

激光加工在工业制造业中的市场分析

卢飞星

武汉华工激光工程有限责任公司副总经理、技术中心主任

E-mail: lfx@hglaser.com

中图分类号: V261.8 doi: 10.3788/LOP20094609.0024

1 引言

工业激光加工设备是集光学、机械、电气与自动控制、计算机软件和材料科学于一体的综合性高技术装备,是科技资源高度整合的产物。

激光标记、激光焊接、激光切割、激光打孔、激光调阻等技术在工业制造业中的应用,对提高产品质量、提高劳动生产率、减少材料消耗有重要意义,也为实现自动化和无污染制造提供了技术基础。

2 激光加工设备发展现状及前景

2.1 激光加工设备发展现状

激光加工设备是集多种高技术于一体的高科技产品,几乎存在于所有工业部门,体现着一个国家的生产加工能力、装备水平和竞争能力。激光加工设备制造业是当今各个国家最为关注和发展最为迅速的产业之一。

过去的十几年中,激光应用技术设备的年销售额平稳增长,如图1所示,2001年全球激光加工设备销售额约28亿美元,2005年销售额已达到43.18亿美元,2007年销售额约为61.32亿美元,2008年为63.60亿美元^[1]。

中国工业激光市场1995年前后才刚刚起步,比发达国家晚20年左右。2001年国内激光加工设备市

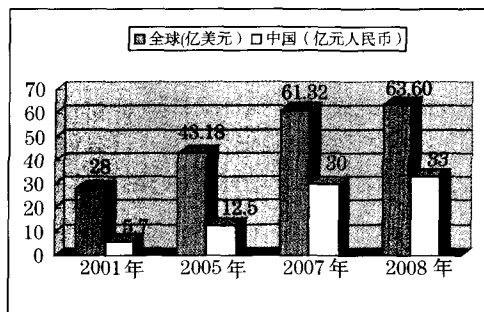


图1 2001-2008年全球、中国激光加工设备销售额对比

场销售额仅为5.7亿元人民币,2005年达到12.5亿元人民币,年均增长速度在30%以上,2007年达到30亿元人民币。随着中国经济的快速增长,保守估计2005~2010年激光加工设备的年均增长率将保持在15%~30%之间,到2010年市场销售额将达到45亿元人民币。

2.2 激光加工设备的发展前景

在图2中,2008年按数量划分的应用领域中,钻孔应用增长了3%,得益于用于军用发动机的汽轮机叶片钻孔新技术和食品及医药包装行业对激光微孔应用的增量需求^[1]。微加工市场受到半导体行业不景气的拖累,下降了3%。打标和切割的份额略有下降,反映出经济的减缓现状,与此同时,包括快速成型和制造以及表面处理应用在内的其他类别增长了2%。

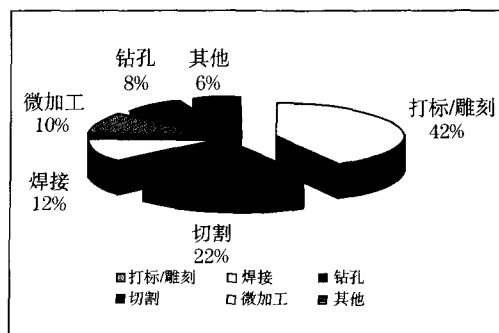


图2 2008年全球工业激光应用分布(按台数划分)

由此可见,制造业装备水平的逐步提高,将会对激光加工设备制造业提出新的要求,从而带动激光加工设备的发展,两者相互促进,共同发展。随着国内经济的快速发展和各种激光加工技术系统的进步,工业激光应用市场在不断扩大,激光加工领域也在不断开拓,由传统的钟表、电池、衣扣等轻工行业,向电子行业、机械制造业、汽车制造业、航空、动力和能源以及医学和牙科仪器设备制造业等应用领域拓展。

3 工业制造业中的激光加工技术

3.1 激光打标技术的市场分析

激光打标技术是近几年发展最快的一项应用技术。激光打标是利用高能量密度激光对工件进行局部照射,使表层材料汽化或发生颜色变化的化学反应,从而留下永久性标记。激光打标有许多独特的优点,能标记各种字型、图案、数字以及条形码,标记线宽可小于 0.01 mm。打标深度可深可浅,对很小零件也可进行标记,这是其他标记方法不能实现的,见表 1。

