 技术。

三维沉积

EHLA 的另一个主要应用领域是使用创新的混合方法生产新零件，该方法结合了传统的制造方法，例如铸造或锻造和增材制造。它们通常涉及减成法：锻造或铸造坯料经常需要耗费大量的努力再加工，有时 90％的体积需要加工才能到达最终部件。资源消耗以及材料和制造成本居高不下。



图5：EHLA工艺不仅适用于涂覆旋转对称的部件，现在正在进一步开发用于3D几何形状的增材制造。

到目前为止，EHLA 只能用于旋转对称部件。为了将 EHLA 的优势也用于生成三维几何形状（见图 5），目前正在亚琛建造一套原型系统，工件以高动态方式移动，在 EHLA 粉末喷嘴下具有高达五倍的重力加速度。■

德龙激光
DelphiLaser



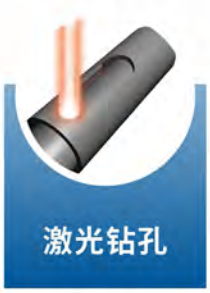
应用领域

- 半导体
- LED照明
- 显示
- 高校科研
- 精密电子
- 模具行业
- 医疗器械
- 航空航天
- 新能源

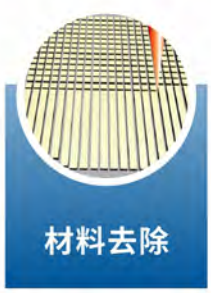
专业领域激光运用


精密切割


激光蚀刻


激光钻孔


激光刻线


材料去除



激光打标

地址：苏州工业园区杏林街98号　电话：0512-65079666　邮箱：contact@delphilaser.com　网址：www.delphilaser.com

绿光波长激光焊接助力电动汽车应用

Laser Welding At The Green Wavelength Benefits Electrified Mobility Applications

绿光波长提供工艺稳定性、高吸收和高进料速率

作者：Henrikki Pantsar, Eva-Maria Dold, Marc Kirchhoff, Oliver Bocksrocker　德国Trumpf公司

在过去的五年中，电动汽车已成为全球汽车行业最重要的发展趋势。由于高性能、驾驶舒适性、易操作性、降低维护需求和环境因素，对电动汽车的需求正在显著增加。立法也正在推动交通电气化[1]，而电动汽车不再是汽车市场的利基市场。



汽车行业的OEM、供应商和机器制造商的任务之一，是从供应链中创建可靠的技术，并加快电气元件的生产。这包括处理与电气化动力总成相关的生产的所有方面。最大的挑战之一是电动动力总成中的部件和材料是全新的，或者以不同于汽车行业惯例的方式使用。例如，高容量电池或合适的电动机所需的产量，不仅在汽车工业中是前所未有的，而且大体上在任何行业中都是。

关键部件

最重要的部件是电池，单个电池组装成电池模块，然后组装为电池组。需要可靠的电池管理系统，以及用于将电池集成在车体中的电池及模块的壳体。需要各种其他电气部件，例如充电系统、转换器和传感器系统，来为电池充电并管理汽车内部的电力。

除了电池外，还需要电动驱动器在行驶中提供动力。电动驱动有许多不同的设计，从混合驱动（电动驱动器直接集成到变速箱中的驱动概念）到四轮驱动，其中四个电动驱动器安装在车轮附近。

这些部件的共同之处在于，之前它们在汽车中不存在，因此对这些部件没有实质性的积累经验。这些部件中的主要材料之一是铜。

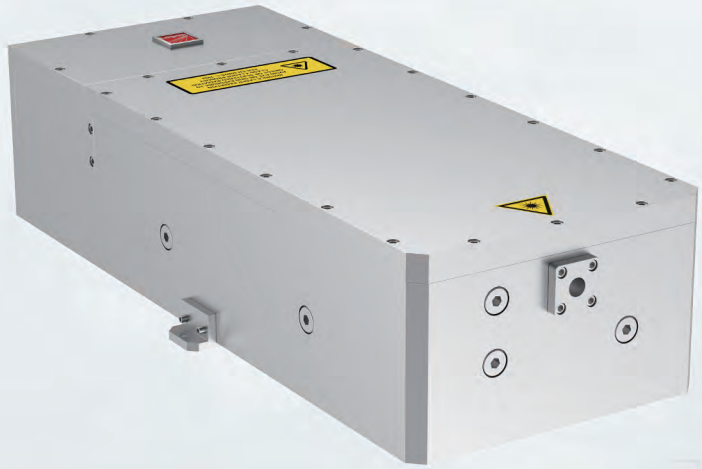
所有这些零件的生产都包含许多挑战和大量机会，因为制造流程没有事先定义的黄金标准。创新的空间很大：激光作为一种非常灵活的工具，可以成为电动汽车的关键。使用激光，可以满足生产率和质量方面的新要求，并可以从目前的小批量生产，扩大到不久的将来所需的大批量生产。

激光的可能性

电动汽车市场可能的激光应用数量和生产部件的数量在增加。特别是在动力电气、动力总成和电池制造领域，激光器能够以最小的热量输入实现快速焊接和切割。但是，每个领域的要求都有很大差异。直接敷铜（DBC）板上的电子触点的焊接需要精确的焊接深度、最小的飞溅和热

超快激光器欢迎垂询

欢迎垂询 **027-65520911**



- 整机紧凑化设计，分体式安装集成简单
- 光束质量好，$M^2 < 1.2$
- 独有倍频晶体专利保护技术，保证激光器工业级可靠性
- 高重复频率下的高功率输出及窄脉宽优化

70W全固态高功率绿光激光器



- 整机设计紧凑，分体式安装易于集成
- 独有倍频晶体专利保护技术专利，保证激光器寿命
- 光束质量好，加工效果精细整齐
- 高频下的窄脉宽，切割边缘热影响小，效率高

20W高功率紫外固体激光器

Logan 罗根激光 LOGAN Laser

罗根制造 精密可靠

www.loganlaser.com

输入，因为周围的部件非常接近焊接位置，如果该过程缺乏稳定性将被破坏。在电气动力总成中，发卡的焊接需要高激光功率和焊接速度，并具有最少的微孔和飞溅，以产生良好的电性能。在电池触点中预先设定了相同的要求，其中精确的焊接性能是高质量和高生产率的关键因素。同样，电动汽车组件这些领域中的大多数激光应用包含由铜制成的部件，这是绿光波长激光器的首选领域（见图 1）。

铜的最大优点是其高导电性和导热性，这也是焊接的最大挑战。铜的热传导比常用钢材高十倍，需要非常强的能量输入。这可以通过激光解决，因为这种技术在小的相互作用区域上贡献了高能量强度。然而，导致高导电性的类似材料特性也导致高反射率。激光以光的形式将能量传递到工件上，通常在近红外光谱中。反射金属和大多数透明材料通常仅吸收一小部分红外激光，这对红外激光器提出了挑战。

只有约 5% 的激光能量可用于加热铜焊接中的材料。[2] 由于从室温开始加热材料，并且材料对激光的吸收低，因此需要高强度来启动焊接过程。室温下的铜表面反射几乎所有的激光功率到周围，包括光学元件。虽然这在能量转移方面的效率非常低，但这也可能损坏敏感部件。在熔化温度下，对红外激光束的吸收随温度升高上升到超过 15%，但这种转变难以控制。[3]

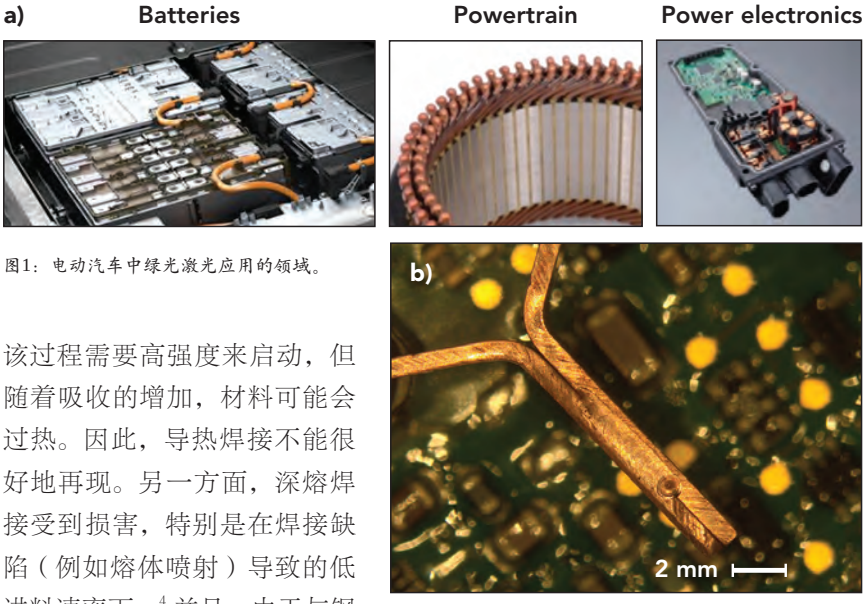


图1：电动汽车中绿光激光应用的领域。

该过程需要高强度来启动，但随着吸收的增加，材料可能会过热。因此，导热焊接不能很好地再现。另一方面，深熔焊接受到损害，特别是在焊接缺陷（例如熔体喷射）导致的低进料速率下。[4] 并且，由于与钢相比铜较低的表面张力和粘度，熔池更不稳定。

绿光激光的功能和优点

铜对绿光激光（515nm）的吸收率为 35~40%，因此焊接过程可以非常稳定，而没有初始吸收和过热的问题。参数很容易找到，并且不需要诸如摆动之类的加工策略。德国通快（Trumpf）公司的绿光激光器基于碟片激光技术，系统已准备好用于工业用途。激光由光纤引导，易于集成到机器中。

由于铜对绿光激光束的良好吸收，在导热焊接模式下可以重复焊接均匀的箔，以及厚度达 0.4mm 的小型铜部件。在没有锁孔和由此产生的熔体动力学的情况下，已经展示了用绿光激光是实现的完全没有飞溅的铜焊（见图 2）。高速视频影像证明了这点，人们可以在没有运动的情况下看到完美光滑的熔体表面。使用类似的红外激光器，不可能对铜进行可重复的导热焊接，因为吸收与温度有关，并且该过程很容易从热传导焊接转变为深熔焊接。根据焊接模式，铜箔未连接上或损坏。

使用红外激光束焊接不可能在熔化和蒸发温度之间保持过程温度恒定。由于工艺稳定性和高吸收，绿光波长可以实现高进给速率，从而减少热传导和热膨胀造成的热损耗。采用绿光激光的热传导焊接是电池箔焊接，以及连接电气组件中小铜部件的首选（图 3）。

