

托盘

激光抛光技术推动了光学和模具制造

弗劳恩霍夫 ILT 研究所在亚琛市举办了第四届激光抛光技术讲座。参加技术讲座的专业人士共计 70 余人。讲座中介绍了激光是如何进行抛光的，都能完成哪些抛光任务。

文 | Nikolaus Fecht



更多精彩内容请扫描二维码

2014 年，弗劳恩霍夫激光技术研究所 ILT 举办了第一届在国际间交流激光抛光技术成果的 LaP 激光抛光技术大会。从那时起，弗劳恩霍夫激光技术研究所 ILT 负责激光去毛刺和抛光技术的 Edgar Willenborg 博士领导的团队就将这一会议发展成一个备受关注的全球性激光抛光技术的专家会议了。在今年，来自美国、加拿大、中国、欧洲和世界各地的与会者首次参加了虚拟的“第四届 LaP 激光抛光会议 2020”视频会议。本届激光去毛刺和抛光技术大会的重点是激光加工时 AI 人工智能支持下高速监控的可能性和 9 轴联动的同步加工。与会的每一个人都认为：视频会议收到了令人非常满意的成果。

北京清华大学工程系的研究员 André Temmler 博士在第一次的在线视频会议上发表了演讲。这位原弗劳恩霍夫加工技术研究所原领导人不仅展示了高速拍摄的激光重熔高清晰度影片，而且还展示了一种新的、可以重组金属溶液成分结构的组合激光工艺技术 (hybriden Laserprozess)。



图 1 激光抛光技术也可以加工由 BK7 材料制成的光学镜片（左图为镜片毛坯）

通过激光重熔优化激光束

介绍的后一种新办法是利用 CW 连续激光（即连续的、非脉冲式的激光，焦点为 560 μm ）产生一条焊缝，第二条（焦点为 17 μm 的脉冲式）激光束，也就是产生“重熔”的激光束则利用蒸汽压力清理焊缝表面并使焊缝熔池产生变形。

令人兴奋的是：试验时采用的是标准的工艺过程，能够很好的完成 H11 号工具钢的激光抛光任务。在实验室条件下可以实现表面粗糙度 $R_a=0.5 \mu\text{m}$ 的抛

光精度。这一技术的关键是正确的选择工艺参数和正确的保护气体类型。加拿大（安大略）设在英国伦敦的加拿大国家研究所研发团队领导人 Evgueni V. Bortdatschec 博士介绍了如何利用激光技术加工 PMMA（丙烯酸或者普通有机玻璃）材料汽车大灯复杂表面的。在联邦德国与加拿大的激光联合进行的试验项目旨在寻找能够替代金刚石刀具重熔的工艺技术。在弗劳恩霍夫研究所 ILT 和亚琛工业大学 RWTH 的帮助下可以用

100 W 的激光器对 1.2343 号模具钢进行加工，并有着很高的加工效率。

来自芬兰约恩苏市北卡莱累阿应用科学大学（东芬兰分校）的 Hemmo Touvinen 博士介绍了金属表面激光抛光的研究成果。报告介绍了化学镀镍金属激光抛光的研究进展。研究结果表明：利用脉冲宽度 7 nm 的 Nd:YAG 激光（波长 1064 nm，）可以很好的清除金刚石刀具加工时产生的周期性微观结构；将表面粗糙度提高到 40 nm。

更快、更精确地抛光玻璃

弗劳恩霍夫 ILT 研究所 Willenborg 博士团队的研究员 Manuel Jung 先生也在会议上展示了一种光学镜片激光抛光的混合抛光技术。与亚琛的 Deggendorf 应用技术大学在 HyoptO 项目中进行的合作研究了光学镜片的生产成本和生产时间。

光学镜片的加工工艺包括了粗磨、激光抛光和最后的机械校正抛光。所有激光抛光工艺过程中使用的都是 CO₂-CW 激光（波长 10 600 nm，1 kW 功率）。对直径 30 mm 镜片进行的 10 s 激光抛光明显的缩短了后续机械校正抛光的时间。试验的结果给人留下了深刻的印象：

