

文章编号: 0258-7025(2008)11-1660-04

# 激光制造的短流程优势

左铁钊 王旭葆

(北京工业大学激光工程研究院国家产学研激光技术中心, 北京 100124)

**摘要** 通过对激光切割取代冲孔和修边模具, 车身总装过程中激光焊接取代电阻点焊, 以及车身不同部位不同厚度覆盖件的激光焊接的研究, 展示了激光制造技术在汽车制造领域中的优势。介绍了激光宽带熔覆技术, 与传统粉末冶金烧结工艺相对比, 该激光制造短流程工艺不仅能够提高生产率、缩短制造工艺流程, 而且能够降低成本、节约能源。

**关键词** 激光技术; 短流程; 激光拼焊; 激光熔覆

**中图分类号** TG113.26 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL20083511.1660

## Characteristic Short Technological Process of Laser Manufacturing

Zuo Tiechuan Wang Xubao

(Institute of Laser Engineering, Beijing University of Technology, National Center of Laser Technology, Beijing 100124, China)

**Abstract** By research on the substitution of the traditional punching and trimming die with the laser cutting, substitution of the resistance spot welding in the general assembly of the car body with laser welding, and laser welding of multifarious thickness overlay of car, the characteristics of laser manufacturing technology in automobile industry are displayed. The roll matrix are fabricated by laser cladding. Compared the traditional roller technological process of sintering, the short technological process of laser manufacturing not only increases productivity and shortens technological process, but also reduces the cost and saves the energy. This technology will have wide application in industrial process.

**Key words** laser technique; brevity technological; laser welding; laser cladding

### 1 引言

大功率激光以“光能源”和“光工具”为新加工手段应用于材料加工, 在汽车、电子、航空航天、机械、冶金、铁路、船舶等工业部门广泛应用<sup>[1~13]</sup>, 几乎包括了国民经济的所有领域。激光制造与传统的加工方法相比, 具有能量最大限度地集中、易于操作、高的柔性、高效率、高质量、节能环保等突出优点, 被誉为“制造系统共同的加工手段”。

现代激光制造技术代表了先进制造业的发展方向, 引领制造技术进入激光制造的时代, 极大地提升了传统制造业的技术水平, 带来了产品设计、制造工艺和生产观念的巨大变革, 并正在引发一场制造技术的革命。世界制造业对光制造技术有迫切的市场需求, 我国是一个制造大国, 现代激光制造的研究、

开发、应用及产业化对国民经济的发展具有现实意义。

现代激光制造技术的一个特点就是高效率, 大大缩短制造工艺流程、减轻工人劳动强度, 本文以汽车和冶金方面的激光制造技术应用为例进行阐述。

### 2 激光技术在汽车行业的应用

在样车的开发和小批量试生产时, 用高度柔性的激光三维切割取代冲孔和修边模具, 不仅可以节省大量模具, 同时极大地缩短了新车型的开发周期。传统方法研制开发一代新车一般需要 5~7 年的时间, 采用计算机辅助设计和辅助制造技术后, 新车型的开发周期缩短到了 3 年, 在此基础上应用激光技术, 新车型的开发周期缩短到 7 个月。由于激光三

收稿日期: 2008-09-16; 收到修改稿日期: 2008-10-10

基金项目: 国家 973 计划(2006 CB 605206)资助课题。

作者简介: 左铁钊(1941—), 女, 教授, 博士生导师, 主要从事光学和光学工程等方面的研究。E-mail: ncltzu@bjut.edu.cn

维切割取代模具的优势显著,德国大众汽车公司早在 1986 年就采用了激光柔性机器人切割系统,逐步发展成为汽车制造业巨头。

在汽车零部件制造方面,激光焊接的变速器齿轮替代了花键联接的齿轮,极大地减少了零部件的数量,提高了变速器的整体质量与性能,降低了变速器齿轮的制造成本;根据车身不同部位的承重和使用要求,利用激光焊接将不同材质、不同厚度和不同表面状态的坯板拼焊在一起,然后一次压制成型制造