对于非常热敏感的部件如 DBC

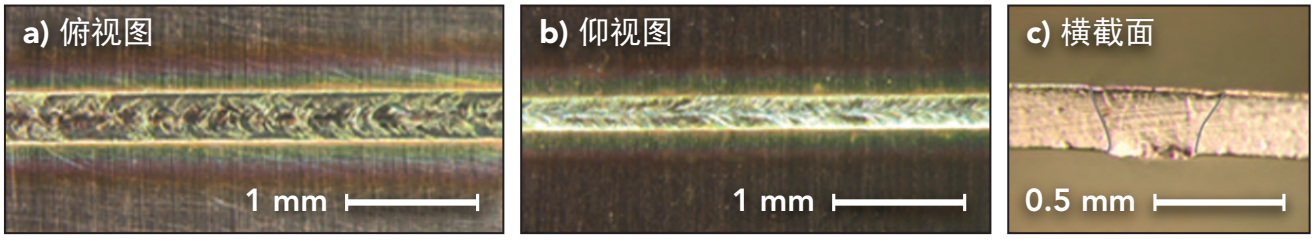


图2：采用绿光激光器完成的无飞溅铜焊，具有非常高的质量和光滑的焊接表面。

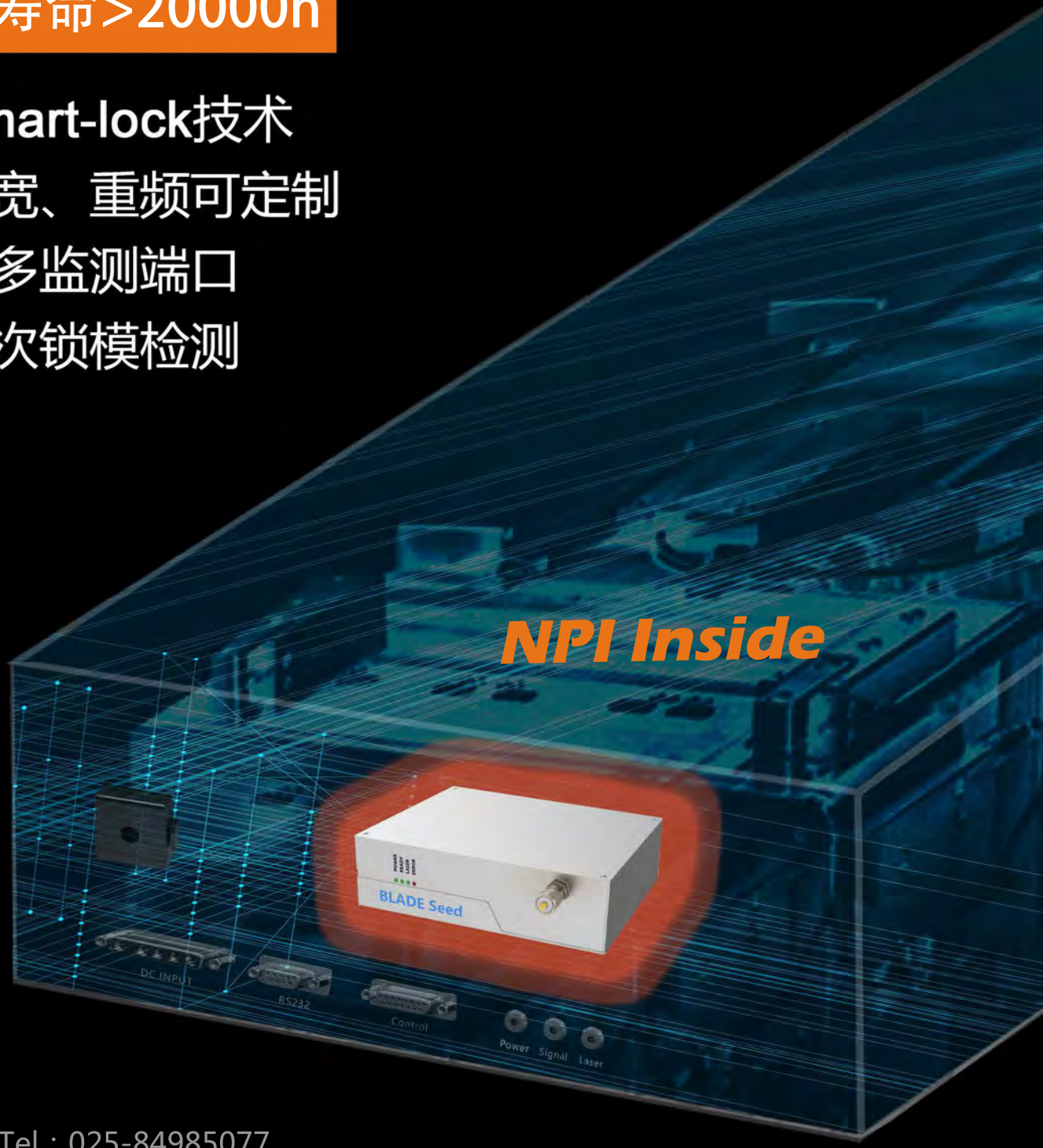
诺派激光
NPI LASERS

Reliability & Consistency

超快光纤种子源领导者

工作寿命>20000h

- Smart-lock技术
- 脉宽、重频可定制
- 更多监测端口
- 万次锁模检测



Tel：025-84985077
E-mail:sales@npilasers.com

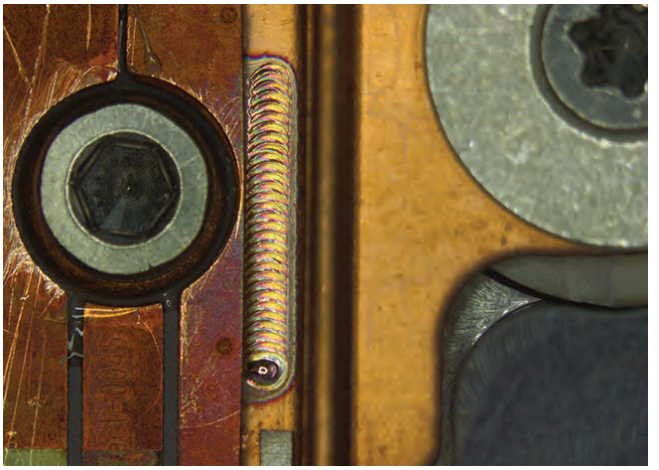


图3：热敏元件的点焊。

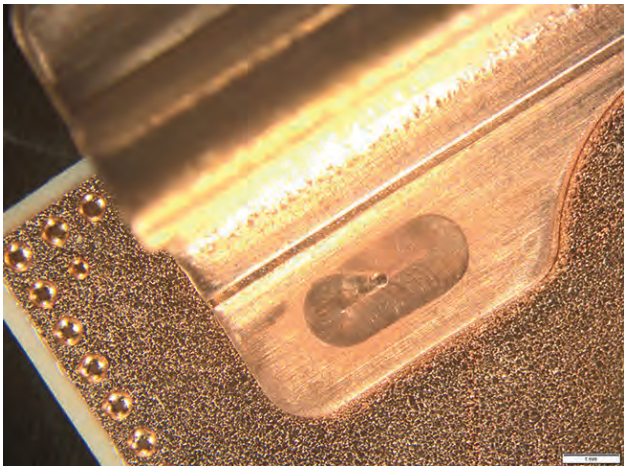


图4：DBC板上的铜触点的示例，由TruDisk 1020连续波绿光激光器焊接0.1s。

板，或在热敏环境中焊接，推荐使用毫秒脉冲绿光激光器。脉冲模式为热工艺管理提供了更多可能性。脉冲暂停有效地降低零件和周围材料上的热应力。通过增加绿光激光器的脉冲重叠，可以轻松处理高达 0.1mm 的间隙。每次脉冲后材料都会冷却，因此热输入可以减少。与红外激光器相比，使用绿光激光束进行焊接不会产生脉冲间冷却，以及缺乏温度相关吸收的问题。

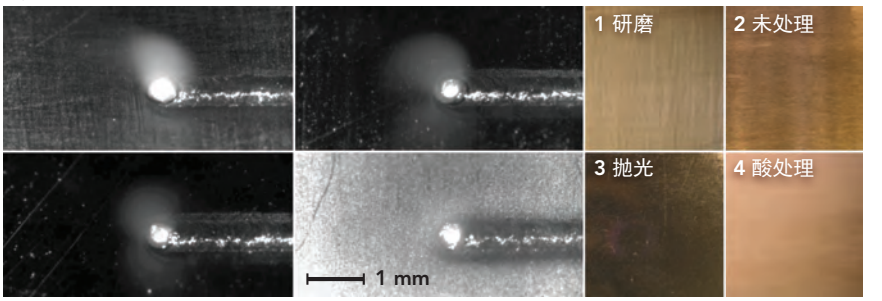


图5：表面状态在使用绿光激光的铜焊接中无重要影响。



也可以焊接较厚的铜元件以获得更高的电流（见图 4）。可以焊接表面质量高，厚度高达 0.8mm 的铜。最大焊接深度取决于零件的热容。小部件或更薄的板更容易焊接，因为对周围材料的热传导是有限的。这是一个材料问题，与波长无关。

通过表面涂层、氧化或其他表面处理，可以增强红外激光束的吸收。[5] 使用绿光波长激光进行焊接时不需要对铜进行涂覆。无论表面状况如何，即使在室温下吸收现象也能有效地开始。使用抛光、砂磨、酸蚀和氧化表面进行的测试，显示出非常相似的焊接结果。绿光激光受表面状况的影响较小（见图 5）。氧化或抛光表面可以用相同的参数焊接。

结论

由于电动汽车，铜焊已成为汽车行业最重要的研究课题之一。需要新技术来实现铜的低飞溅、高质量焊接。已经证明使用绿光波长激光器是铜焊接的理想方法。在焊接电池和电子设备中的电气元件时，铜表面瞬间吸收结合稳定的工艺是很大的优势。由于没有飞溅，甚至可以焊接预组装的电子元件，而没有短路的风险。现在可提供平均功率为 400W，峰值功率为 4kW 的工业脉冲激光器，以及功率高达 1kW 的连续波（CW）激光器。采用这种技术克服了激光焊接铜的挑战。■

参考文献

1. See https://bloom.bg/2Pn2YfK.
2. J. Bliedtner, H. Müller, and A. Barz, Lasermaterialbearbeitung Grundlagen – Verfahren –Anwendungen – Beispiele, Hanser, Munich, Germany (2013).
3. S. Amorosi, T. C. Sidler, R. P. Salathe, H. P. Schwob, and J. Hertzberg, Proc. SPIE, 5063, 1, 1–7 (2003).
4. A. Heider et al., Phys. Procedia, 41, 112–118 (2013).
5. S. Engler, R. Ramsayser, and R. Proprame, Phys. Procedia, 12, 342–349 (2011).

瑞镭激光技术（深圳）有限公司是一家国际领先的激光工业器件研发生产销售企业，总部位于德国慕尼黑，是德国 RAYLASE 在中国的全资子公司。瑞镭在激光光束偏转，调制和控制开发模块部件以及生产子系统等方面一直处于国际领先地位。



瑞镭激光最早于 2003 年进入中国市场，2010 年在深圳建立分公司并开始本地化产品生产，在日本、韩国、新加坡及东南亚等国家地区具有完善的营销网络，承担亚洲地区的主要产品供应和售后维修服务，并为客户提供工业应用和项目开发的整体解决方案。



我们提供定制化解决方案
CUSTOMIZED SOLUTION CENTER



Headquarters:
RAYLASE GmbH
Wessling, Germany
+49 8153 88 98-0
info@raylase.de

Subsidiary China:
RAYLASE Laser Technology (Shenzhen) Co.
Shenzhen, China
+86 755 28 24-8533
info@raylase.cn

Subsidiary USA:
RAYLASE Laser Technology Inc.
Newburyport, MA, USA
+1 978 255-1672
info@raylase.com

RAYLASE

用于汽车动力总成生产的先进制造解决方案

Advanced Manufacturing Solutions For Automotive Powertrain Production

后处理检查方法实现100%可追溯性

作者：Andreas Mootz博士　德国EMAG汽车公司管理总监

汽车制造商及行业面临巨大挑战。汽车动力总成领域经过数十年的发展，车辆电气化创造了巨大的破坏性变化。

初看起来，人们可能认为传统传动装置和类似部件（见图 1）的激光焊接没有前途。大多数动力总成部件，例如内燃机和变速箱，将会消失，并被电力单元、电池和电力电子设备所取代。



图1：典型的激光焊接动力总成部件。

这真的是未来吗?