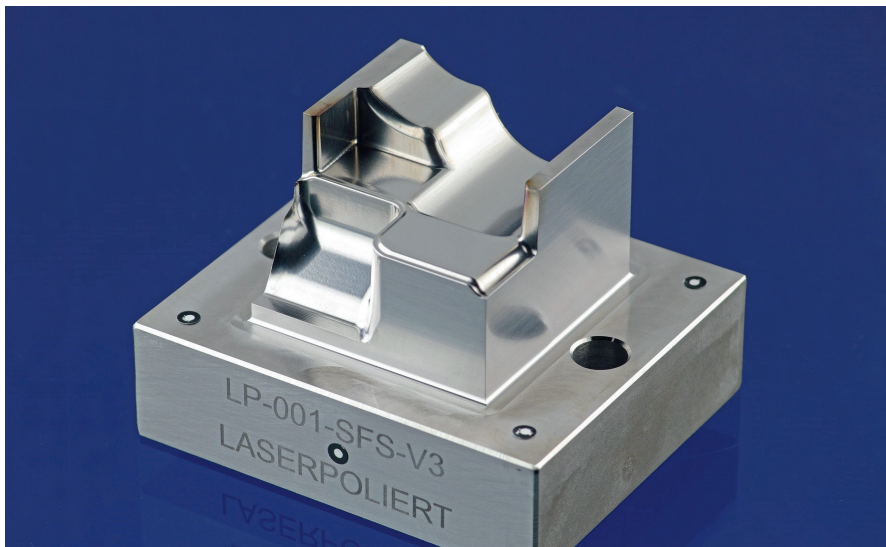


图 3 在模具和工具制造中激光抛光技术也具有很多优势

混合式的激光抛光工艺过程将 NBK7 硼硅无铅玻璃标准镜片的加工时间缩短了 29%，将光学石英玻璃镜片的加工时间缩短了 63%。

中国深圳信息技术研究所还开发了一种很有优势的激光组合加工技术。研究所的研究人员 Bowei Luo 博士介绍了在永磁磁场中利用激光抛光技术对工具钢进行抛光的情况。在没有磁场的情况下，功率 400 W、激光束最大脉冲为 0.54 mm 的 Q 开关固体激光器能够实现

的表面粗糙度为 Ra=0.514 μm；在磁通量密度为 0.4 T 至 0.168 μm 时就明显的提高了加工出来的表面粗糙度。试验结果表明：即使在磁场很弱的情况下，磁场环境中的激光抛光效果也会有明显提高。但磁场强度为 0.4 T 时效果最佳。到目前为止，再提高磁场强度也没有收到更好的抛光效果。

激光光束的摆动也可以降低粗糙度

美国威斯康星大学麦迪逊分校和德国不莱梅射线技术研究所的美国科学家 Patrick J. Faue 先生在激光束摆动抛光项目的框架内介绍了利用摆动激光束进行抛光的研究成果：激光束螺旋运动和圆周运动的叠加可以导致激光束抖动。试验时使用的光纤激光器最大功率为 30 W（波长 1.070 nm，聚焦光点直径 150 μm），并以 30 mm/s 的进给量对 316 L 不锈钢进行抛光。由德国人和美国人组成的实验团队研究了三种（1 ~ 15 μm 脉冲范围内）不同激光束抛光抖动时对激光抛光质量的影响。有趣的是：在这三种抖动运动情况下激光抛光的表面粗糙度都提高了 60% 以上。但也都带来了一些不利影响，例如表面起伏不平的波纹。

增材制造技术生产制造的零部件也是 LaP 2020 会议的一个内容。北京航



图 2 利用激光抛光工艺修复的压铸滑块。若用金刚砂手工研磨可能要耗费数小时的时间

空航天大学的管迎春女士介绍了利用激光抛光技术对粉末床激光熔化增材制造零件进行抛光的技术方案。所介绍的解决方案对钛合金和镍合金 (Inconel 718) 材料增材制造零部件的抛光有着理想的成效, 成功的将它们的表面粗糙度 Ra 从 $10\text{ }\mu\text{m}$ 降低到了 $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 。涡轮机 (叶片) 零件的抛光效率很高, 达到了每小时 $100 \sim 400\text{ cm}^2$; 并且也将叶片的硬度和耐磨性分别提高了 $25\% \sim 40\%$ 。