车身部件,极大地简化了生产工艺流程,节省了大量材料,显著降低了车身重量。汽车工业发达的欧、美等国家和地区都建立了生产激光拼焊板的专业公司。

在车身总装上,激光焊接取代了电阻点焊工艺(图 1),使得汽车设计师可以自由地发挥其想象力和创造性,设计出独特风格的车型。同时激光焊接较之电阻点焊具有更高的效率、更优异的性能、更小的材料消耗等优势。

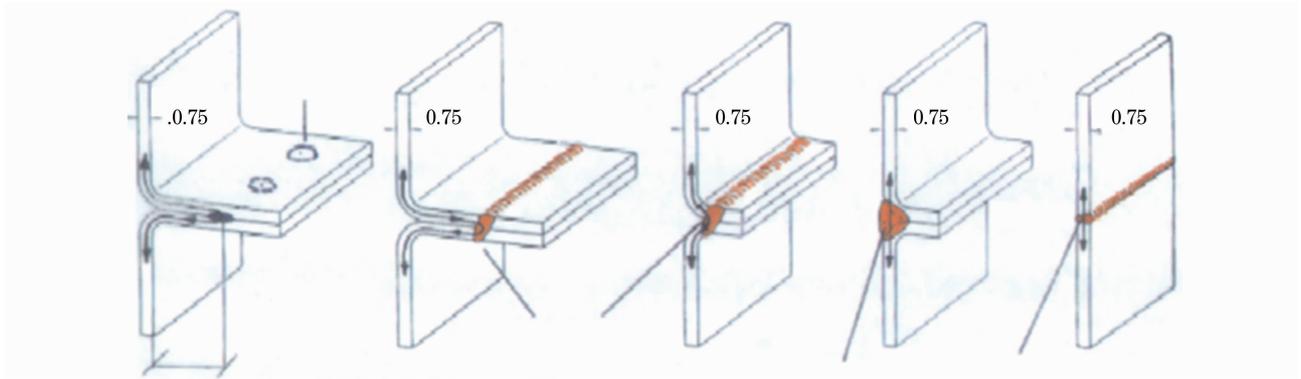


图 1 激光焊接取代电阻点焊

Fig. 1 Laser welding to supplant the resistance spot welding

由于激光制造技术所具有的无与伦比的优势,在欧洲,几乎所有汽车制造厂在汽车研制开发和生产中都无一例外地大量采用激光加工。德国大众公司 2002 年一次性就订购了 260 台 4 kW 大功率 YAG 激光器,主要用于车身的总装。德国博世(Bosch)公司的生产线上总共安装了不同类别的大功率激光加工设备 400 余台套,主要用于汽车零部件的加工。实际上,激光制造技术在汽车制造中应用的广度和深度已经成为汽车工业先进性的重要标志。

与发达国家相比,我国激光制造技术应用的水平 and 规模虽然还存在很大差距,但市场潜力巨大。中小功率焊接已在企业应用,形成了一批激光加工站,一些大型企业也建立了激光加工工位,如一汽轿车股份有限公司建立了汽车覆盖件的激光三维制造生产



图 2 激光三维加工样车生产工位

Fig. 2 Job station of laser 3-D processing on motorcar

线(图 2),新一代大“红旗”CA7460 轿车仅用了 11 套成型模,所有覆盖件的切孔和修边均由激光切割来完成,节省模具几百套。同时,在我国,蒂森接缝公司与中人公司合资于 2002 年在武汉建设了中国第一条激光拼焊板生产线,为德国汽车企业在中国的合资公司提供拼焊板(图 3)。



图 3 激光车用集成拼焊板生产线

Fig. 3 Production line of laser joint for motorcar

### 3 激光制造技术在冶金领域的应用

激光熔覆技术是激光材料表面处理的一种,最早的激光熔覆技术专利是由 Gnanamuthu 于 1974 年底提出申请的<sup>[14]</sup>。激光熔覆技术也称近形技术(Laser engineering net shape, LENS)或激光直接粉末沉积技术(Direct laser powder deposition, DLDP)。激光熔覆的目的就是在基体材料表面生成具有高硬度、耐磨