不同利益相关方试图预测不同动力总成原理的市场份额。例如，德国大型汽车行业供应商之一舍弗勒（Schaeffler）预测 30/40/30 的情景，称到 2030 年纯电动汽车 (EV) 将占据 30%的市场份额，混合动力汽车（HEV）将占据 40%，传统的一体式内燃机动力总成将占据 30%的市场份额。[1]

这带来了新的挑战，因为电动动力总成部件给汽车带来了很多额外的重量，即使汽车使用其内燃机也需要加速，从而产生更多的二氧化碳（CO_2）排放以及额外的燃料成本。为了避免对电动驾驶的生态优势的任何侵蚀，需要付出巨大的努力来降低车辆重量，所有这些都是在巨大的成本压力下，因为客户正面临着已经很高的电池价格。



图2：激光焊接的差速器。

一般而言的连接，尤其是激光焊接是一种能够改善动力总成部件重量和成本的赋能技术。图 2 显示

2004–2019

携手·新时代

MAX 创鑫激光

国产超高功率工业激光器开拓者

超高功率

25000 W

单模块

4000 W

1分钟100米闪电切割



M⁵-BOX 激光器

8000 mm/s

雕刻线速

MAX 创鑫激光

国产超高功率工业激光器开拓者

深圳市创鑫激光股份有限公司 深圳总部

地址：深圳市宝安区沙井芙蓉工业区芙蓉三路创鑫激光产业园

热线：400-900-9588

邮箱：info@maxphotonics.com

官网：http://www.maxphotonics.com

[关注我们，了解更多]

了一个完美的例子，其中一个巨大的齿轮焊接到差速器壳体而不是用螺栓固定。这种工艺在 10 年前推出用于高档汽车，使其成为减轻重量和节省成本的明智之选。现在，这项技术被用于各种领域的车辆，从紧凑型车到重型卡车以及高性能跑车。该应用也是展示最先进制造系统要求的一个很好的例子。

图 3 给出了用于从各个部件（齿轮和预组装的差速器壳体）制造准备组装差速器的连接操作的工艺清单。这种生产线可以在非常短的循环时间（<30s）下生产激光焊接差速器。

在焊接之前进行附加步骤，例如数据矩阵码（DMC）读取，焊接区域的激光清洁和监控的压制操作。焊接后对焊接表面进行拉丝。在随后的步骤中，通过跳动计检查零件几何形状，并通过超声波探伤测试验证焊接接头的完整性。

焊接差速器的 100% 后处理检查值得关注。每个部件都会测量和存储质量数据，从而实现 100% 的可追溯性。如果考虑到近年来已经实现的系统和工艺稳定性的改进，尤其是在动力总成生产中引入现代固态激光器之后，这甚至将更加引人注目。所有这些背后的驱动因素，是在大批量生产的所有领域中对零缺陷策略的需求。

图 4 显示了超声波测试结果。标准通常是任何检测到的焊缝缺陷的数量和尺寸，以及缺陷的累积长度。

超声波测试设备的使用背后是什么？有许多经过验证和完善的过程监控解决方案，例如接缝跟踪器、等离子监控和光学相干断层扫描（OCT）等更新的方法。为什么我们需要超声波探伤？

所有过程中的方法都有一个固有的缺点：它们监控过程而不是零件。它们探测来自过程的信号，并将其用于监控和 / 或闭环过程控制。在最好的情况下，过程内方法可以指示故障情况，但永远不能告诉我们生产的部件是好的部件。超声波探伤等后处理方法可检查连续焊缝，并可以告诉我们焊缝是否存在，或者是否存在裂缝、气孔和其他缺陷。如果存在一些不确定性，可以始终使用具有挑战性的部件来验证测试设备。

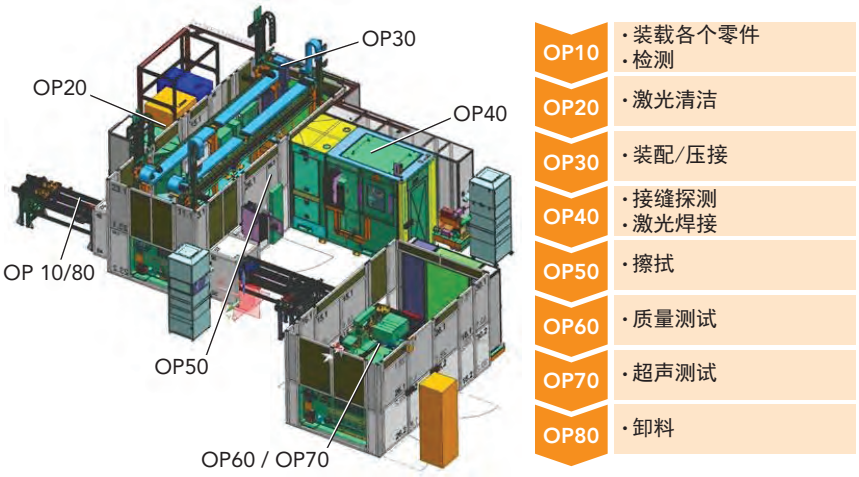


图3：显示了EMAG Automation的差速器激光焊接系统的示意图。

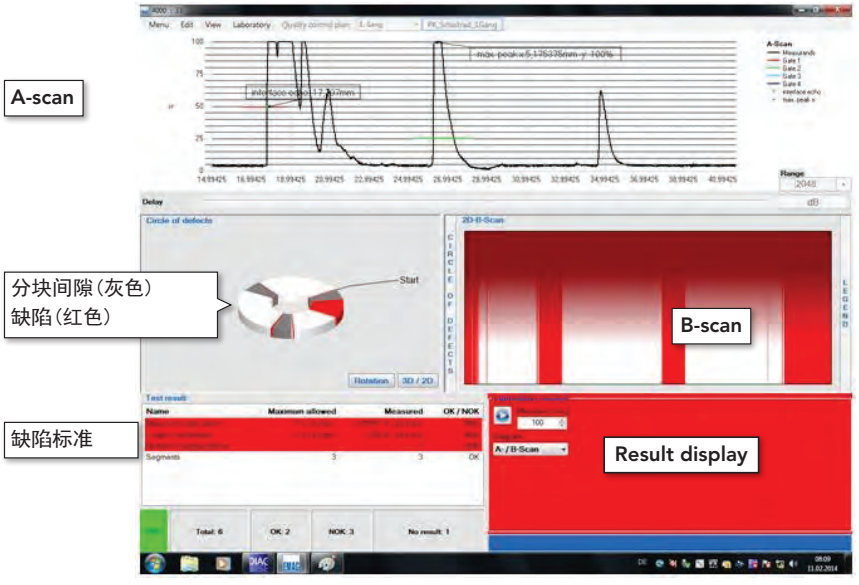


图4：超声波测试结果的例子。

当然，如果有优点那也会有一些缺点。超声波测试需要额外的硬件，工件需要进行相应设计。由于水用于耦合，因此需要在之后干燥部件。然而，近年来，具有集成超声波测试设备的生产系统的数量显著增加，实施零缺陷策略。■

参考文献

1. See http://bit.ly/ilsref2.

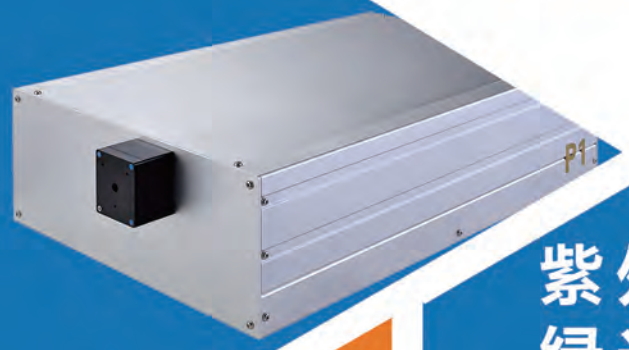
Dr. ANDREAS MOOTZ (amootz@emag.com) is managing director of EMAG Automation, Heubach, Germany; www.emag.com.

RFH LASER
瑞丰恒激光

深圳瑞丰恒激光技术有限公司

高品质 高可靠 高性价比

专业激光技术12年



紫外 绿光 激光器全系列

功率稳定　集成度高　体积小　寿命长

光束质量优异　稳定性高

可按用户需求定制





半导体晶圆加工



太阳能电池板加工



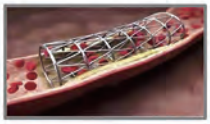
FPC加工



LCD&LED全面屏加工



玻璃钻石等其他脆性材料加工



金属微加工

地址：深圳市南山区麻雀岭工业区 M10 栋 2 楼
WEB: www.rfhlasertech.com
MAIL:sales@rfhlasertech.com

电话：0755－86375012 86375016
传真：0755－86028961

激光热处理提升汽车模具制造质量

LASER HEAT TREATMENT IMPROVES QUALITY IN AUTOMOTIVE DIE MANUFACTURING

激光热处理还展现了OEM的成本节约

作者：Aravind Jonnalagadda　Synergy Additive制造公司技术总监
Marcus Stackpoole　Synergy Additive制造公司CEO
Matthew Stackpoole　Synergy Additive制造公司研发经理

相比美国 OEM 制造商，对于完全相同的汽车模具，欧洲各地的汽车模具 OEM 制造商正在以更快的速度，更高的质量和更低的成本提供。其原因是激光热处理（见图 1），该工艺在欧洲已经接近主流，但在美国几乎没有实践过。



图1：整流罩侧汽车冲压模具的激光热处理。

激光热处理在欧洲的应用已经普遍成功，美国 OEM 制造商采用这种技术是必然的。美国汽车模具 OEM 制造商接受激光热处理的障碍，包括这种技术在美国仍然没有得到很好的理解的事实。关于激光热处理的成本节约、质量和进度改善的数据尚未转移到美国的决策者；而且在美国，可靠的激光热处理加工车间很少。但显然，激光热处理有望在美国 OEM 业内被迅速采用。

本文介绍了激光热处理的基本技术，并分享了汽车修边 / 成型模具成本节约案例研究的结果。

什么是激光热处理?

激光热处理工艺中，典型光斑尺寸在 0.5×0.5 英寸和 2×2 英寸之间的激光束照射金属部件的表面，作为向其传递热量的手段。以这样的方式输送激光能量，以便将金属表面和热影响区（HAZ）的温度升高到其冶金转变温度以上。当移除激光热源时，金属的热量通过传导热移除提供加热

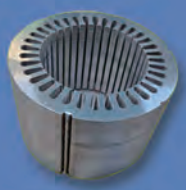
激光焊接系统解决方案
LASER WELDING SYSTEM SOLUTIONS

工程技术专家　焊接工艺数据库　工装夹具设计　智能检测、控制　装备集成制造






电机抽头


定子硅钢片


电机铜转子





中科煜宸拥有国内领先的激光焊接技术及装备， 已为国内研制并提供多套远程激光焊接系统、 激光 -MIG（MAG）复合焊接系统、激光 -TIG 复合焊接系统、窄间隙激光填丝焊接系统、激光钎焊系统等。同时公司对激光焊接过程中智能检测技术及闭环焊接质量控制技术等方面进行了深入的研究，相关成果荣获了 2016 年度中国机械工业科学技术进步一等奖，并实现了产业化应用。公司在**高温合金尤其铝合金、钛合金、铜合金激光焊接**方面取得了重大突破，**在新能源汽车领域**，中科煜宸成功攻克了全铝车身及零部件的激光焊接难题，电机铜合金转子激光焊接等难题，成为国内首家提供全铝车身侧围激光焊接装备和电机转子激光焊接装备的供应商，得益于与忠旺铝业集团、KUKA 工业公司全面的战略合作， 中科煜宸可为客户提供新能源汽车从材料创新设计、 制造工艺到集成制造装备全面的系统解决方案。在**船舶和核电领域**，中科煜宸研制出拥有自主知识产权的关键构件焊接工艺方法，成功解决了厚板激光复合焊接技术难题； 在**航空航天、 机车制造领域**， 中科煜宸实现了中国高端制造领域关键零部件焊接难题的突破，为广大行业客户，提供国内最优、国际领先的激光焊接高端装备解决方案。

RAYCHAM 煜宸激光

南京中科煜宸激光技术有限公司
地址：江苏省南京市经济技术开发区兴和路18号
电话：4001070008　邮箱：info@raycham.com

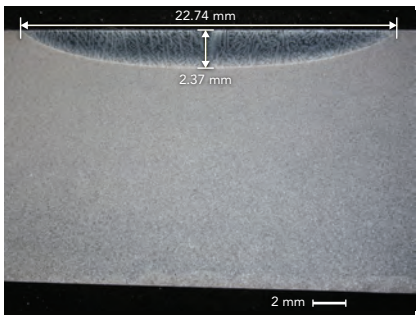


图2：S7140合金钢中激光热处理模具的冶金横截面。

区域的快速淬火，从而产生所需的硬度。可以精细调接激光束运行的细节，以便对硬化过程的所有方面进行精确控制。根据几何形状，激光热处理还允许通过视距处理其他方式难以到达的区域。激光热处理有时也称为激光硬化。

激光热处理的益处

与传统的热处理技术如感应、熔炉和火焰热处理相比，激光热处理的益处是：

一致的硬度深度。通过精确控制输送到金属本身的能量，包括毫秒级反馈控制，激光能量的特性意味着激光热处理可以产生严格规格的 HAZ，从而在非常严格的公差范围内实现一致的硬度深度。

大多数汽车模具不需要硬铣削。除了前面提到的精确控制之外，激光能量本身的固有特性，意味着对任何给定的 HAZ 尺寸，激光热处理可自动为处理的模具提供尽可能小的总能量。在大多数汽车模具中，该工艺的内置功能可自动实现零畸变。传统的热处理方法需要在热处理之后研磨额外的材料，与之不同，激光热处理是在将模具切割成最终形状之后进行的。这样可以避免在材料硬时额外的加工操作从而节省成本。