表 1 激光打标和丝网印刷的比较

	丝网印刷	激光打标
无需预处理(如预热过程)	×	√
减少零件的更换(无需更换胶辊、乱板等)	×	√
无需额外设备(如 UV 仪器)	×	√
消除环境污染(如臭氧或 UV 污染)	×	√
无需额外耗材及人工	×	√

表 2 激光打标和热转印的比较

	热转印	激光打标
提供清晰的标记,无残缺或模糊的字符	×	√
自动标记日期和编号	×	√
在弯曲或柔软的物体上标记清晰的字符	×	√
在高速生产线上实现在线标记	×	√
无需额外耗材	×	√

激光打标具备永久性,可作防伪标记(见表 2),也属不接触加工,对零件表面没有损伤;标记的字符清晰,图形质量好;效率很高,成本低,可对多种材料进行标记;计算机操作易于更换标记内容,可进行一个零件一个标记。由于激光打标的优越性,其已广泛应用于电子工业、汽车工业、医疗产品、五金工具、家用电器、日常用品、标签技术、航空工业、证件卡片、珠宝加工、仪器仪表以及广告标牌等。典型应用包括各类金属和非金属材料及产品表面的打标,如不锈钢、铝合金、有机玻璃、陶瓷、塑料、合成材料、木材、橡胶皮革、纸品、印制电路板、集成电路、电器接插卡、各类仪

表和控制面板、钮扣、化妆品包装、食品包装、文具、香烟、雷管、轴承、齿轮等。

目前激光打标机市场规模是 6 亿元人民币左右,2008 年国内激光标记占国内工业激光市场 45.3%^[2]。

从 2006 年以后,电子器件的收入增速始终高于下游整机行业,在 2008 年以后表现得更加明显,电子组件和器件的收入增长率都超过 30%。如图 3 所示^[3],导致这种局面的深层次原因是整机制造业更加偏向劳动密集型,向中国的产业转移已经比较充分,如笔记本、手机等产品在中国的制造比例都已经超过 50%,由此判断元器件产业未来几年的增速将始终高于整机,电子行业在较长的时间内,仍是激光加工技术应用的龙头行业。

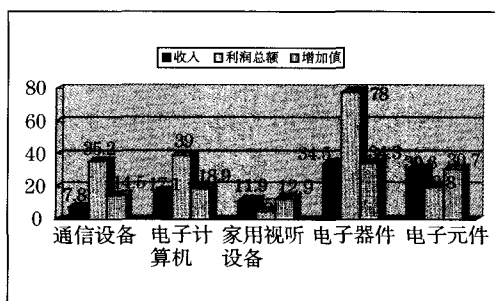


图 3 2008 年 1~5 月主要细分行业收入、利润总额和工业增加值的同比增速(单位: %)

随着中国对食品和药品安全越来越重视,激光打标机市场需求将更加巨大,预计将继续保持每年 30% 以上的增长率。由于激光打标设备的功能类似于印刷与打印设备的功能,随着产业的发展,激光打标设备行业正独立于其他激光应用技术行业,向数码印刷、打印行业融合。因其独具的在各种材料及异形表面标记的功能,拓展了印刷的内涵和外延,成为广义的印刷设备。随着应用领域的推广,激光打标设备制造行业在激光加工设备制造行业的市场中将占据更大的比例,并具有广阔的市场前景。

3.2 激光焊接技术的市场分析

激光焊接是激光材料加工技术应用的重要方面之一。20 世纪 70 年代主要用于焊接薄壁材料和低速焊接,焊接过程属热传导型,即激光辐射加热工件表面,表面热量通过热传导向内部扩散,通过控制激光脉冲的宽度、能量、峰值功率和重复频率等参数,使工件熔化,形成特定的熔池。由于其独特的优点,已成功应用于微、小型零件的精密焊接中。表 3 为激光焊接与传统焊接技术的比较。

以汽车制造业为例,激光用于汽车零部件甚至汽

表 3 激光焊接和传统焊接工艺比较

焊接工艺	精度	变形	热影响	焊缝质量	焊料	使用条件	焊接效率	焊接速度	运营成本	可靠性
激光焊	精密	小	很小	好	无	无	高	快	低	高
钎焊	粗糙	一般	一般	一般	需要	整体加热	一般	低	低	高
电阻焊	粗糙	大	大	一般	无	需要电极	高	一般	高	一般
氩弧焊	一般	大	大	一般	需要	需要电极	低	慢	高	一般
等离子焊	较好	一般	一般	一般	需要	需要电极	高	高	低	一般
电子束焊	精密	小	小	好	无	需要真空	高	快	高	低

