

# 板料激光成形技术\*

北京航空航天大学 (100083) 王秀凤\*\* 胡世光  
中国科学院力学所 陈光南

**摘要** 介绍了一种利用激光作为热源使金属板料在无模具下发生热塑性变形的新的成形加工方法。综述了在激光加工条件下板料的成形机理、有关研究结果、可能的应用领域及国内外发展现状。

**关键词** 板料 激光成形 弯曲机理 温度梯度 热应力

## Laser forming technology sheet metal

Beijing University of Aeronautics and Astronautics Wang Xiufeng Hu Shiguang  
Institute of Mechanics, Academia Sinica Chen Guangnan

**Abstract** A new forming process which can make sheet metals thermoplastic deformation without dies through the use of a laser as a heat source was described. The summary of the mechanism of sheet metal forming, related research result, possible application and present situation at home and abroad under the laser irradiation were proposed.

**Keywords** Sheet metal Laser forming Bending mechanism Temperature gradient Thermal stress

## 一、引言

板料激光成形技术是一种利用激光扫描金属薄板,在热作用区域内产生明显的温度梯度,导致非均匀分布的热应力,使板料塑性变形的工艺方法<sup>[1]</sup>,见图1。

因为激光成形是一种仅靠热应力而不用模具使板料变形的塑性加工方法,所以不存在随之而来的模具制作费、制作周期、磨损、润滑等问题。它可不受加工环境的限制,通过优化激光加工工艺、精确控制热作用区域以及热应

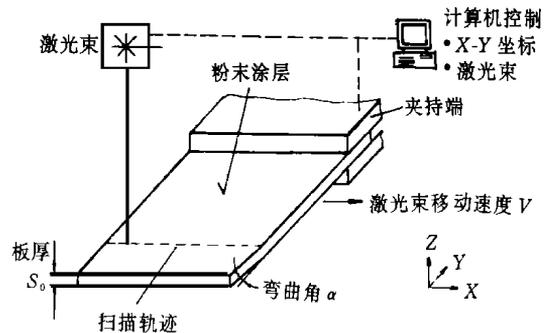


图1 板料激光成形示意图<sup>[2]</sup>

力的大小与分布,将板料无模成形,或者改善模具成形零件的贴模性与定型性。板料激光成形技术的应用前景,吸引了国内外不少学者从事这方面的研究。

\* 航空基础科学基金资助项目 (98H51110)

\*\* 女, 35岁, 讲师 (在职博士)

收稿日期: 1998-01-12

## 二、国内外的发展现状

板料激光成形技术的研究工作, 在国外最早起始于 1985 年, Y.Namba 以 S45C 碳钢激光硬化处理为例研究了材料温度分布和热变形, 最先提出了一种在不加外力的条件下仅利用热应力使板料塑性变形的新的加工法——激光成形法, 并用简单的弯曲试验证实了板料激光成形的可能性<sup>[1]</sup>。随后, 德国埃尔兰根大学 F.Vollertsen 领导的激光成形研究组对板料激光成形技术做了较多的研究。文献中值得注意的报道如下:

(1) 用有限差分法、有限单元法模拟了板料激光简单弯曲过程, 并给出了一些影响板料激光成形因素之间的变化规律<sup>[3-6]</sup>。

(2) 阐述了影响板料激光成形的因素主要与激光光源、材料性质和板料几何参数有关, 并通过试验研究了部分参数的耦合作用对弯曲角的影响<sup>[1,2,7]</sup>。已做的试验表明: 一次激光照射所产生的变形量很小, 大量的变形可以通过增加激光照射的次数来得到。当功率一定时, 弯曲角随扫描速度的增加而下降, 见图 2。弯曲角与激光工艺参数、材料的力学性能、材料的几何参数有关, 见图 3。因此, 弯曲角的大小可以通过激光照射重复次数、功率密度、扫描速度来控制。

(3) 简单论述了板料激光成形机理, 但是没有定量给出成形机理的条件<sup>[3,8,9]</sup>。

(4) 介绍了主要可能应用的领域: 大型钣金件的局部校形, 小批量或单件生产的复杂零件成形, 激光辅助成形以提高板料的成形极限<sup>[8]</sup>; 金属薄板焊接后的校形<sup>[10]</sup>等。