硬度更高。由于激光热处理中热处理区域的快速自淬火，在正确的工艺条件下，该工艺实现的典型硬度往往比火焰或感应工艺高几个点。

精确地将光束能量应用于工作点。火焰或线圈需要不紧靠工作区域。激光热处理有更大的能力仅将热量施加到预期区域，相邻区域的加热最小甚至为零。

可激光热处理的材料

碳含量为 0.2% 或更高的任何钢都是可以热处理的（见图 2）。通常，激光热处理模具的硬度与使用传统技术获得的相比硬度相当或更好。

步骤/描述	成本和时间	
	常规热处理	激光热处理
第1步：编程		
在此步骤中，对各种机器进行编程。	小时: 8	小时: 8
	天: 0	天: 0
第2步：二维基座加工		
组件的基座加工平坦，是所有其他工艺的前序。	小时: 12	小时: 12
	天: 1	天: 1
第3步：粗/半（完成）3D加工		
组件的3D部分是机加工的。对于激光热处理，这步包括完成加工，因为该工艺不会导致变形。	小时: 80	小时: 110
	天: 4	天: 6
送至热处理分包商处		
不需加以说明	小时: 1	小时: 1
	天: 1	天: 1
第4步：热处理		
不需加以说明	小时: 6	小时: 8
	天: 2	天: 2
从热处理分包商处返回		
采用激光热处理，零件直接进入组装线；采用传统热处理，零件进入加工线	小时: 1	小时: 1
	天: 1	天: 1
第5步：2D基座再加工		
激光热处理不需要该操作	小时: 12	小时: ---
	天: 1	天: ---
第6步：3D完成再加工		
激光热处理不需要该操作	小时: 80	小时: ---
	天: 4	天: ---
前往OEM的组装线		
这仅适用于传统的热处理部件	小时: 1	小时: ---
	天: 1	天: ---
第7步：最终装配		
不需加以说明	小时: 20	小时: 20
	天: 2	天: 2
总计		
单位成本(UC)以每小时50美元计算 年度成本(YC)以40个模具计算	小时: 20	小时: 20
	天: 2	天: 2
	UC: $11,050	UC: $8,000
	YC: $442,000	YC: $320,000

华光光电微信公众号

华光光电公司网站

山东华光光电子股份有限公司
SHANDONG HUAGUANG OPTOELECTRONICS CO.,LTD.

先进半导体激光器产品
和领先解决方案的服务商

华光光电产品广泛应用于：

先进制造、测距传感、激光显示、医疗美容、仪器仪表、印刷、指示等领域。

山东华光光电子股份有限公司 / 地址：山东省济南市高新技术开发区天辰路1835号
网址：www.hggd.cn / 电话：0531-88877500

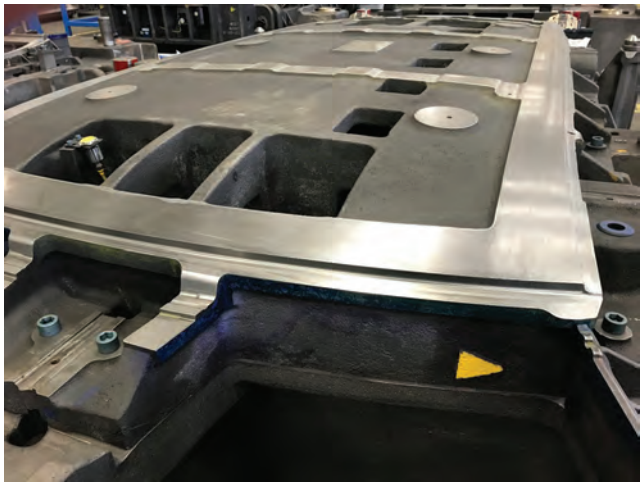


图3：OEM供应商使用的汽车装饰模具的示例；该模具尺寸为177×95×54英寸，重93000磅。

一些汽车应用的常见可激光处理材料包括：

- D6510 球墨铸铁
- S7140 合金钢
- G2500 灰铸铁
- G25HP 灰铸铁
- G3500 灰铸铁
- D4512 球墨铸铁
- S0030 非合金钢
- S0050A 合金钢
- A2 工具钢
- D2 工具钢
- S7 工具钢
- M2 工具钢
- 4140 合金钢
- 4340 合金钢

节约成本

激光热处理在汽车模具的制造和维护中节省的成本，主要来自于免除了后硬化尺寸恢复过程。为了说明激光热处理的潜力，请参考来自一家本地 OEM 模具供应商的以下案例研究。

该研究涉及汽车内饰 / 成型模具的新零件制造。一家中型 OEM 制造商通常每年生产 40~100 个这样的模具。模具的重量范围从 8000~95000 磅（见图 3）。对于这项工艺，以重量约为 42000 磅的中型装饰模具为例，计算产品加工的时间成本和每个步骤的日历天数。图 4 总结显示了结果，并在表中（见第 36 页）进行了详细说明。

图 4 还给出了模具制造中涉及的各个步骤。使用常规热处理方法（例如感应和火焰加热）生产的模具是粗加工的，留下额外的原料达到 0.020 英寸，以应对由于热处理过程引起的变形。然后将经过热处理的模具硬磨至最终尺寸。切割硬质材料需要更长的时间，并且需要昂贵得多的工具。为简单起见，本案例研究未考虑硬铣削操作所需的额外工具支出。

另一方面，激光热处理避免了热处理后加工和相关步骤，从而降低了生产的成本和总时间。

总结

采用激光热处理将该产品线的年成本从 44.2 万美元降至 32 万美元，节省了 27.6%。交货时间从 17 天减少到 13 天，净增速为 23.5%。预计通过减少工具费用可以进一步节省开支。总能源使用量减少，这里未计算数量，如果碳信用额成为财务领域的一部分，可能会有未来的节约。■

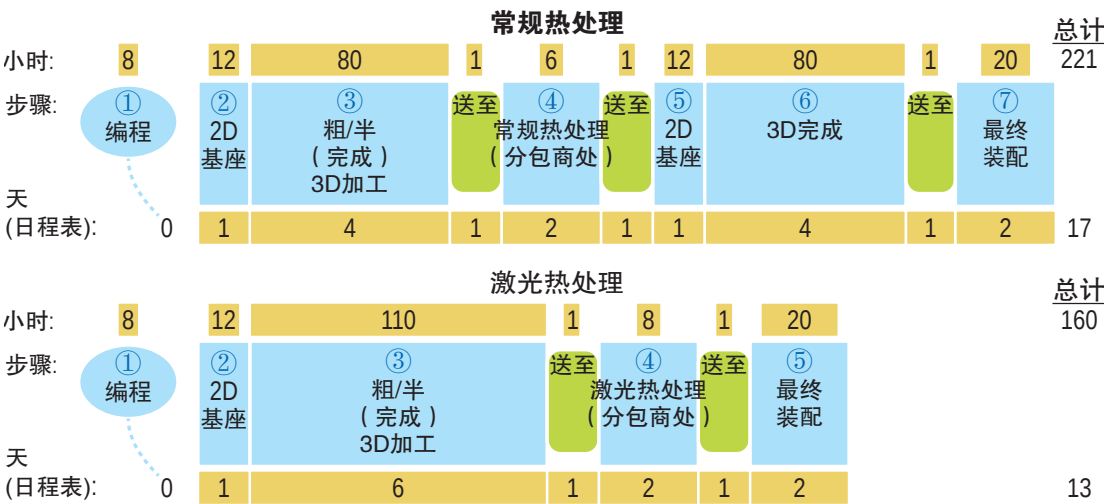


图4：该示意图显示了模具制造中涉及的各个步骤。

reci



多模连续光纤激光器



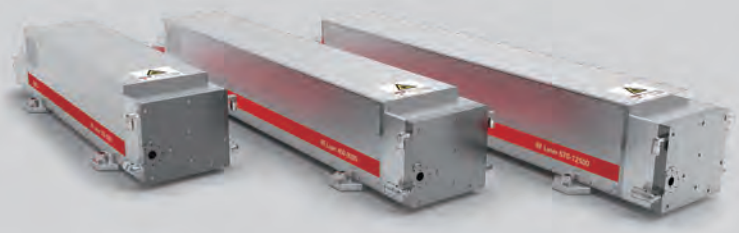
单模连续光纤激光器



单模连续光纤激光器



CO_2激光管



射频激光器



直接半导体激光器

北京热刺激光技术有限责任公司

网址：www.recilaser.com
邮箱：sales@recilaser.com
电话：010-6436 6506 / 6436 5885
售后服务电话：010-6436 6507 / 6436 5896
地址：北京市朝阳区酒仙桥东路中关村电子城创新产业园M楼A座5层

激光连接工艺制造金属—热塑性材料混合零件

LASER JOINING PROCESS YIELDS METAL-THERMOPLASTIC HYBRID PARTS

粘接和激光远程技术将塑料与金属连接在一起

作者：Annett Klotzbach　德国弗劳恩霍夫物质与光束技术研究所

由金属和热塑性材料制成的负载适应性混合连接，因用于多种工业应用已变得更加重要，特别是在轻质结构领域。对于有效的工艺链和特定的负载情况，需要优化的预处理和连接技术，以及用于工艺模拟和特性表征的适用工具。为此，激光可以成为成功的关键。

对于严格制造功能集成的轻量化结构，局部负载差异会影响不同类别材料的使用。各种子部件的连接对连接技术提出了特殊要求。例如，金属嵌件和螺纹衬套在注塑工艺中粘合到塑料上。首选的连接工艺是夹子、螺钉连接或铆钉的连接。然而，胶合也已越来越多地进入汽车工业，特别是在塑料整流罩部件与金属加强结构粘合的应用中。

例如，考虑宝马 i3 的尾门，有超过 11 米的粘接缝提供结构强度，改进的碰撞性能和简单的公差补偿。

但是，工业粘合工艺也存在困难。在机械连接中，通过纯形状和力配合实现负载的传递，但是粘合需要表面之间的优化材料接触。作用在两种材料仅为几微米厚的边界层上的粘合力对变化非常敏感。油和防腐剂的污染或平整度公差，会导致强度的急剧下降。为了获得与螺纹连接相当的传输强度，需要将大表面粘合在一起。

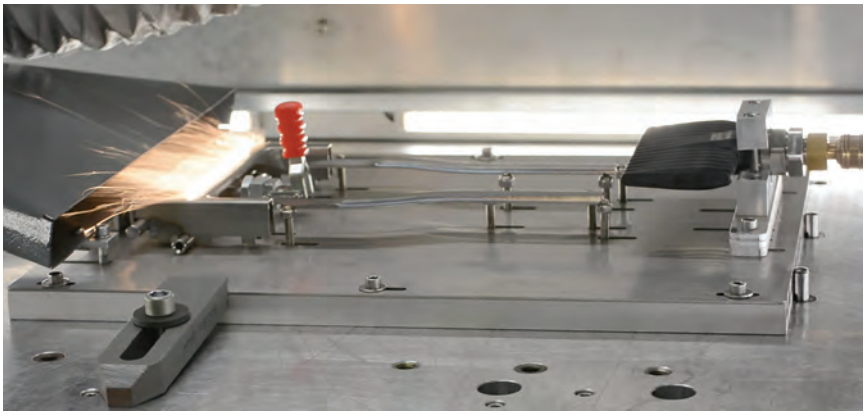


图1：热直接连接前对低碳钢进行激光表面预处理。

然而，由于工艺灵敏度，所需的连接面积和大量的单个工艺步骤，粘合被证明是不经济的。通常，在粘合之前对两个连接物进行清洁或预处理，然后施加粘合剂，固定两个连接物，以及固化粘合剂（化学反应）。

例如，通过使用激光预处理实现了工业粘合工艺的效率提高。在这里，表面被清除污染并同时粗糙化，主要是通过脉冲激光来增加与粘合剂反应的区域。如果加强该烧蚀过程，例如通过使用千瓦级的连续波（CW）功率激光器，可以产生深沟槽结构（见图 1）。用粘合剂或塑料熔体填充所得到的空腔，形成宏观的形状闭合。

现在，这种预处理策略提供了比通过粘合剂粘合和形状配合相结合更可靠地连接材料的可能性。

通过受控加热快速连接

另一种简化混合连接生产的方法是热直接连接，其中金属和热塑性材料被压合在一起。金属的快速加热导致接触区域中的热塑性材料熔化，润湿表面并在冷却期间固化。该原理可应用于任何尺寸的表面，以及各种材料组合。由于明显不同的热膨胀系数，在边界层中出现高剪切应力。除了在使用过程中产生的负载之外，为了能



联赢激光

+新能源电池

+新能源汽车

+3C电子

智能焊接专家

+光通信

+电池

+五金

+塑料焊 & 锡焊

+更多

为您提供更专业的激光焊接及配套自动化解决方案





深圳总部地址：深圳市南山区西丽镇红花岭工业区南区2区1栋
咨询服务热线：400-885-4168
咨询服务邮箱：sales@uwlaser.com
网址：www.uwlaser.com

