

# 激光光刻成型法在微型机械研究中的应用

沈连官 王翔 邓益民

(中国科学技术大学精密机械与精密仪器系,合肥 230026)

**摘要** 本文扼要介绍了现阶段国内外用于研制微型机械的主要方法,着重介绍了激光光刻成型法的基本原理、制作微型机械的工艺途径、技术特色及其应用前景。

**关键词:** 微型机械;激光光刻;CAD/CAM;感光树脂

## 1 前言

目前,“微型机械”这一技术术语在世界各地还没有统一的叫法,在美国被称为“MEMS”(Micro Electro Mechanical Systems),在日本被叫做“マイクロマシン”而在欧洲则被称作“Micro Systems”。微型机械的出现还不到十年,但在国际市场上已经出现多种微机电产品,如尺寸为 $0.3 \times 0.2 \times 0.1$ mm的微型温度传感器已可注射到人体肿瘤中测定温度并控制治疗;微型电动机在一平方英寸的面积上可容纳六万只……。可以预计,微细加工工业在21世纪将成为一门新兴工业而取代若干传统工业。随着微细加工工业的进步,具有种种奇妙功能的微器件、微装置将被制作出来,并获得广泛应用,这将对科学技术乃至人类的社会生活产生深远而持久的影响。当前正在发展的微细加工技术有多种,其中以八十年代以来以美国加利福尼亚大学伯克利分校研制的滑块连杆机构为开始的利用半导体微细加工光刻技术为主流。八十年代后半期德国卡斯鲁厄核研究中心开创的以同步辐射X射线深度光刻为核心的LIGA技术研究为后起之秀,被世界各国的研究者所注目,近几年来以光成型加工法制作微型机械的研究也在被越来越多的人所看好。

从使微型机械实用化的观点出发,要求微型机械无论是对各种使用场合的适应性、使用的方便性、耐久性等方面都具有良好的性能,这就要求微型机械在材料和形状等诸方面都具有多样性。而用半导体工艺制作微型部件的材料只能限于硅材料而且其厚度只能达到几个微米;LIGA技术利用同步辐射X射线深度光刻虽能制作厚度高达 $1000\mu\text{m}$ 的光刻胶原型,且能用后续电铸工艺获得高宽比达200的金属结构,但是两者都需要专用和昂贵的光源和设备,且要求操作人员具有专门化知识。而光成型加工法是一种利用类似LIGA工艺,但用激光作为光源、能加工出任意立体形状的技术。它的核心技术也是光刻技术,但是使液态感光树脂发生固化生成所需结构,而且,还可再以树脂原型作为铸型进行电铸加工,形成微型金属结构。这种方法只需要激光光源、三维光刻机构或再辅之以电铸装置,就能够简便地制作复杂形状的三维结

\* 中国科学技术大学青年基金资助

收稿日期:1995年1月12日

构,而不象前述两种方法那样较多地受设备和技术投资的限制。

## 2 激光光刻成型技术简介

### 2.1 光成型法原理

光成型法原理如图 1 所示。

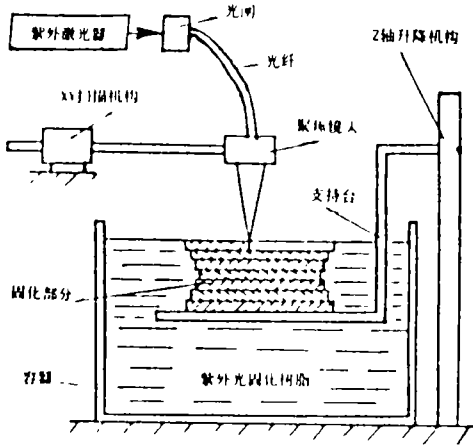


图 1 光成型法原理图

光成型法的基本要素是光源、掩模和感光硬化树脂。如图 1 所示,紫外激光光点照射容器中的树脂液面,被照树脂表面被固化,若光点移动扫描出边界为任意平面曲线的断面形状,则光点轨迹处树脂表面固化成所要加工的立体的一个断层,当固化层上面一层一层地补充新的液体并使其固化粘叠,便可得到所要加工的立体形状。

光成型原理是日本名古屋工业研究所小玉秀男发现并于 1981 年在日本电子通信学会论文志上首次公开发表<sup>[1]</sup>。此后以美国和日本为中心开展了利用该技术加工复杂形状物体装置的开发研究,美国“3D SYSMES”公司率先于 1986 年推出第一台激光快速成型装置 (Stereo Lithography Apparatus)。1987 年的“AutoFact’87”国际学术

会议上光成型法受到了广泛的关注,至 1994 年年底全世界有大约 800 台光成型装置面世<sup>[2]</sup>。

### 2.2 光成型工艺流程及技术特色

八十年代中后期 CAD/CAM 技术的成熟,使光成型加工法得到了极其迅速的发展,形成了激光三维光刻 CAM 技术(下文简称为“光 CAM 技术”),为机械制造业开创了新的领域。