国内的有关研究则刚刚起步, 燕山大学李纬民首先在国内介绍了板料激光成形新工艺<sup>[11]</sup>, 随后, 西北工业大学季忠采用非线性有限单元法, 用间歇跳跃式移动光源模拟激光束的连续扫描, 对厚板激光成形时的温度场进行了数值模拟<sup>[12]</sup>。

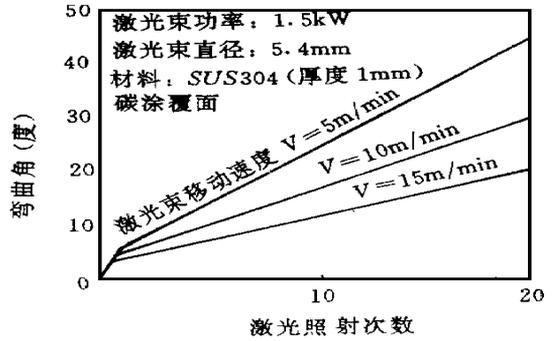


图 2 激光扫描速度对弯曲角的影响

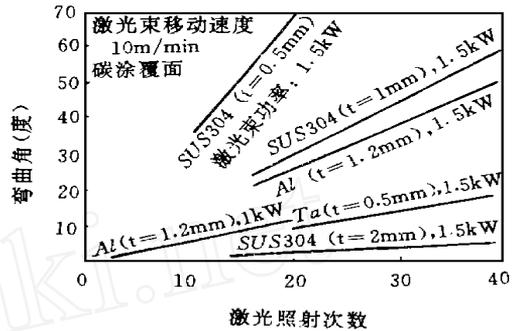


图 3 各种板料的弯曲角<sup>[1]</sup>

## 三、板料激光成形的机理

文献 [8、9] 根据板料激光加热时所形成的温度场参数与板料厚度、扫描轨迹、毛坯几何形状的关系, 将成形机理归结为弯曲机理和压缩机理。我们认为板料激光成形机理的实质就是弯曲机理。当激光瞬间加热板料时, 可在作用区域 (特别是板厚) 内产生明显的温度梯度。这种局部升温可以产生两个明显效果: (1) 在激光作用区及其周围产生热应力; (2) 降低了被加热区域板料的屈服极限, 见图 4。从而使热应力作用区的热态材料产生非均匀的塑性变形, 实现板料的变曲成形。

弯曲成形从广义上可分为自由弯曲成形和有约束弯曲成形, 如激光束仅沿一条直线轨迹扫描时, 热作用区域内板厚方向上产生明显的温度梯度, 将使板料产生自由弯曲成形, 见图 5。如激光束在板面沿数条轨迹扫描, 板料将产