UW 联赢激光 UNITED WINNERS

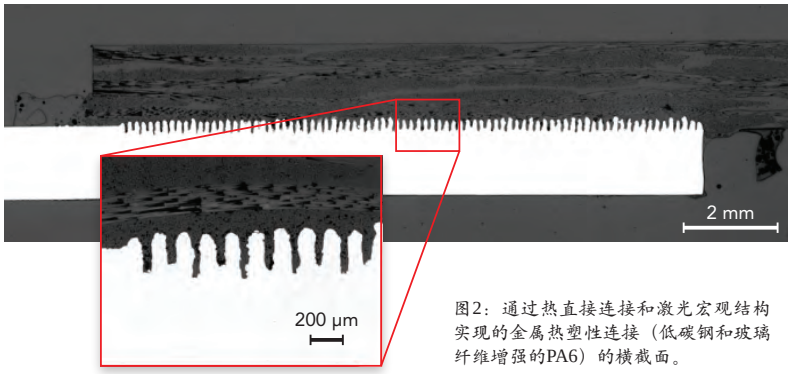


图2：通过热直接连接和激光宏观结构实现的金属热塑性连接（低碳钢和玻璃纤维增强的PA6）的横截面。

够吸收这些应力，必须修改塑料或者必须对金属表面进行预处理。

业内首选的工艺是在卷材涂覆过程中，用粘合促进剂体系涂覆板材。金属半成品被涂覆、成型和冲压。随后，可以通过热压将热塑性纤维复合材料部件粘合到金属上。

在这里，还可以看出高功率激光简化了预处理。在热直接连接期间，金属表面上产生的宏观结构被熔融的热塑性材料填充。在凝固期间，热塑性材料收缩并因此钩入金属结构中。

激光烧蚀确保最佳的塑料锚固

目前，正在研究用于优化热塑性粘合的形貌设计的各种方法。例如，超短脉冲激光产生特殊形状的微结构，可被低粘度塑料熔体渗透。相比之下，德国弗劳恩霍夫物质与光束技术研究所(Fraunhofer IWS)的研究人员的方法，是基于使用 CW 激光产生烧蚀深度达 200µm 的粗糙结构，因此纤维和高粘性的塑料熔体也可以渗透并锚固自身。

图 2 显示了热直接连接的横截面。该结构完全充满了矩阵和纤维。根据负载的类型，使用不同的烧蚀方案。简单的线条和交叉结构提供了由塑料完全填充空腔的良好可能性。由于熔体粘附，烧蚀和熔化过程的组合提供额外的底切。使用具有高光束质量的固态激光器（例如 3kW 激光功率），可实现 100~500mm^2/s 的（典型）烧蚀速率。

激光结构化不是一切

只有金属被非常快速地加热和冷却，热直接连接才证明是有效的。这可以通过使用激光辐射的短期加热来灵活地完成。与表面硬化工艺类似，金属从背离接头的一侧加热。通过组合 800~1100nm 范围内快速、可控功率的激光和扫描光学元件，可以迅速加热任何表面。图 3 显示了由纤维增强 PA6 和低碳钢制成的中间扶手的加强结构。这里，焊接组件和盖板通过激光加热连接到有机板上。

由于连接界面不能直接达到，又必须保持热塑性材料的熔化温度，因此板厚和金属板中产生的温度梯度是特定的。接触压力也起着重要作用，因为它平衡了公差，因此可以用塑料和纤维填充空腔。

然而，激光加工也存在缺点。热直接连接的原理基于部件彼此同时相互按压和加热。因此，必须保证所有连接的直接可达到性。对于复杂的部件，这通常是不可能的。

感应快速加热

在复杂可达到性的情况下，通过感应进行短期加热提供了许多优点。电磁交变场由几何形状适应的载流线圈创建，其产生涡流并因此加热导电的连接对象。根据所使用的频率范围，通过利用趋肤效应进行体加热，或直接在边界层中产生热。

与通过扫描系统可以容易地适应不同散热条件的激光加热相比，感应加热需要几何形状适应的线圈设计。因此，在 Fraunhofer IWS 开发并验证了相应的有限元模拟工具。它们基于 COMSOL Multiphysics 平台，并考虑局部能量耦合，以及材料相关的热传导。由于在大多数情况下只能在线圈的外层工作，因此还必须使用场集中器。通过合适的设计，耦合效率可以提高到 10 倍。图 4 给出了使用场集中器的涡流引导的基本原理。



图3：由连接低碳钢和玻璃纤维增强的PA6制成的中间扶手的加强结构（可行性研究）。

感应或激光加热：哪种最好？

激光和感应加热的比较性研究已获得了相当的连接强度。为了与通过粘合获得的结果进行比较，根据 DIN EN 1465（连接表面：12.5×25mm^2）在单个交叠连接上进行了抗拉伸及

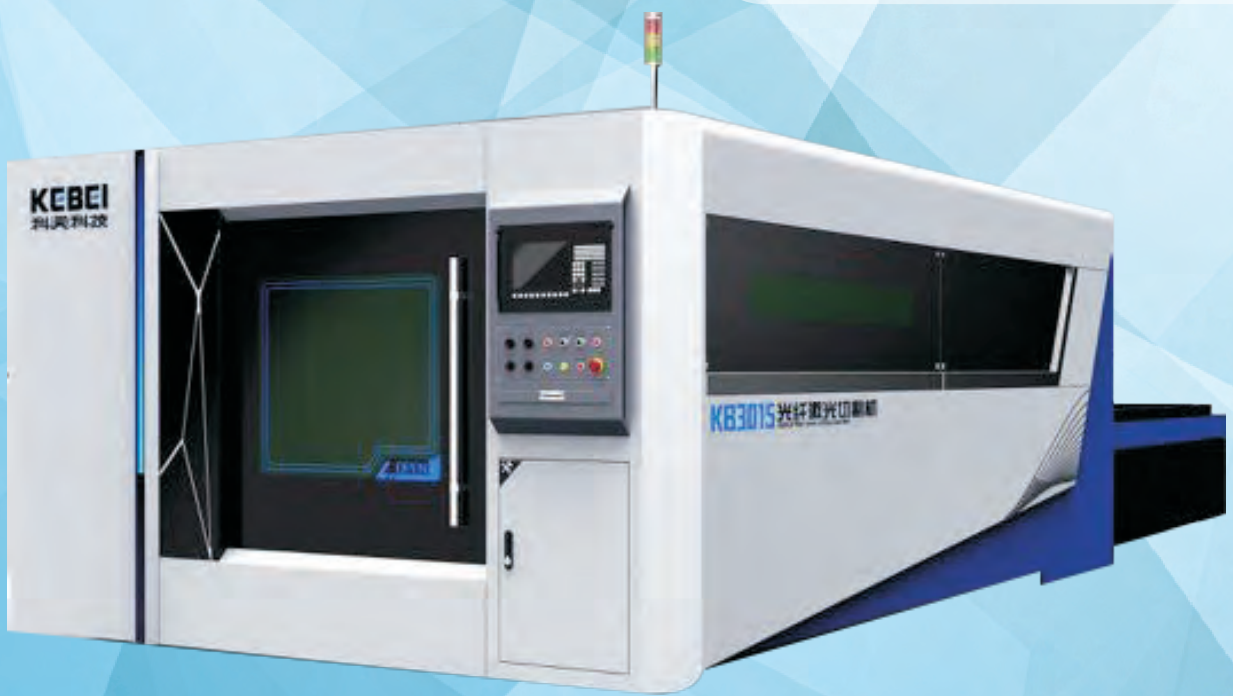
2019年鄂州科贝激光打造行业最优品牌

环保

一体化抽排风系统——融入流体学设计理念，实现通风、排放、过滤一站式解决

高性能

· 一体化铸铝横梁——独特金属配方、质量轻、强度高
· 一体化运动本体——独特的结构设计，保证上、下平台切割精度的一致性



高性价比

· 单轴加速度1.5G
· 空移速度80m/min
· 10mm以内小圆切割精度≤0.08mm

高稳定性

· 机床结构设计水平行业领先
· 拥有全流程自主制造体系
· 激光准直仪、激光干涉仪、投影测量仪加持制造过程极速运
· 行机床无明显振动迹象

地址：湖北省鄂州市葛店经济开发区润阳路23号
电话：0711-5916616 18696088027
网址：www.kblaser.com

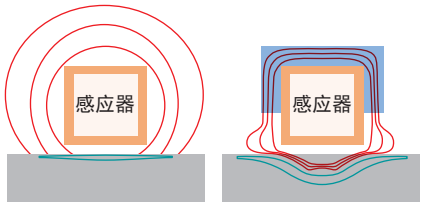


图4：使用场集中器提高热效率的涡流引导的基本原理。

抗剪切试验。连续玻璃纤维增强PA6与不锈钢、铝或低碳钢的材料组合强度约为25MPa。断裂几乎完全发生在复合材料的基础材料中。当使用诸如碳纤维增强的聚芳醚酮（PEKK）的更高强度的材料时，虽然部分纤维断裂，但可以实现高达30MPa的强度。确定的强度在用粘合促进剂连接或粘合的系统范围内。连接对交替气候负荷的耐受性也得到了成功验证。

另一方面，如果考虑倾斜或头部张力的负荷极限，则必须说明仍然需要研究。这是由粘合机制引起的，主要在于具有少量粘合剂的形状配合。当考虑可实现的接合时间时，可以确定感应加热和激光加热之间的显著差异。也就是说，感应能够进行更有针对性的加热，因此例如低碳钢的上述标准化连接表面，加热时间需要1~2秒。在激光加热的情况下，必须有3~5秒来加热透低碳钢，而不会局部冒险熔化表面。

多年来，研究机构和公司一直在开发和认证热直接连接。然而，批量生产中的工业应用仍然非常有限。其原因在于复杂的组件设计导致功能集成的混合设计。在正确的地方选择正确的材料需要设计师的创新观点。塑料或复合材料部件对金属部件的纯粹替代，一方面导致重量减轻，但是成本显著提高。尽管如此，该技术的某些应用领域已经明确。例如，小批量生产中，注塑成型前的激光结构化用作底漆应用或塑料改性的替代技术。在热直接连接中，业内旨在通过温度和介质稳定的热塑性材料，制造外壳组件或连接元件，以将它们连接到压铸铝。因此可以省去用于螺纹连接的附加法兰以及密封件。

此外，该技术已得到进一步发展，因此也可以实现自动点状连接。该技术被称为HeatPressCool-Integrative（HPCI），与传统的点焊枪类似，将连接部件压在一起（见图5）。围绕冲压头布置的环形电感器加热连接区域。热塑性材料熔化并与

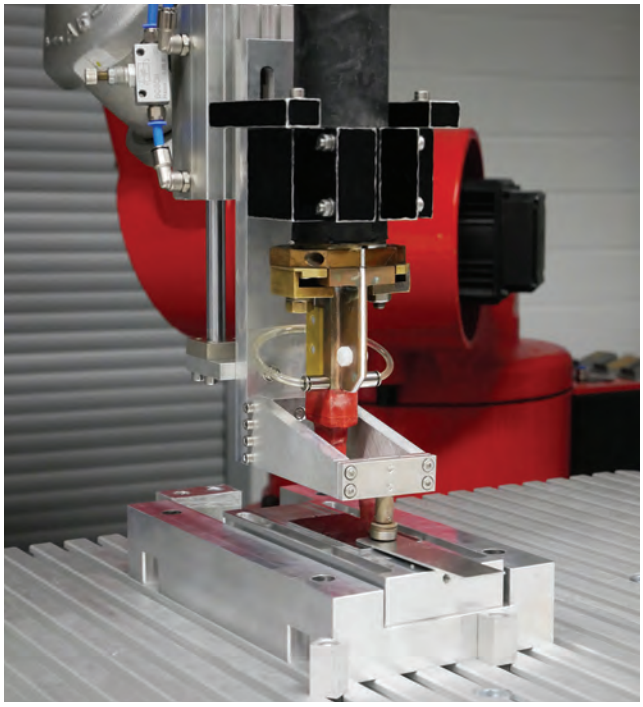


图5：用于金属-热塑性材料连接的机器人引导点焊枪。

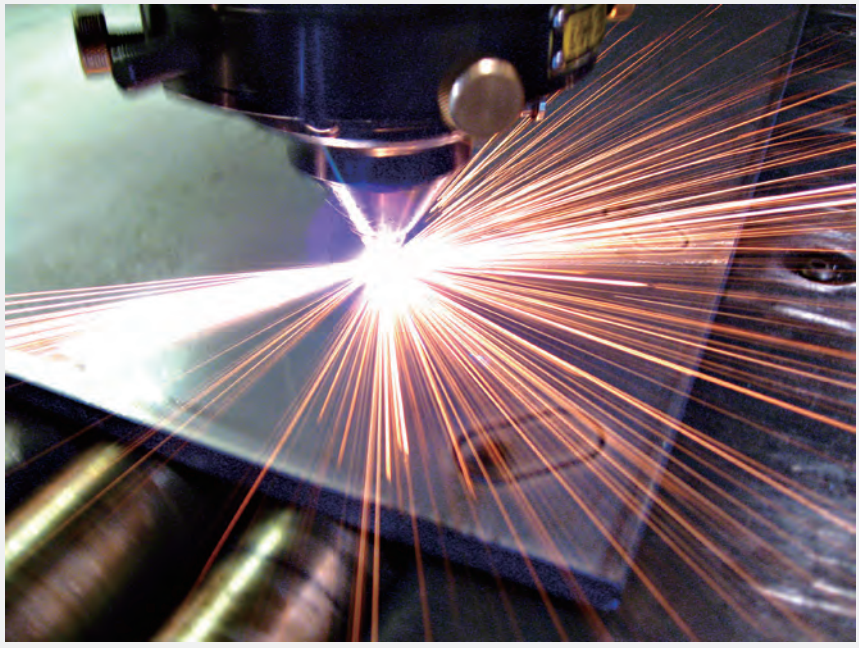
金属结合。该技术的特殊之处在于可以将塑料面板局部连接到金属嵌件上，以用于例如厨具、灯具和其他消费产品。