车整车的焊接已经有二十多年的历史,在汽车工业极为发达的欧美国家,激光焊接已经成为最先进的汽车制造工艺中一种标准工艺,广泛应用于汽车齿轮(包括联体齿轮)、汽车变速器、滤油器、汽车空调皮带轮、液压挺杆、ABS 电池阀、安全气囊点火器、锂电池、喷油嘴、车灯、传感器等零部件。车顶、车门、车尾箱、发动机顶盖等车体部位的激光焊接应用也非常广泛^[4]。

激光焊接是将高强度的激光束辐射至金属表面,通过激光与金属的相互作用,使金属熔化形成焊接。在激光与金属的相互作用过程中,金属熔化仅为其中一种物理现象。有时光能并非主要转化为金属熔化,而以其他形式表现出来,如汽化、等离子体形成等。然而,要实现良好的熔融焊接,必须使金属熔化成为能量转换的主要形式。为此,必须了解激光与金属相互作用中所产生的各种物理现象以及这些物理现象与激光参数的关系,从而通过控制激光参数,使激光能量绝大部分转化为金属熔化的能量,达到焊接的目的。表 4 为不同金属材料间采用激光焊接的可焊性。

表 4 不同金属材料间采用激光焊接的可焊性

	W	Ta	Mo	Cr	Co	Mn	Be	Fe	Pt	Ni	Pd	Cu	Au	Ag	Mg	Al	Zn	Cd	Pd	Sn
W																				
Ta																				
Mo																				
Cr																				
Co																				
Mn																				
Be																				
Fe																				
Pt																				
Ni																				
Pd																				
Cu																				
Au																				
Ag																				
Mg																				
Al																				
Zn																				
Cd																				
Pd																				
Sn																				

采用激光焊接技术不仅可以极大地降低成本,还可以大大提高生产效率和产品质量。例如,激光焊接使得原本必须使用铸造工艺的汽车零部件改为采用

冲压工艺变成了现实,从而减轻了零部件的重量,节约了原料;汽车变速箱或传动系统齿轮组,以前是采用整块材料经多种机械加工方式多道工序才能完成,耗费人力物力财力,现在欧美等发达国家的零部件商将齿轮组分为多个小部分,分别生产加工,再使用激光焊接,即能保证强度,又加快了生产速度,简化了工艺,且可以节省大量的钢材。

实验表明,使用激光焊接的车身,强度可以提高 30%以上,使得汽车的安全性能得到了大幅提高;使用激光焊接的汽车零部件,可以有效地减小部件体积,符合零部件小型化的发展趋势。

据统计,2008 年 5 月中国汽车实现销售 83.6 万辆,环比下滑 9.4%,同比增长 17.1%。乘用车和商用车分别累计销售 56.5 万辆和 27.1 万辆,环比分别下滑 6.7%和 12.3%,同比增长 15.6%和 20.3%。2008 年 1~5 月,汽车累计销售 433.7 万辆,增长 18.9%,其中乘用车和商用车分别增长 17.4%和 22.5%。

随着中国汽车产品国际竞争力的提高,过去几年中国汽车出口一直处于高速增长过程。2000 年中国汽车出口不足 3 万辆,2007 年出口量突破 60 万辆,年均复合增长 80%以上。2008 年 1~4 月中国整车累计出口超过 25 万辆,同比增长 78%。我们预计 2009 年全年汽车出口有望突破 80 万辆,增长 30%以上,见图 4。中国汽车出口的高速增长在一定程度上平缓和行业的周期波动。从产品出口结构看,小排量轿车、轻卡、重