生有约束弯曲成形见图 6。不同的扫描轨迹和工艺参数组合能够产生不同的成形效果和不同程度的变形量。

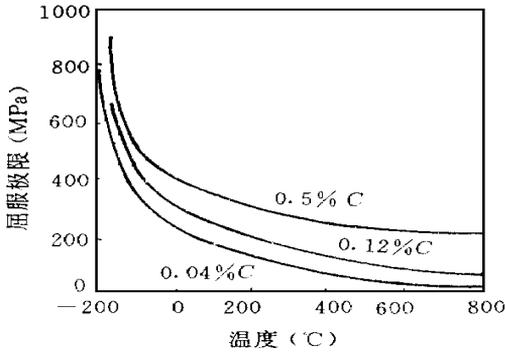


图 4 温度对碳钢屈服极限的影响<sup>[13]</sup>

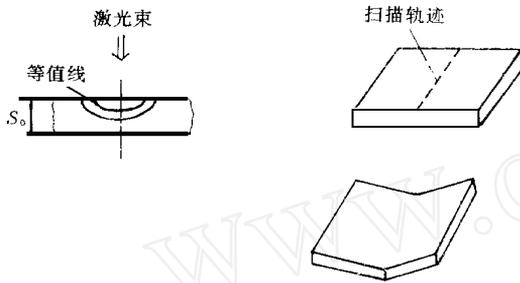


图 5 激光自由弯曲成形

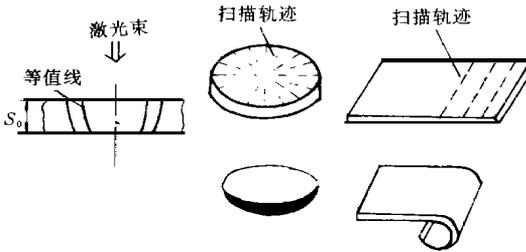


图 6 激光约束弯曲成形

由此可见，板料的熔点和屈服极限成为限制板料激光成形的条件。

#### 四、目前存在的问题及今后的研究方向

从公开方向发表的文献看，研究工作仍处在试验研究阶段，且多集中在简单弯曲方面，缺乏对板料成形机理的深入研究。既然弯曲机理

是激光成形的关键，所以我们认为正确估算产生激光弯曲成形的条件是今后需要进行的首要研究工作。这项研究可以为将来实际应用奠定基础。

研究板料激光成形技术（首要是弯曲机理）的关键在于揭示温度场和应力—应变场的变化规律。

兹将影响板料激光成形的主要因素示如图 7。

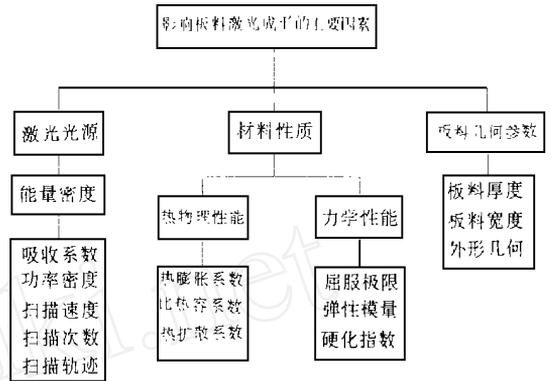


图 7 影响板料激光成形的主要因素

由于激光瞬间加热是非常复杂的热物理过程，材料的热物性参数与常规加热相比发生很大变化，是温度的函数；而激光加热时产生的热应力使板料产生塑性变形，材料的应力、应变关系不仅是非线性的，而且也是温度的函数。因此，很难用传统的解析方法求解温度场和应力—应变场的变化规律。又由于在板厚、板面方向温度变化极快，直接采用试验方法来确定温度场分布也是无法实现的，所以我们只能采用计算机数值模拟此非线性热物理过程。

此外，根据大量的试验数据，利用人工神经网络理论把影响板料激光成形的主要因素和衡量指标作为网络的输入、输出特征，对其变化取得规律性认识，也不失为实现有效控制激光成形工艺参数的重要途径。

板料激光成形技术是近年来国际塑性加工界出现的一种新型无模具成形方法，也是激光热加工非熔凝方法的一个新的应用领域。它的

(下转 55 页)

表2 内层套外径不同时第3装配方案下的最大等效应力 (MPa)

外径	850mm × 250mm 内孔		850mm × 320mm 内孔	
	装配时	500MPa 内压下	装配时	500MPa 内压下
565mm	1000	1280	890	1120
520mm	1120	1180	1000	1040

挤压筒在工作时最大等效应力下降 7% ~ 8%。此外, 内层厚度减小, 有利于节约材料, 因为内层套是需要经常更换的。

所有计算结果表明, 无论是在空载状态下还是在工作状态下, 四层扁挤压筒的高应力水平区仅局限在内层套(即第一层), 第一中层套次之, 而第二中层套与外层套内的应力水平很低。因此, 可以考虑采用较高级的合金钢(如 3Cr2W 8V)作内层套材料, 而采用较低廉的 45 号钢等作第三层、第四层材料, 从而大幅度地降低大型扁挤压筒的造价。

## 四 结 论

(1) 扁挤压筒各层套之间的装配接触压力分布不均, 靠近内孔长轴附近较高, 短轴附近

较低。分布的不均匀性越靠近内层套越大。

(2) 现行内孔尺寸 850mm × 250mm 的扁挤压筒, 其最大允许工作内压为 500MPa; 而将现行扁挤压筒的内孔尺寸改为 850mm × 320mm, 并采用较大的装配过盈量时, 其最大允许工作内压可达 600MPa。