光 CAM 技术是计算机控制的全自动光成型加工技术,其工艺流程如图 2 所示。

光 CAM 技术具有以下特色:

(1)光 CAM 技术直接将计算机设计的产品无需任何中间工序很方便地制作出来,尤其不需要 IC 工艺、LIGA 技术都必需的昂贵的掩模制作设备和复杂的掩模工艺,而且能够制作 IC 工艺及 LIGA 技术所不能加工的具有任意曲面、中空、复杂内腔的结构。

(2)光 CAM 技术的曝光装置是三维的 CNC 系统,结构简单、易于实现高精度。

(3)系统为全自动系统,可以无人操作,对环境和人体无污染。

(4)材料种类的广泛性。可用材料不仅不只限于透明的丙烯酸树脂的一种,还可用其它的树脂甚至其它的工程塑料。而其后续工艺电铸又使可加工的金属材料种类更具广泛性。

## 3 光成型法在微型机械研究中的应用

光成型法用于加工一般零件时只需 0.1mm 的加工分辨率,因此要将光成型法用到微型机械加工中,则需要将现在的加工精度至少提高两个数量级。即必须至少具有 1 $\mu$ m 的分辨率,只有实现这一点才能被利用来作为一种弥补硅微细加工法和 LIGA 技术缺陷的加工方法。目

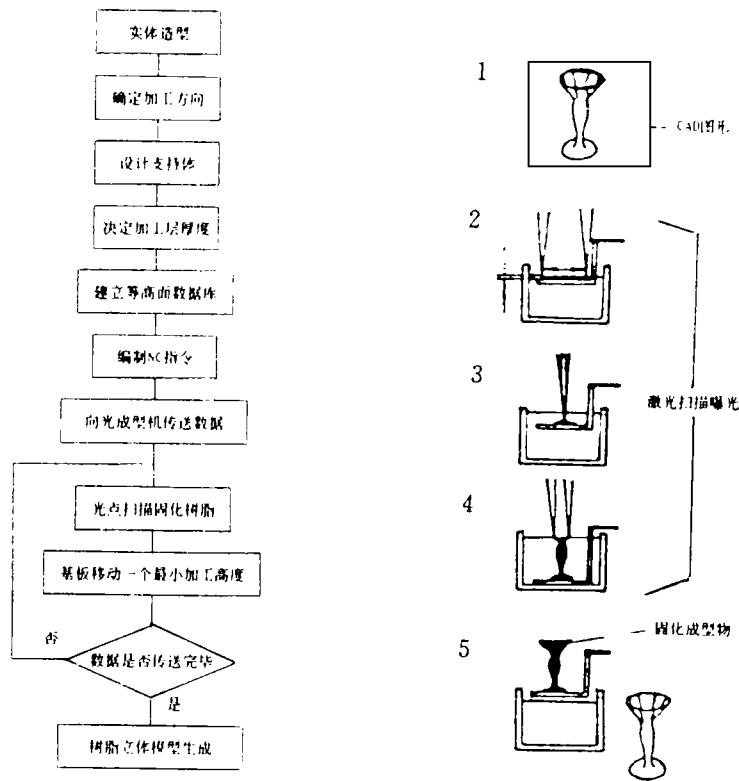


图2 光成型加工工艺流程图

前已经成功地提高了一个数量级,理论研究表明是可以提高两个数量级的。

为了提高加工分辨率必须同时提高高度方向和水平方向的分辨率。日本东京大学的中岛研究室和九州工业大学的生田研究室为此做了大量的研究工作<sup>[3,4]</sup>。

### 3.1 高分子材料微型结构的制作

#### 3.1.1 液面规制法

减薄单位固化层的厚度是提高高度方向加工分辨率的关键。液面规制法就是设法限制待曝光液态树脂层厚度,以使单位固化层尽可能薄。图3所示方法是将激光从容器底部窗口射入照射夹在容器底板和固化基板之间的树脂,当该层树脂固化以后将固化层上提一个加工单位的高度,待液态树脂充入间隙后再进行曝光操作,如此反复叠加,便可获得所需的微型结构。

#### 3.1.2 掩模法

如图4所示,预先制作高精度的掩模,将其置于光源和液态树脂之间,液态树脂经激光照射而固化,便可获得与掩模相对应的固化层,进而得到所需的微型结构。

### 3.2 金属材料微型结构的制作

用上述光成型法获得所需树脂微型结构后,当用其作母型进行电铸加工时,即可获得金属材料构成的微型结构<sup>[5]</sup>。如图5所示。

### 3.3 光成型法制作微型机械的技术关键

同时提高光成型法加工中树脂固化单元的高度方向和水平方向的分辨率是能否将其用于微型机械加工的关键。下列措施能有效地提高加工分辨率。

- (1) 减薄单位固化层厚度;
- (2) 正确控制曝光量;
- (3) 提高三维光刻机构的分辨率;
- (4) 减小激光光斑直径;
- (5) 提高树脂吸光率;
- (6) 使用高精度掩模。