此外，较大的部件可以灵活地预固定到整体结构上或直接粘合。由于系统技术的紧凑设计，工具设计为可以使用传统的处理技术（例如工业机器人），因此HPCI技术可以集成到复杂的装配链中（见图6）。这是全面介入工业制造的最佳前提。■

致谢

HPCI是Fraunhofer IWS的注册商标。


图6：使用HPCI技术固定局部硬化的复合结构。



40 Years
Creating Optopia

Real-time
High Speed
100kHz

Accurate
High Resolution
10µm

3D Profile
Keyhole
Profiling

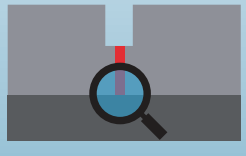
In-Situ Weld Monitoring Solution

Optical Coherence Profiling (OCP)

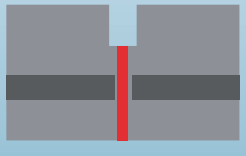
santec specializes in laser based industrial imaging. Its Real-time Laser Weld Monitoring system is based on an advanced measurement technique called Optical Coherence Profiling (OCP). Compared to other optical profiling methods this provides a much longer measurement range, has higher sensitivity and a higher resolution. It is also tolerant of air pollutants found in industrial environments.



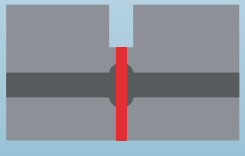
Real-time depth monitor



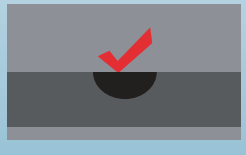
Auto focus & seam tracking



Breakthrough detection



Butt welding



Weld quality control

santec

圣德科（上海）光通信有限公司

(021)-58361261

info@santec.com

www.santec.com.cn

激光光束整形的创新应用

LASER BEAM SHAPING FOR INNOVATIVE APPLICATIONS

为什么激光光束整形是超短脉冲激光微钻孔的必要条件?

作者：Sami Laroui　法国CAILabs公司售前工程师

微激光钻孔是工业中最常见和最常用的激光加工之一。各种各样的激光光源类型可以处理各种材料（金属、陶瓷、半导体、聚合物和有机材料等），具有前所未有的可重复性、准确性和速度。微钻孔在许多行业中都很突出，例如汽车、航空航天和电子，甚至激光手术和食品行业。例如，该工艺能够将高纵横比钻孔降至微米级，最近已为汽车行业开发了新的喷嘴，将发动机燃油效率提高到30%。[1]

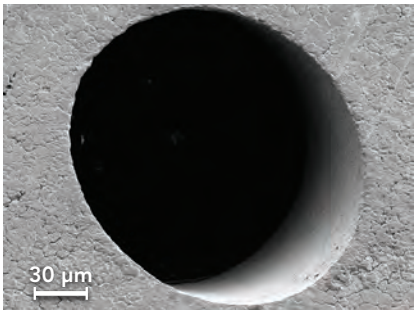


图1：由飞秒激光脉冲钻出的燃料喷射头孔。

超短脉冲激光

钻更小的孔、提高钻孔速度、提高孔的精度和质量，以及降低工艺的能耗，导致对提高工业加工的产量和质量的不断需求。这符合新的特定需求，带来新的激光钻孔技术的正常发展。最新的主要创新之一，是使用所谓的超短脉冲激光（USP）微加工工具。

超短脉冲激光器通常以高重复频率（有时每秒超过十万个脉冲）提供短而强的光脉冲。这些激光器的突出特点，是它们可以在极短的时间内，大约一皮秒（10^{-12} 秒）到几十飞秒（10^{-15} 秒），集中脉冲的发光强度。每个脉冲都带有一定量的能量，但其短促性使其能够获得相当高的峰值功率（高达几十瓦）。对于 USP 激光，脉冲是如此短而且有能量，以致它们几乎瞬间去除被照射的材料。这些激光器的超短脉冲不会像更常规的激光那样，通过能量被吸收为热量来移除材料，而是在没有热效应的情况下导致物质的电离。这种效应被称为冷烧蚀，允许最小的内部应力、裂缝、毛刺和其他通常由吸热引起的缺陷。[2]USP 激光可以每秒快速钻高达数千个孔，[7] 直径小于任何其他工艺（几微米；见图 1）。此外，由于该工艺对加工材料的后处理很少或几乎不需要，因此高速激光器可以以较低的成本提供高生产率，[4] 并且越来越紧凑和经济的商用 USP 激光的可用性，证明了它们用于越来越多的工业应用。

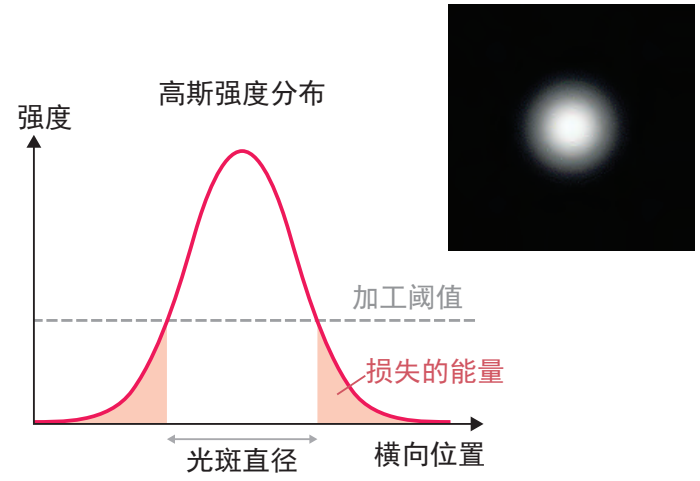


图2：激光光束强度的不均匀分布。

三 维 高 速



凭借全反射设计，excelliSHIFT光学z轴冲击了3D处理动力学记录:

- 比varioSCAN 20的速度快5倍
- excelliSCAN与intelliSCAN扫描头理想的结合
- 适用于红外和倍频激光器
- 将2D扫描头扩展到3D扫描系统

www.scanlab.de

Visit us in hall A2 at stand 225

LASER World of PHOTONICS
JUNE 24–27, 2019, MESSE MÜNCHEN

SCANLAB
innovators for industry

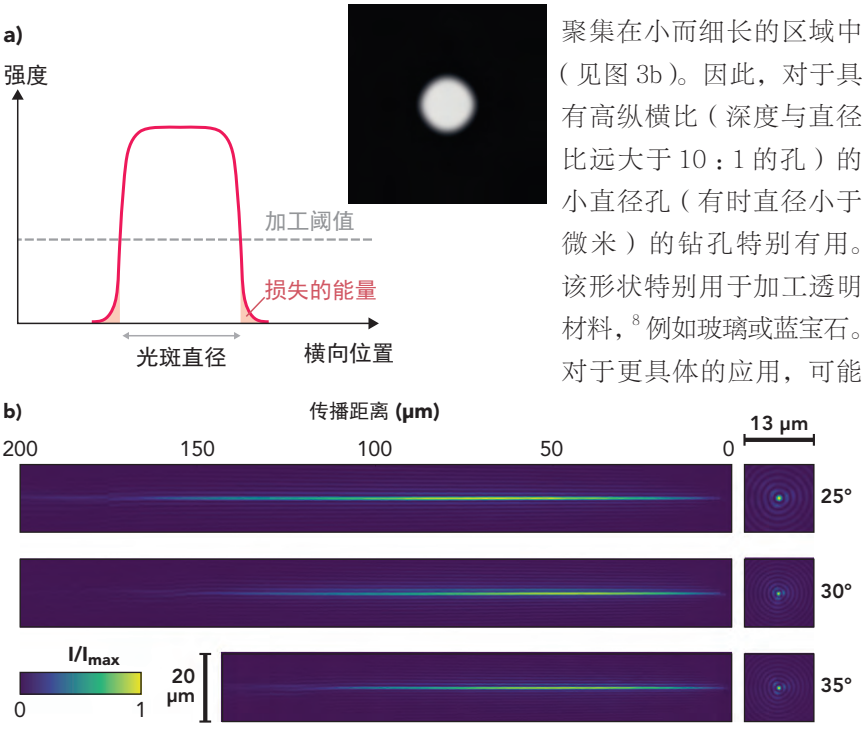


图3：平顶光束轮廓（a）和贝塞尔光束的实验强度分布（b）。

激光光束整形

然而，为了真正最大化该加工的有效性、质量、分辨率和效率，有必要应用适合于给定应用的激光光束整形技术。激光光束自然具有不均匀的横向能量分布（见图 2），这可能导致不必要的能量损失、不准确性和钻孔不规则性。材料的类型、孔的参数、钻孔的质量和生产率都是需要考虑的因素，并且需要优化激光脉冲的强度在加工材料中的分布方式。

根据具体应用的需要，可能需要均匀地集中激光能量，将光束整形成一定的轮廓，或甚至生成若干光束以同时处理多个区域[4,5]并增加工艺的生产率。例如，一种常用的光束形状是平顶轮廓（见图 3a），这使得可以获得均匀强度的激光光斑，从而以更好的分辨率和规则的深度穿透。[6]

另一种常用的形状是贝塞尔光束，它使传播的能量在长距离上强烈聚集在小而细长的区域中（见图 3b）。因此，对于具有高纵横比（深度与直径比远大于 10：1 的孔）的小直径孔（有时直径小于微米）的钻孔特别有用。该形状特别用于加工透明材料，[8]例如玻璃或蓝宝石。对于更具体的应用，可能需要产生更特定几何形状的光束，例如使用无掩模光刻来加工光子晶体或电子微元件。

因此，需要优化该工艺以将激光光束整形单元集成到激光微钻孔系统中。存在几种类型的光束整形技术，例如折射光学元件（ROE）、衍射光学元件（DOE）和空间光调制器（SLM）。这些技术通常以规模化生产使用，但取决于应用，它们往往在可获得的形状类型方面受到限制，受到浅景深（钻孔的有用深度）的影响，并且可能具有降低的效率和高价格。

最近，多平面光转换（MPLC）技术在光束整形方面提供了大量的自由度，同时具有高转换效率（> 95 %）。MPLC 技术自 2013 年开始由法国 CAILabs 公司开发，在整形参数、景深和能效方面取得了创纪录的成果。它可以为激光行业生成标准形状，例如平顶和贝塞尔光束（见图 3），以及针对更具体应用的定制形状，无论使用何种波长。此外，它还提供了新功能，例如多个光束的合束整形，可以生成复杂的形状。

展望

USP 激光光源的不断发展，特别是在功率、效率和成本方面，使得 USP 激光微钻孔成为可以被越来越多的应用所使用的工艺。该技术长期用于小批量生产的原型设计和微加工应用，现在以越来越高的生产率，用作越来越多的大规模应用的顶级方法，例如制造动脉支架、OLED 面板和注射头。[9]为了确保足够的生产率和最佳的加工质量，激光光束整型可以最大限度地提高加工效率。这就是为什么有必要采用光束整形技术，伴随着工艺的发展，能够应对新的微激光钻孔应用的挑战。■

参考文献

1. M. Mielke, Laser Focus World, 49, 11 (Nov. 2013); http://bit.ly/2RJY0eg.
2. K. Sugioka and Y. Chang, Light Sci. Appl., 3, e149 (2014); https://go.nature.com/2UN2ouN.
3. K. Sugioka, Nanophotonics, 6, 2, 393–413 (2017); http://bit.ly/2MTc1p6.
4. S. Sullivan, Industrial Laser Solutions, 31, 3 (May/Jun. 2016); http://bit.ly/2Gvpr9w.
5. E. Mottay, Industrial Laser Solutions, 32, 4 (Jul/Aug. 2017); http://bit.ly/2TIrRFP.
6. K. Fuse, Laser Tech. J., 12, 2, 19–22 (Apr. 1, 2015); http://bit.ly/2MYpLz2.
7. M. K. Bhuyan et al., Appl. Phys. Lett., 97, 081102 (2010); https://doi.org/10.1063/1.3479419.
8. F. Courvoisier, J. Zhang, M. Bhuyan, M. Jacquot, and J. M. Dudley, Appl. Phys. A, 112, 29–34 (2013); http://bit.ly/2Gs6wwq.
9. B. Peatman, Industrial Laser Solutions online (May 3, 2017); http://bit.ly/2RMhgaQ.