BIAS 的科学家 Lucas-Hermann Beste 先生和美国威斯康星大学麦迪逊分校的同事研究了如何利用激光抛光技术降低 LPBF 零件靠近表面的孔隙。研究时使用的材料是一种医疗技术领域中集成使用的 CoCr 钴铬合金。在氩气保护气体的保护下, 一台 35 W 的 Q 开关固体激光器 (1080 nm) 用 $120\text{ }\mu\text{m}$ 的激光束、每秒钟 $120 \sim 200\text{ mm}$ 的进给量抛光了一个小型钴铬合金立方体。抛光后表面的孔系率降低了 63%, 表面粗糙度 Ra 提高了 75%, 平均为 $2\text{ }\mu\text{m}$ 。

工具和模具对抛光的要求特别严格, 因为抛光质量的好坏会影响或者降低产品的质量和外观。亚琛工业大学 RWTH 数字化增材制造系的 Laura Kreinest 女士解释说: 因为这些零部

件对几何精度的要求很高。只有利用激光抛光技术才能完成这些零件特殊表面的精加工。她展示了利用 GGG40 激光设备加工玻璃瓶的实例。

激光抛光使用的工艺技术有三种: 5+3 轴加工, 8 轴加工或者 9 轴加工的激光抛光工艺。当零件几何形状非常复杂时, 最好采用 9 轴加工工艺技术; 因为它能在工件坐标系中按照 CAM-NC 运动轨迹进行抛光。这里采用了有 ILT 开发的、并已得到实践验证的 CAM-NC 数据链技术 (例如 Powermill 软件, TP4 工艺处理程序, LasPC 等)。

Ravensburg 市的 Arnold 公司展示了一台激光抛光设备。这台抛光机适合加工的零件最大重量为 100 kg, 最大直径 450 mm。

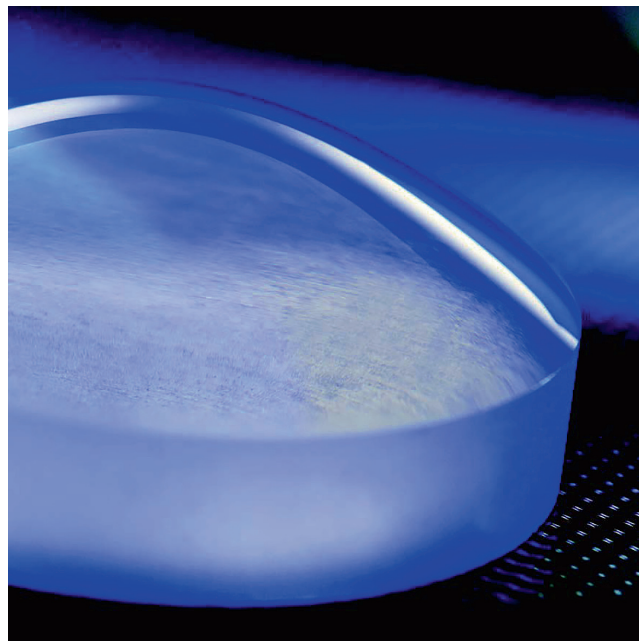


图 5 弗劳恩霍夫 ILT 研究所在亚琛召开的第四届激光抛光会议 LaP 2020 已证明: 激光抛光技术能够最佳的完成最后的精加工工序

AI 人工智能技术减少了激光加工所需的数据量

当用户从工艺过程可靠性的角度来考察时就会发现许多可以提高激光抛光质量的影响因素。副教授 Jack Anthony Beyfuss 先生说道: 弗劳恩霍夫 ILT 研究所在亚琛召开的第四届激光抛光会议 LaP 2020 已证明: 激光抛光技术能够最佳的完成最后的精加工工序。这里展示了一个激光抛光的非球面玻璃体。在抛光这一非球面玻璃体时, 加拿大、英国伦敦国家研究所使用了热成像实时监控技术和 AI 人工智能软件。Tachyon 中波红外 MWIR 摄像系统以每秒钟 3000 张的速度拍摄了 (64×64 像素) 的 ($5 \sim 35\text{ W}$) 激光抛光器的工作过程, 以便在 MATLAB 软件的帮助下分析如何有效的减少下一步激光抛光时所需的数据数量。根据 Beyfuss 先生介绍: 对模式识别的分析可以选择出最合适的激光抛光信息特种。

他利用具有机器学习能力的 AI 人工智能程序结合 (概率分析的) 贝叶斯网络, 帮助分析所有非球面激光抛光变量数据的使用概率分布以及条件独立性的概率分布情况。MM



图 4 Ravensburg 市 Arnold 公司研发生产的、能够完成不同材质零件激光抛光的加工设备