损、耐腐蚀、热障碍等的功能层。

随着激光器技术的不断进步,大功率激光器的出现,进入 20 世纪 80 年代,激光熔覆技术进入了蓬勃的发展,特别是 1981 年 Rolls Royce 公司成功地在喷气发动机叶轮叶片上涂敷钴基合金面显著提高了其耐磨性,激光熔覆技术进入了实际生产<sup>[15]</sup>。与用传统的 TIG 堆焊相比,工时缩短了 11 倍,金属粉末材料消耗减少 50%,使得激光熔覆技术真正进入了商业化生产。

国家产学研激光技术中心一直关注激光熔覆技

术及其相关外围系统的研制和开发,目前已经在钢铁冶金领域激光熔覆高速线材轧辊方面取得了突破性进展。图 4 和图 5 所示分别为开发的具有自主知识产权的激光宽带熔覆送粉头及积分镜。



图 4 激光宽带熔覆送粉头

Fig. 4 Nozzle of powder in support of laser cladding

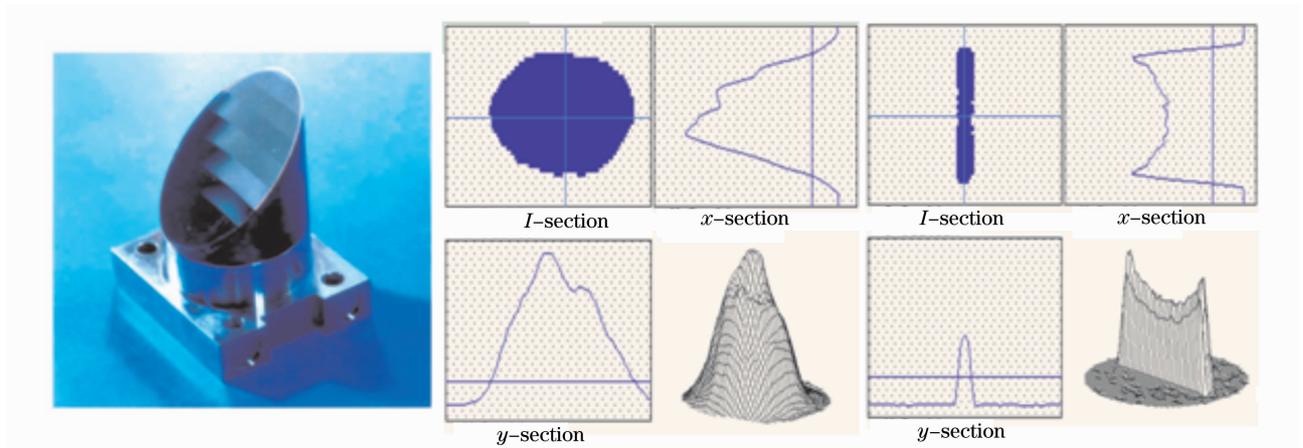


图 5 激光宽带熔覆积分镜及变换前后光束横截面能量分布图

Fig. 5 Integral mirror and the contrastive laser beam pattern

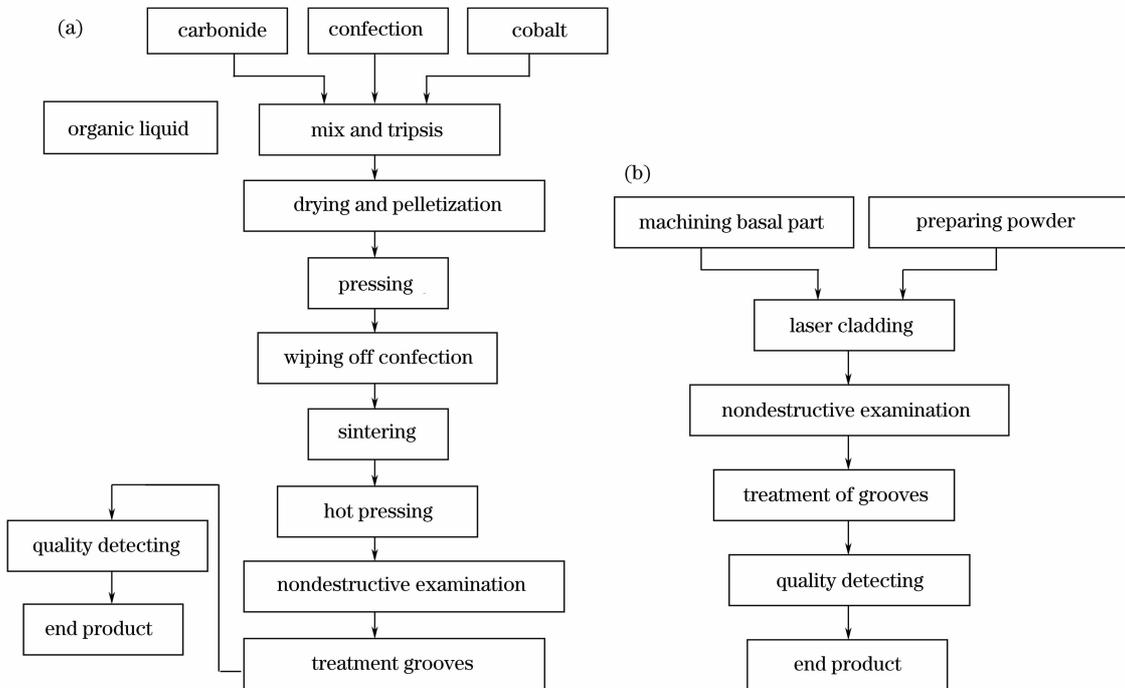


图 6 高速线材轧辊制造工艺对比。(a)硬质合金粉末冶金制造工艺流程;(b)硬质合金轧辊激光熔覆制造工艺流程

Fig. 6 Contrast of the manufacturing roller technological process. (a) engineering flow sheet of sintering;

(b) engineering flow sheet of laser cladding