A&P INSTRUMENT®
科 藝 儀 器

激光 / 颗粒 / 教育 / 实验室设备的专家

PHOTON ENERGY

CEPHEUS 皮秒激光器

CEPHEUS 1050

水冷　可靠　易于集成
紧凑　突发模态　脉冲需求
低成本　高脉冲能量

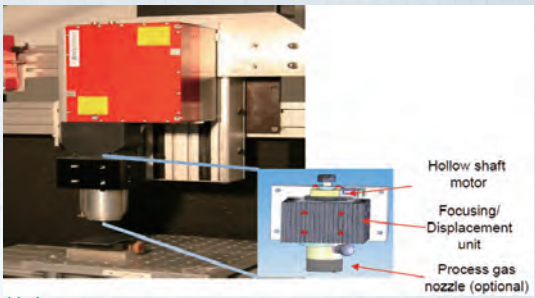


应用：
切割、钻孔、划线 / 表面结构 / 标记
腐蚀自由标记 / 雕刻 / 材料改性

II-VI DIRECT PHOTONICS

直接二极管激光系统

DirectProcess 900



特点：
- 3D龙门系统上的穿孔光学元件
- 引擎采用准直配置
- 重量只有3.5千克

BrightSolutions
SOLUZIONI LASER INNOVATIVE

微型Q开关DPSS激光器

One HP







特点：
- 100µJ @1030nm 或 3W @1064nm
- 只有名片差不多大的激光器

定制振镜镜片



特点：
- 专业制造研发SiC材料专用Galvo振镜镜片
- 提供镜片及镜片座的设计，加工和平衡装夹
- 提供镜片激光高反射率，高损伤阈值的金属膜与介质膜

扫码关注
科艺微信平台

专业　品质　服务

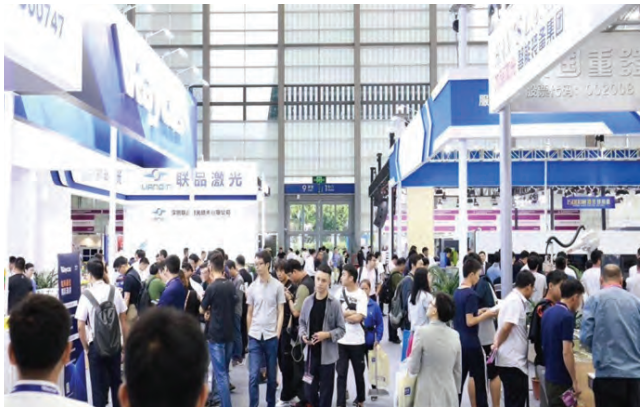
Professional / Quality / Service

www.anp.com.hk

400-886-0017

2019 中国（深圳）激光与智能装备博览会圆满落幕

5 月 10 日，由中国仪器仪表学会、广东省激光行业协会和深圳市科学技术协会主办，汉诺威米兰展览（上海）有限公司及其合资公司汉诺威米兰星之球展览（深圳）有限公司联合承办的第十三届中国（深圳）激光与智能装备博览会（简称：LASERFAIR SHENZHEN 2019）在深圳会展中心圆满落幕。



22,500 平方米的展示区域内陆续迎来富士康、华为、格力、美的、伟创力、维珍妮、格兰仕、欣旺达、新宝电器、比亚迪、万和电气、中兴通讯、TCL、新科、时力科技、天马微电子等海内外 90 多个专业代表团参观采购。展会共计吸引观众 25,686 人次。

品牌云集展示高精尖技术

作为华南激光行业的顶尖盛会，LASERFAIR SHENZHEN 2019 吸引了大族、海目星、宏山、迅镭、邦德、天弘、领创、普睿玛、亚威、嘉泰、大鹏、联赢、逸飞、恩耐、锐科、华日、创鑫、热刺、富通尼、飞博、凯普林、联品、德尔激光、雷佳、金石三维、光韵达等 200 家知名企业在激光焊接 / 切割、激光精密加工、3D 打印、激光制造与光电子等数个版块演绎各类激光智能制造的创新案例。

其中，天弘激光全球首创的“100 英寸触摸屏激光线扫描刻蚀系统”采用多头互联技术，大大提升了设备使用的舒适度；海目星首次在国内展出最新自主研发的万瓦级激光重型智能机床 HF3015H-15000，该机床专为超高功率激光设计，能稳定持续地加工各类超厚板材；锐科激光带来单模组连续光纤激光器、窄脉宽脉冲光纤激光器、调 Q 脉冲光纤激光器和光纤输出半导体激光器等多款热门机型；逸飞主打动力电池激光智能生产线；亚威现场展示其 8000W 高速光纤激光切割机和 2000W 光纤激光切管机。

世界激光制造大会引领风向

由汉诺威米兰展览全新组织的 2019 世界激光制造大会于展会首日隆重举行，美国激光学会主席钟敏霖教授、日本光学学会专家早崎芳夫教授、新加坡光学与光子学学会主席 Anand Asundi 教授、瑞士光电联合会创始人之一 Beat Neuenschwander 教授、武汉．中国光谷激光行业协会会长朱晓教授、澳大利亚光学学会会长 John Harvey 教授、俄罗斯激光协会萨拉托夫区域中心秘书长 Sergei Sokolov 博士、立陶宛激光协会董事局成员 Kestutis Jasiunas、恩耐激光光纤激光器技术副总裁 Dahv Kliner 博士、广东国志激光技术有限公司首席科学家马修泉博士、百超（上海）精密机床有限公司业务发展总监姜洋等近 20 位海内外光学、激光行业专家学者、行业领军代表，分别就超快激光纳米结构、飞秒激光全息加工、数字光学计量、激光微加工、工业激光器、激光材料加工、光纤激光器等行业专业技术及各国激光市场发展概况发表演讲。

值得一提的是，中国激光产业社团联盟、俄罗斯激光协会、欧洲光电产业协会、日本激光加工学会、新加坡光学与光子学学会、立陶宛激光协会、澳大利亚光学学会、瑞士光电联合会、中国台湾雷射科技应用协会和中国广东省激光行业协会还在大会现场共同成立了世界激光制造大会理事会，理事会旨在依托世界激光制造大会建立联络机制，研发世界激光制造行业报告，打造激光制造智库，搭建世界性激光制造交流平台。

展会同期还举办了 2019 中国激光金融产业链会议、ALAT2019 深圳（国际）前瞻激光技术大会、第七届亚洲（深圳）增材制造及高机能材料大会、ALAT 2019 年中国高能量激光自动化加工大会、ALAT 2019 中国超快激光微纳加工大会等七大论坛，重点围绕华南激光产业应用需求，以精密、高效、柔性、成套，绿色为方向，深入分析激光及 3D 打印发展现状及行业瓶颈，为激光产业链创新献计献策。

自 2020 年起，展会将移入深圳国际会展中心（宝安新馆）举办，下届举办时间为 2020 年 6 月 2-5 日。■

安特
Ante



SCANLAB扫描振镜



声光/电光器件

创新

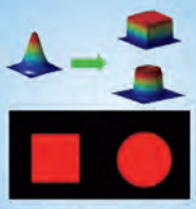


超快激光镜片

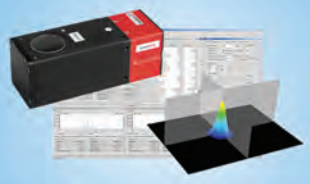
专业



SILL场镜/扩束镜/聚焦镜



衍射光学镜片（DOE）



聚焦光斑分析仪

高效



视觉机器人



半导体驱动电源



机器视觉/可调焦液态镜头

安特为以下品牌提供售前、售中及售后服务

Gooch & Housego　Sill Optics　optotune　UNIK LASERS　TYDEX　metrolux　ClarkMXR, Inc.　UNIVERSAL LASER SYSTEMS　pantec　Andover Corporation　TM　Rated Crystals

PLASMA　HOLOOR　GEOLA　Inradoptics　BATOP　art photonics　CVI Laser Optics　covesion　SCIENTIFIC MATERIALS CORP.　OEM Tech　ONYX Optics Inc.

广州安特激光技术有限公司
电话：020-2839 5163/5164/5032
地址：广州市科学城彩频路11号广东软件园F栋二楼
网址：www.antelaser.com　Email:sales@antelaser.com

咨询热线
400-666-8955

关注安特微信，获得更多最新信息。

过去和现在
Then and Now



时间到了2019年，超过50亿美元的激光产业继续为当今的加工问题提供先进的激光解决方案。

作者：David Belforte

几个广泛推广的应用，非常高的功率（10千瓦以上）厚截面光纤激光切割和激光水下切割，让我回忆起我已经参与了高能量密度材料加工领域很长时间了，因为这些都是“转来转去”的过程。实际上，我已参与了很长时间，因为明年我将庆祝工业激光材料加工50年。在此之前，我还有七年的电子束焊接经验。我的激光背景与激光武器的背景密不可分，最近出版的一本可读性很强的书让我想起了激光武器，这本书是由我的朋友兼同事杰Jeff Hecht撰写的—激光、死亡射线以及对终极武器的长期奇怪的探索（普罗米修斯（Prometheus）的著作）。

当时，作为Raytheon公司研究人员的一员，我是一个陶瓷工程小组的成员，负责生产用于高输出功率固态激光器的红宝石晶体棒，这是一个公司为政府提供实质性资金的投标。Jeff在他的书中很好地描述了这段激光发展时期，尽管他放弃了Raytheon早期的努力。但他确实提到了如何处理激光的材料，我最终与之合作的激光器，在某一点上被认为是未经证实的新激光技术的替代品。

Jeff还讨论了当时秘密的高能激光器，当我在Avco Everett Metalworking Lasers公司担任应用主管时，他正在工业大功率二氧化碳应用实验室附近的一个实验室中进行测试。每一次他们发射一个脉冲，紧接着是大量的副产品被炸毁，它也因此而有了秘密的名称——Thumper。工业激光解决方案编辑顾问Stan Ream当时是我们的应用工程师，今天仍然记得“它常常把我们吓跑，灰尘从墙上掉下来。”这些气体被我们的空调吸入，送入我们的激光罩，在那里它们导致二氧化碳激光束“开花”并失去焦点。这在来访的制造工程师中引起了恐慌，随着周围空气的净化，总是会留下很多口实。我们从潜在客户那里得到了关于其问题的答案，他们中的许多人回到了他们的行业公司，讲述了他们无意中听到的秘密激光实验。

好吧，那是过去的事，现在是2019年了，超过50亿美元的激光产业继续为当今的加工问题提供先进的激光解决方案。一个合格的作者团队就当前热门话题发表了专题文章：增材制造、塑料与金属的连接、可控光束成形和医疗器械的黑色打标。

也许欧洲比美国更热的是用激光将塑料与金属连接在一起。Annett Klotzbach和同行（Fraunhofer IWS）已经实现了自定义的目标，即开发用于直接连接和成型连接的生产性解决方案（见第42页）。