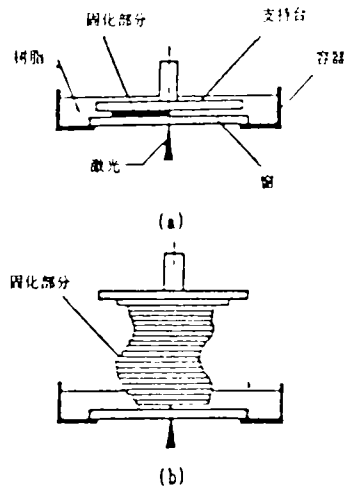


图3 液面规制法

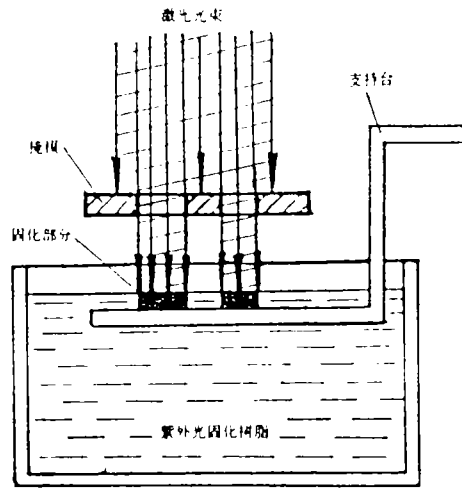


图4 掩模法

### 4 结束语

光成型法用于制

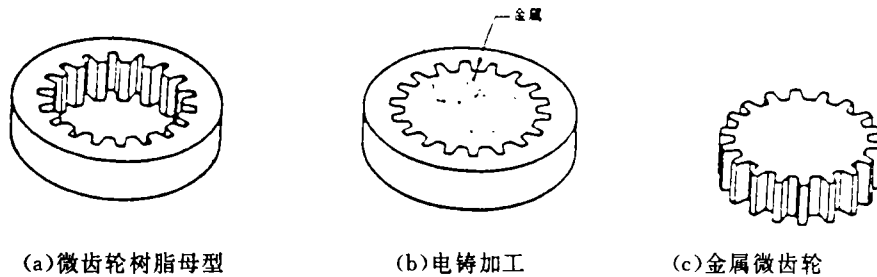


图5 金属微型结构的获得

作微型机械的研究于九十年代初才刚刚开始,但已经有不少成果。例如精度为  $1-10\mu\text{m}$ , 截面尺寸为  $0.1 \times 0.1$  的中空立柱, 直径为  $50\mu\text{m}$  的弹簧, 尺寸为  $2\text{mm}$  的夹状执行器、轴承座等等。但正如前所述, 光成型法研制微型机械受很多因素的影响, 还有许多有待进一步研究探讨的问题, 如光源的种类的选择、激光能量分布的控制、加工分辨率的提高、反应物固化时体积收缩率的消除、固化成型后构件的机械性能的优化等等, 都有待进一步的研究<sup>16,7</sup>。

现阶段, 国内在光成型法方面的研究还刚刚开始, 本文和者在中国科技大学的支持下开展了光 CAM 技术的研究, 并在进行 LIGA 技术研究的同时, 开始了光成型法用于制造微型机械的研究。作者真诚地希望随着研究工作的深入能对我国的微型机械研究做出自己应有的贡献。

### 参 考 文 献

[1] Hideo Kodama, Automatic Method for Fabricating a Three Dimensional Plastic Model with Photo-hardening Polymer. Rev. Sci. Instrum., 1981, 52(11):1770  
 [2] 中川威雄, ラピッドプロトタイピングの动向. 理研シンポジウム ラピッドプロダクトマニユファクチャリング, 1994  
 [3] 生田幸士ほか, 光創制 3 次元マイクロアプリケーション. 日本機械学会ロボティクス・メカトロニク

ス讲演会论文集,(B)1992,545—546

- [4] T. Tagagi, and N. Nakagima, Architecture Combination by Micro Photoforming Process. Conference Proceedings of MEMS'94; 211—216
- [5] 山口胜美ほか, 紫外线感光性树脂を使ったマイクロマシンストラクチュアの制造, 日本机械学会论文集(C), 1991, 57—542; 288
- [6] A. M. Duclos et al., Industrial Photochemistry XX. Three-Dimensional machining with Laser; Polymer Deformation Induced by Shrinkage Phenomena. J. Photochem. Photobiol, 1993, 10:285
- [7] O. Valdes-Aguilera et al., Photopolymerization Studies Using Visible Light Photoinitiators. Macromolecules, 1992, 25 : 541

## Application of Laser Photoforming Technology in Machining of micromachines

Shen Lianguan, Wang Xiang and Den Yimin  
(Dept. of Precision Machinery & Instrumentation,  
Univ. of Scie. & Tech. of China, Hefei 230026)

### Abstract

The machining methods and technology of micro-machines currently applied in the world are briefly introduced. The fundamental principle of laser photoforming technology and its application in machining of micromachines are presented. The paper also looks into its future research and application trends.

**Key words:** Micro-machine, Laser stereo lithography, CAD/CAM, Photo-resin