高速线材轧辊是线材生产的重要工具,线材可以分为普线、高线、螺纹钢几种,传统的高速线材轧辊采用硬质合金粉末烧结成辊环,与辊轴通过机械结合构成轧辊。我国已连续多年钢产量世界第一,其中线材产量占钢铁总产量的 17.9%,每年生产线材需要消耗几百吨硬质合金辊环。硬质合金粉末烧结成辊环的方法不但因为工艺流程复杂效率低下,而且当辊环破裂或因磨损尺寸超标时,辊环就会报废,造成大量贵重金属的浪费。采用材料表面加工技术,在普通材料做成的基体上制造出满足性能使用的功能层,取代粉末冶金烧结的辊环,一直是材料工作者为之奋斗的目标。激光熔覆制造高速线材轧辊新技术,通过选择性能合适的钴基合金粉末,采用一定的工艺措施,成功地在轧辊形状的基体上熔覆成一定厚度的功能层,实现了激光熔覆高速线材轧辊的制造。图 6 中对比了激光熔覆技术和传统粉末烧结技术制造高速线材轧辊的工艺流程,可以看到激光熔覆技术大大简化了工艺,提高了生产效率,节约了大量贵重金属。

高速线材轧辊通过中试:线材轧制速度 50 m/s,最末端精轧机,进行了两个班次的轧制。试验结果显示激光熔覆制造的热轧辊磨损量为 0.1 mm,大于硬质合金辊环的磨损量,但是激光熔覆热轧辊最大的优点是无整体开裂及环面龟裂现象,修磨量为 0.4 mm,小于传统的硬质合金辊环的修磨量。其使用寿命总体上与国内硬质合金产品相当,证实了激光熔覆方法成形高速线材轧辊的可行性。

## 4 结 论

激光制造在汽车制造业中可广泛应用,与传统的加工方法相比,优势在于显著节约材料、降低车身自重、节约大量模具、缩短新车型的开发周期、减少零部件的数量、降低制造成本。激光熔覆成型取代粉末冶金的方法制备高速线材轧辊,简化了工艺、节约了贵重金属,并可修复受损轧辊。

实现短流程、高效率的激光制造,光的波长特性、空间特性是主体影响因素。波长特性决定了材料的吸收系数和光学衍射极限,空间特性决定了光的可汇聚程度和传输的发散趋势,决定着能量的利用率和利用方式。这就要求激光器件的发展应以实际应用为目的,发展有利于材料吸收的波段,并重视光束质量因素。