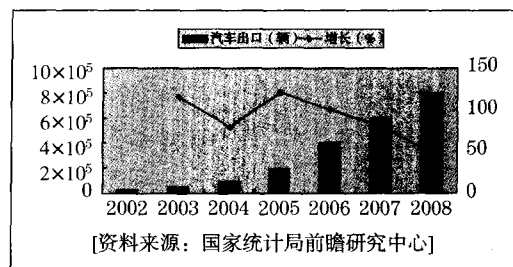


图 4 2002-2008 年中国汽车整车出口高速增长

卡、大中型客车等产品是中国汽车出口主要组成部分。目前,大中型客车、轻型商用车以及重卡的出口比重已占其销量的10%以上,成为其需求增长的重要组成部分。

3.3 激光切割、打孔技术的市场分析

激光切割系统一直是激光加工应用最广泛的一项技术,激光切割是利用激光束聚焦形成高功率密度的光斑,将材料快速加热至汽化温度,再用喷射气体吹化,以此分割材料。经过光学系统聚焦以后的激光,焦点处能量密度极高,可以切割一些硬度极高的物质。脉冲激光适用于金属材料,连续激光适用于非金属材料,后者是激光切割技术的重要应用领域。与计算机控制的自动设备结合,激光束具有无限的仿形切割能力,切割轨迹修改方便。激光切割无机械变形、无刀具磨损,容易实现自动化生产。激光切割技术用在零件生产线上,做平板切割等工序,配合其生产产品的一道工序,可为完成产品零件生产解决加工关键,或提高加工速度。

激光打孔是最早达到实用化的激光加工技术,也是激光加工的主要应用领域之一。随着近代工业和科学技术的迅速发展,使用硬度大、熔点高的材料越来越多,而传统的加工方法已不能满足某些工艺需求。例如,在高熔点金属钼板上加工微米量级孔径,在硬质碳化钨上加工几十微米的小孔;在红、蓝宝石上加工几十微米的深孔以及金刚石拉丝模具、化学纤维的喷丝头等。这一类的加工任务用常规的机械加工方法很难,有时甚至是不可能的,而用激光打孔则不难实现。激光束在空间和时间上的高度集中,可以将光斑直径缩小到微米级从而获得很高的功率密度,几乎可以对任何材料进行激光打孔。

激光打孔技术的原理简单,做法方便,利用激光的相干性,用光学系统把它聚焦成很微小的光点(直径小于 $1\ \mu\text{m}$),这相当于“微型钻头”。其次,激光在聚焦的焦点上的激光能量密度很高,普通激光器产生的能量可达 $109\ \text{J}/\text{cm}^2$,足以在材料上留下小孔。打出的小孔孔壁规整,没有什么毛刺。质量非常好,特别是在打大量同样的小孔时,还能保证多个小孔的尺寸形状统一,而且钻孔速度快,生产效率高。微电子电路集成度不断提高,为了提高电路板布线密度,要使用多层印刷电路板,在板上钻成千上万个孔,层间互连的微通道技术显露出越来越高的重要性。通道的直径一般为 $0.025\ \text{mm}\sim 0.25\ \text{mm}$,用传统的机械钻孔或冲孔工艺不仅价格昂贵,难以保证质量,更不可能加工盲

孔。用激光不但可以加工出高质量的小孔和盲孔,而且可以加工任意形状的孔或进行电路板外形轮廓切割。全固化的紫外波段激光器,可在计算机控制下通过扫描振镜系统对电路板进行钻孔、刻线或切割等精细加工,在 $50\ \mu\text{m}$ 厚的聚酰亚胺薄膜上打直径为 $30\ \mu\text{m}$ 的孔,每秒可以打约250个孔^[5, 6]。

和打标、焊接工艺一样,激光切割、打孔也属于非接触式加工,对工件无须施加机械力,工件不易变形,热影响区小,切缝、孔径(它与被加工物体的材料、厚度、激光的功率、切割速度、焦点的位置等元素有关)较小,且切缝、孔径质量比较好,无需再加工。

以军工行业为例,镀铝聚酰亚胺薄膜主要用于航天设备外表面贴覆,一方面可以防止太阳紫外线的辐射,另一方面可以散热,以保证航天设备的正常运行及延长使用寿命。利用激光技术在镀铝薄膜上打孔,孔形可以随意改变,孔径及孔间距也可以随意改变,生产速度得到大幅度提高。

2008年我国国防装备建设和产业发展都取得重大进展,军工行业发展稳健。如图5所示,2008年,中国航空工业集团实现总收入1660亿元人民币,同比增长12.31%,实现利润和收益达72亿元人民币;中国兵器工业集团实现主营业务收入1450亿元人民币,同比增长10%,实现利润45亿元人民币,同比增长15.4%。长时期内我国国防投入还将继续保持增长势头,激光加工市场在军工领域,包括航天、航空、核工业、船舶、兵器、电子等行业极具潜力。