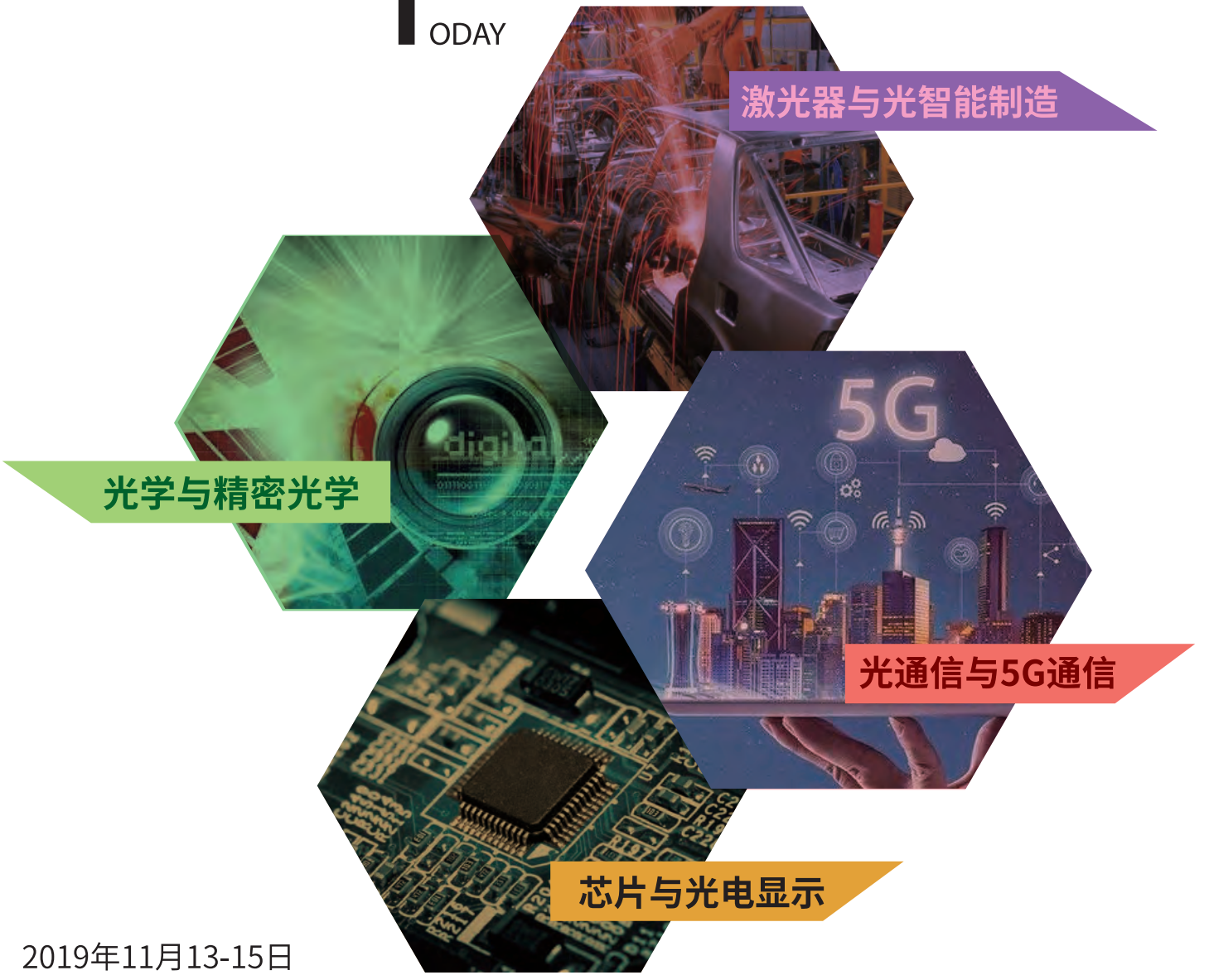
Sami Laroui（CAILabs；见第48页）写道，欧洲似乎也在利用自适应光束整形技术引领这一潮流，同时提高激光钻孔工艺的效果。■

第十六届“中国光谷”国际光电子博览会暨论坛（OVC EXPO 2019）

OVC EXPO 2019

PHOTOELECTRONICS

FUTURE AND TODAY



2019年11月13-15日

武汉·中国光谷科技会展中心

www.ovcexpo.com.cn

CIOE
中国国际光电博览会
CHINA INTERNATIONAL
OPTOELECTRONIC
EXPO

第21届
中国国际光电博览会

激光技术及智能制造展
Lasers Technology & Intelligent Manufacturing Expo

2019年 **9月4-7日** 深圳会展中心

专注于激光精细加工和创新应用

展品范围

激光材料、激光组件及装置、激光器、激光设备、
激光特种应用、高端智能装备、3D打印/增材制造

同期展会

- 光通信展 Optical Communications Expo
- 精密光学展 镜头及摄像模组展 Precision Optics, Lens & Camera Module Expo
- 红外技术及应用展 Infrared Applications Expo
- 光电子创新展 Photonics Innovation Expo
- 光电传感展 Optoelectronic Sensor Expo



扫码即刻登记参观
CIOE中国光博会

110,000m² 展出面积
70,000+名 专业观众
2,000+家 参展企业
4,000+个 参展品牌

（数据来源：CIOE中国光博会组委会）

了解更多，请关注
WWW.CIOE.CN

Connecting Global Competence

Messe München

Laser South China

华南先进激光及加工应用技术展览会

2019.10.10-12
深圳会展中心

呈现激光加工新技术和解决方案
助力华南制造企业提升实力
22,500平米 400家展商 25,000观众



展位销售热线

021-2020 5640

lasersc@mm-sh.com

LEAP Expo 成员展

Automation & EMA
深圳国际自动化及机器人技术展览会
深圳国际电子智能制造展览会
Automation & EMA
www.emaexpo.com

productronica South China
慕尼黑华南电子生产设备展
productronica South China
www.p-southchina.com

South China Advanced Laser Technology and Application Exhibition
华南先进激光及加工应用技术展览会
South China Advanced Laser Technology and Application Exhibition
www.lasersouthchina.com

广告索引 Advertisers Index

Advertiser	广告商名称	网址	页码
A&P	科艺	www.anp.com.hk	49
ACS Motion Control (China)		www.acsmotioncontrol.cn	8
Aerotech		www.aerotech.com	1
Amplitude	奥徒（上海）激光技术	amplitude-laser.com	19
AMTS	上海国际汽车制造技术与装备及材料展览会	www.shanghaiAMTS.com	IBC
Ante	安特激光	www.antelaser.com	51
Beijing Reci Laser Technology	北京热刺	www.recilaser.com	39
CIOE	中国国际光电博览会	www.cioe.cn	54
Coherent (Beijing) Commercial	相干	go.coherent.com/HighLightFL-ARM	IFC
Dephilaser	德龙激光	www.delphilaser.com	23
Feibo	飞博	www.feibolaser.com	21
IPG (Beijing)	阿帕奇（北京）	www.ipgphotonics.com/cn	11
Laserline	利泽莱恩	www.laserline.com	7
Lead Laser	领创激光	www.lead-laser.com	15
LOGAN laser Technology (Wuhan)	罗根激光	www.loganlaser.com	25
LEAP-laser		www.lasersouthchina.com	55
MAX Photonics	创新激光	www.maxphotonics.com	31
MWCS	数控机床与金属加工展	www.metalworkingchina.com	13
Newport		www.newport.com	20
NPI Laser	诺派激光	www.npilasers.com	27
NUBURU		www.nuburu.net	9
Ophir		www.ophiropt.com/photonics	18
OVC EXPO	第十六届‘中国光谷’国际光电子博览会暨论坛	www.ovcexpo.com.cn	53
Precitec	普雷茨特	www.precitec.com	5
Raycham	中科煜宸	www.raycham.com	35
Raylase	瑞镭激光	www.raylase.com	29
RFH LASER	瑞丰恒	www.rfhlasertech.com	33
Santec	圣德利	www.santec.com.cn	45
Scanlab		www.scanlab.de	47
Shangdong Huaguang Opteletronics	山东华光	www.hggd.cn	37
Suzou Everbright	长光华芯	www.everbrightphotonics.com	17
TRUMPF (China)	通快(中国)有限公司	www.trumpf.cn	BC
United Winners	联赢	www.uwlaser.com	41
Wuhan Kebei Technology	科贝激光	www.kblaser.com	43

行政人员 Administration

HK Office (香港办公室)

ACT International (雅时国际商讯)
Unit B, 13/F, Por Yen Building,
No. 478 Castle Peak Road,
Cheung Sha Wan, Kowloon, Hong Kong
Tel: 852 2838 6298

Publishing Director (出版总监)
Adonis Mak (麦协林)
adonism@actintl.com.hk

General Manager - China (中国区总经理)
Michael Tsui (徐旭升)
michaelt@actintl.com.hk

Editor-in-Chief (总编辑)
Katie Huang (黄莺)
katieh@actintl.com.hk

US Offices

Industrial Laser Solutions For Manufacturing
61 Spit Brook Road, Suite 501, Nashua, NH 03060

Vice President/Group Publisher
Alan Bergstein
abergstein@endeavorb2b.com

Editor in Chief
David A. Belforte
dbelforte@endeavorb2b.com

销售人员 Sales Offices

China (中国)

Hong Kong (香港特区)
Mark Mak (麦协和)
markm@actintl.com.hk
Tel: 852 2838 6298

Shanghai (上海)
Sales Director-China
(中国区销售总监)
Hatter Yao (姚丽莹)
hattery@actintl.com.hk

Amber Li (李歆)
amberl@actintl.com.hk
Tel: 86 21 6251 1200

Shenzhen (深圳)
Jenny Li (李文娟)
jennyl@actintl.com.hk

Gavin Hua (华北平)
gavinh@actintl.com.hk
Tel: 86 755 2598 8571

Beijing (北京)
Cecily Bian (边团芳)
cecilyb@actintl.com.hk
Tel: 86 10 8484 4007

Wuhan (武汉)
Sky Chen (陈燕)
skyc@actintl.com.hk
Tel: 86 137 2373 9991

Eva Liu (刘婷)
eval@actintl.com.hk
Tel: 86 138 8603 3073

Grace Zhu (朱婉婷)
gracez@actintl.com.hk
Tel: 86 159 1532 6267

Asia (亚洲)

Japan (日本)
Masaki Mori
masaki.mori@ex-press.jp
Tel: 81 3 6721 9890

Taiwan, Singapore, Malaysia (台湾，新加坡，马来西亚)
Regional Sales Director
Mark Mak (麦协和)
markm@actintl.com.hk
Tel: 852 2838 6298

North America (北美)

Southeast, Midwest, Mid-Atlantic and Eastern Canada
Jeff Nichols
Jeffn@pennwell.com
Tel: 1-413-442-2526

US-West and Western Canada
Anne Marie St.John-Brooks,
annemarie@pennwell.com
Tel: 510.606.0630

Europe & Middle East (欧洲及中东)

Europe
Holger Gerisch
holgerg@pennwell.com
Tel: 49(0)8801 9153791

Israel
Dan Aronovic
aronovic@actcom.co.il
Tel: 972-9-899-5813

List Rental
Kelli Berry
(918) 831-9782
kellib@pennwell.com

AMTS

Automotive Manufacturing Technology & Material Show

上海国际汽车制造技术与装备及材料展览会

Shanghai International Automotive Manufacturing Technology & Material Show

材料 Materials | 设计 Design | 工艺 Processing | 装备 Equipment | 质量 Quality | 装配 Assembly | 工程 Engineering | 服务 Service



汽车工程领域国际盛会

激光工程展区

聚焦集成化激光智能制造及柔性加工系统在汽车行业的应用

SINCE 2004

2019.07.03-06

上海新国际博览中心

W1,W2,W3,W4,W5,E1,E2,E3馆

15th ANNIVERSARY 2004-2019

Reed Exhibitions® Hengjin

励进展览(上海)有限公司

扫码预登记

免50元门票费

86-21-64681300 amts-visitor@reedhengjin.com www.shanghaiAMTS.com

TRUMPF

The Power of Choice

LASERS BY TRUMPF

通快 1kW 连续绿光碟片激光器
TruDisk 1020

铜材料焊接
的最佳方案



01
极佳品质
几乎没有飞溅

02
高一致性
得益于恒定的功率

03
高生产率
加工高反射铜材料

04
成熟的碟片激光技术
长期市场考验

应用



DCB 接触片焊接



铜箔焊接



汽车电控系统内的铜焊接

通快（中国）有限公司

江苏省太仓市南京东路 68 号　　邮编 215400
电话 +86 512 5328 7700　　传真 +86 512 5328 7751
邮箱 info@cn.trumpf.com　　网址 www.trumpf.cn

关注通快 官方微信