## 参 考 文 献

- 1 Sepold G., Zuo T. C., Binroth C.. CO<sub>2</sub>-laser beam welding of aluminum alloys for transport systems [C]. *Conference Proceedings—International Institute of Welding (IIW) DOC*, 1990. IV-539-90
- 2 Binroth C., Zuo T. C., Sepold G.. CO<sub>2</sub>-laser beam welding with filler material of high strength aluminum alloys[C]. *Proc. of 2nd Int. Power Beam Technology Conference*, 1990. 119~127
- 3 Zuo T. C., Xiao Y. H., Sepold G.. Laser beam welding with filler material of aluminum alloys [C]. *Conference Proceedings—the Pre-Assembly Symposium of 47th Annual Assembly of IIW*, Dalian, China, 1994. 9
- 4 Zuo T. C., Xiao R. S., Volz R.. The behavior of laser induced plasma of high power CO<sub>2</sub> laser welding of aluminum alloy[C]. *Conference Proceedings—Key Technology Laser: Challenge for the Factory 2000, Proc. of the 12th International Congress (Laser '95)*, Munich, Germany, 1995. 6: 380
- 5 Qiu Junlin, Cheng Zuhai. *Industrial Laser Technology*[M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2002  
丘军林,程祖海. *工业激光技术*[M]. 武汉:华中科技大学出版社, 2002
- 6 Zuo Tiechuan. The significance of modern laser manufacture for national economy development [C]. *Xiangshan Scientific Conference*, Beijing, 2003. 1~6  
左铁钊. 现代激光制造及其对发展国民经济的重要意义[C]. *香山科学会议论文集*, 北京, 2003. 1~6
- 7 Zuo Tiechuan. *The Advanced Manufacturing—Laser Technology and Engineering*[M]. Beijing: Science Press, 2007  
左铁钊. *21 世纪的先进制造——激光技术与工程*[M]. 北京:科学出版社, 2007
- 8 Zhang Dongyun. Review of laser direct manufacturing for metallic parts [J]. *China Mechanical Engineering*, 2006, 17(S8): 434~437  
张冬云. 激光直接制造金属零件技术发展综述[J]. *中国机械工程*, 2006, 17(S8): 434~437
- 9 Wang Huaming. Evolve of laser direct manufacturing for high-performance metal parts at aviation [J]. *Aeronautical Manufacturing Technology*, 2005, 12: 26~28  
王华明. 航空高性能金属结构件激光快速成形研究进展[J]. *航空制造技术*, 2005, 12: 26~28
- 10 Zhang Kai, Liu Weijun, Shang Xiaofeng et al.. Applications of rapid prototyping on national defense science and technology field [J]. *Tool Engineering*, 2005, 39(11): 3~13  
张凯,刘伟军,尚晓峰等. 快速原型技术在国防中的应用[J]. *工具技术*, 2005, 39(11): 3~13
- 11 Dongyun Zhang. *Entwicklung der Selektive Laser Melting (SLM) fuer Aluminiumwerkstoffe*[C]. Shake Verlag, Germany, 2004
- 12 Jiang Wei, Hu Fangyou, Han Lee et al.. The applied research on the repair of airplane leaf blade by laser cladding [J]. *New Technology and New Process*, 2007, 12: 57~59  
姜伟,胡芳友,韩莉等. 激光熔覆技术在飞机叶片修复中的应用研究[J]. *新技术新工艺*, 2007, 12: 57~59
- 13 Shi Shihong, Fu Geyan, Wang Xinlin et al.. Microstructure and failure behavior of laser cladding layer for stainless steel components worked under repeated impact load condition [J]. *Heat Treatment of Metals*, 2002, 27(3): 16~19  
石世宏,傅戈雁,王新林等. 多冲接触载荷下不锈钢零件激光表面熔覆层组织及其失效行为[J]. *金属热处理*, 2002, 27(3): 16~19
- 14 Gnanamuthu D. S. U. S. Patent 3952180[P]. 1976, 4, 20
- 15 Matthews S. J.. Laser fusing of hardfacing alloy powders[C]. *Laser in Materials Processing, Conference Proceedings—American Society for Metals*, 1983. 138~148