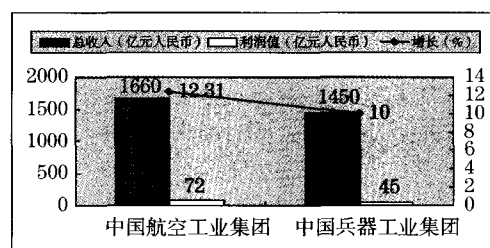


图5 2008年中国航空、兵器两大军工集团收入、利润总额和同比增长

3.4 激光调阻技术的市场分析

激光调阻是通过特殊方法,改变电阻膜的面积,达到调整膜片电阻值的目的。利用激光束按一定轨迹照射在电阻膜片上,使膜层汽化来改变膜面积,在膜片上刻出一定轨迹的槽,从而达到微调电阻的目的。同时,对电阻进行动态测量,将测量结果与设定阻值进行比较,并反馈控制激光的扫描运动,达到预定的要求。激光调阻是由计算机控制激光的运动,利用高

能量的激光脉冲作用于电阻材料上,电阻材料吸收光能后被迅速加热和汽化,材料被蒸发掉,在电阻上形成一个圆形斑点;当一连串部分重叠的激光脉冲打在电阻材料上就会形成一个切口,采用适当的切口形状和长度就可将电阻修调到设定的标称值。

激光调频技术在晶振制造领域得到新的应用,以前大多采取在镀银时通过控制银层累积的方法来获得需要的频率,这种工艺在体积稍大的晶振制造中广泛使用,但在体积很小的圆柱形晶振制造时却无能为力,因为水晶极片的面积太小,银层累积的控制很难实现,因此在此类晶振制造中目前采用的是用手工打磨水晶极片的方法来实现频率的调整。激光微调频率是在手工打磨或机械打磨后的第二步工序,所用激光器用 50 W 灯抽固体激光器或 50 W 半导体激光器,激光微调是满足这种要求的最新最好手段。

精密激光调阻机主要在电阻、晶振、移动功能模块、厚膜电路、IC 等制造领域普遍应用。

国内片式电阻行业总的态势是在不断增长。国内片式电阻企业的优势主要体现在国际市场上的成本竞争优势和国内企业的地理优势。由于国际电子信息产品制造业加速向中国转移,下游企业出于相关的采

购和运输成本考虑,将加大本地化采购比例,这将为国内的片式电阻厂商带来无限商机。

同电阻制造商一样,国内晶振制造业也在引进生产线上直接加大投入,起步虽晚,但是硬件设备投资的起点高,保证了产品的品质,提高了企业竞争力。

制造业要发展就得靠研发。引进专利技术或设备那都是不现实的,因为这些引进价格都非常贵,需要几千万甚至上亿的引进资金,投入太大。这种基础行业的回报期太长,还没等把债务还清,可能就已经把企业拖垮了。还是要以独立自我开发为主才能在市场上站住脚跟。由于社会分工,电阻、晶振制造业的研发和生产的进步,要靠国内配套的设备商支持。因此,推广具有自主知识产权的精密激光调阻机,支持电阻、晶振制造业来降低成本,具有广阔的市场前景。

4 结束语

随着国内经济的快速发展和各种激光加工技术系统的进步,工业激光应用市场将不断扩大,激光加工领域将不断开拓,在地域上将逐渐呈现出从发达地区普及到其他地区,在系统上将向高档激光加工系统、微细激光加工装备方向发展。

— | 参 考 文 献 | —

- 1 David Belforte. 希望在明天[J]. 工业激光解决方案, 2008, 04: 30~33
- 2 中国市场调查研究中心. 中国激光打标机市场调查及投资策略分析报告, 2008
- 3 国家统计局前瞻研究中心. 中国激光加工设备制造行业产销需求与投资分析报告, 2008
- 4 陈秀娥. 激光加工技术的新进展及其在汽车工业中的应用[J]. 激光与光电子学进展, 1990, 27(8): 1~11
- 5 曹宇, 李祥友, 蔡志祥等. 激光微加工技术在集成电路制造中的应用[J]. 光学与光电技术, 2006, 43(4): 25~28
- 6 唐娟, 廖健宏, 蒙红云等. 紫外激光器及其在激光加工中的应用[J]. 激光与光电子学进展, 2007, 44(8): 52~56