(3) 在现行基础上适当减小内层套厚度对提高装配效果、节约内层材料具有一定的实际意义。

## 参 考 文 献

- 1 刘静安, 赵云路编著. 铝合金生产关键技术. 重庆: 重庆大学出版社, 1997.
- 2 刘静安编著. 挤压模具技术的理论与实践. 重庆: 科学技术出版社重庆分社, 1989.
- 3 李润方, 龚剑霞. 接触问题数值方法及其在机器设计中的应用. 重庆: 重庆大学出版社, 1991.
- 4 Y Namba. Laser Forming in Space, Int Conf. On Lasers ' 85, ed: C. P. Wang 1986: 403~ 407
- 5 M Geiger, F Vollertsen. Flexible Straightening of Car Body Shells by Laser Forming. SAE paper No. 930279, 1993: 354~ 361
- 6 S Kittel, R Kopp. FEM-Simulation der Blechumformung mittels induktiver Erwärmung. Bänder Rohe Rohre, 10-1990: 129~ 133
- 7 M Geiger, F Vollertsen. The Mechanisms of Laser Forming. Annals of the CIRP, 1993, 42 (1): 301~ 304
- 8 M Geiger, F Vollertsen. Synergy of Laser Material Processing and Metal Forming. Annals of the CIRP, 1994. 43 (2): 563~ 570
- 9 F Vollertsen. Potentials of Laser Forming, 激光与光电子, 1996, 1 (1): 34~ 37.
- 10 G Deinzer, F Vollertsen. Welding and Straightening Using a Laser Beam. Laser and Optoelectronic, 1994, 26 (3): 48~ 52.
- 11 李纬民, 李春科, 刘助柏. 板料成形新工艺—激光弯曲. 锻压技术, 1993 (6): 29~ 31.
- 12 季忠, 吴诗, 李森泉. 板料激光成形时的温度场研究. 塑性工程学报, 1997 (6): 14~ 18.
- 13 束得林主编. 金属力学性能. 北京: 机械工业出版社, 1987.

(上接 34 页)

研究很有价值和应用前景, 如果将激光作为辅助手段与传统的塑性加工工艺相结合, 可能会在工业上产生更好的经济效益。

## 参 考 文 献

- 1 Y Namba. Laser Forming in Space, Int Conf. On Lasers ' 85, ed: C. P. Wang 1986: 403~ 407
- 2 M Geiger, F Vollertsen. Flexible Straightening of Car Body Shells by Laser Forming. SAE paper No. 930279, 1993: 354~ 361
- 3 S Kittel, R Kopp. FEM-Simulation der Blechumformung mittels induktiver Erwärmung. Bänder Rohe Rohre, 10-1990: 129~ 133
- 4 M Geiger, F Vollertsen. The Mechanisms of Laser Forming. Annals of the CIRP, 1993, 42 (1): 301~ 304
- 5 M Geiger, F Vollertsen, W M Li. FDM-And FEM-Simulation of Laser Forming: A Comparative Study. Advanced Technology of Plasticity, ed: Z R Wang, Y He. III

1993: 1793~ 1798

6 S Kittel, F Vollertsen. Laserstrahlumformen Von Blechen. Bänder Bleche Rohre, 3-1993: 54~ 62

7 M. Geiger, F Vollertsen, S Amon. Flexible Blechumformung mit Laserstrahlung-Laserabbiegen. Blech Rohre Profile, 38 (1991) II: 856~ 861.

8 M Geiger. Synergy of Laser Material Processing and Metal Forming. Annals of the CIRP, 1994. 43 (2): 563~ 570

9 F Vollertsen. Potentials of Laser Forming, 激光与光电子, 1996, 1 (1): 34~ 37.

10 G Deinzer, F Vollertsen. Welding and Straightening Using a Laser Beam. Laser and Optoelectronic, 1994, 26 (3): 48~ 52.

11 李纬民, 李春科, 刘助柏. 板料成形新工艺—激光弯曲. 锻压技术, 1993 (6): 29~ 31.

12 季忠, 吴诗, 李森泉. 板料激光成形时的温度场研究. 塑性工程学报, 1997 (6): 14~ 18.

13 束得林主编. 金属力学性能. 北京: 机械工业出版社, 1987.