

IH 工艺在微机械中的应用

崔天宏 王立鼎 吕琼莹 汪洪涛*

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

(*吉林工业学院材料系, 长春 130012)

摘要 介绍了微机械加工中的一项崭新技术——IH 工艺, 即集成聚合物固化立体光刻。这一技术是具有大纵横比的真三维立体加工工艺, 而且可以加工聚合物和金属等多种材料。最后作者把 IH 工艺同 LIGA 工艺等传统工艺方法加以类比, 提出了 IH 工艺的应用前景。

关键词: IH 工艺; 微机械; 立体光刻

1 引言

目前, 微机械已成为世界上研究的热点技术, 并引起诸多应用领域的关注。为了实现人类的梦想, 人们正在加强微机械领域多方面的基础研究。其中, 微尺寸加工技术是一项至关重要的技术。

基于 IC 工艺发展起来的异向性蚀刻及表面微加工技术等仅仅适合于加工二维构件, 而且仅限于硅材料加工。LIGA 工艺虽然可以加工比较大纵横比的微构件, 但不能直接加工出曲面构件。这一技术难点给微机电系统的设计和功能的实现带来很大障碍。

为了实现微机构的真三维立体加工并且不受加工材料的限制, 目前日本人提出一项新的微加工工艺技术——IH 工艺, 并得到了实验证实。

2 IH 工艺的基本原理

2.1 立体光刻

IH 工艺主要基于目前宏观尺寸立体光刻的基本原则。这些基本原则如下:

紫外聚合物在紫外光照射下产生固化现象, 为了加工紫外聚合物的三

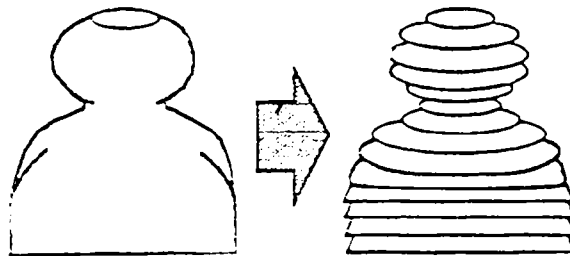


图1 三维结构和片状单元的关系

维结构,需要先加工出二维片状结构,称之为片状单元。片状单元可以很容易通过 CAD 系统获得。图 1 表示三维结构和片状单元的关系。简而言之,最终的三维结构是通过堆装二维片状单元而得到的,而二维片状单元是通过聚合物液体经紫外光照射后固化作用的结果。

2.2 IH 工艺基本原理

IH 工艺的原理示于图 2。这种工艺能加工两种材料,既可以聚合物,又可以是金属。为了做出聚合物结构,固化聚合物片状单元从底向上堆积起来形成复杂的三维结构,如图 2 (a)。

金属三维结构加工,是通过前一步聚合物工艺并结合金属铸造工艺而完成,如图 3 (b) 所示。聚合物结构作为铸模,(a) 聚合物结构;(b) 金属结构。然后把金属电铸到铸模中去,接着用溶剂或适当的化学方法将聚合物去除,最后就可获得三维金属微结构。这一过程不仅适于可电铸的金属,而且适用于可浇注到聚合物结构的金属。

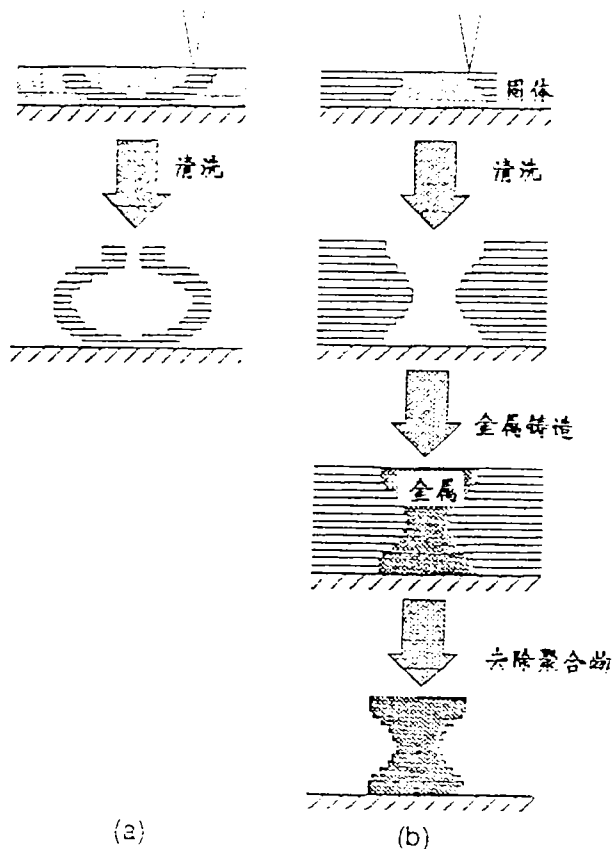


图 2 IH 工艺基本原理

(a) 聚合物结构; (b) 金属结构

3 加工设备

图 3 是加工设备示意图,它包括紫外光源、XYZ 工作台、光闸、透镜和微机。在固化聚合物微构件时,用一个比紫外激光更简单更便宜的氙灯作为光源。

为了加工出三维结构,紫外光通过光闸、透镜和与 Z 工作台固接的透明玻璃板聚焦到液态紫外聚合物上形成片层结构。由于仅固化紫外光扫描过的微区域,所以可获得两维的固化片层单元。随着 Z 工作台的移动,可固化一层又一层的片层单元,复杂的聚合物三维微结构就这样形成了。

这套加工设备的参数如下:

- (1) 紫外光源: 氙灯;
- (2) 紫外光斑尺寸: $< 5\mu\text{m}$;
- (3) 工作台的定位精度: $0.25\mu\text{m}$

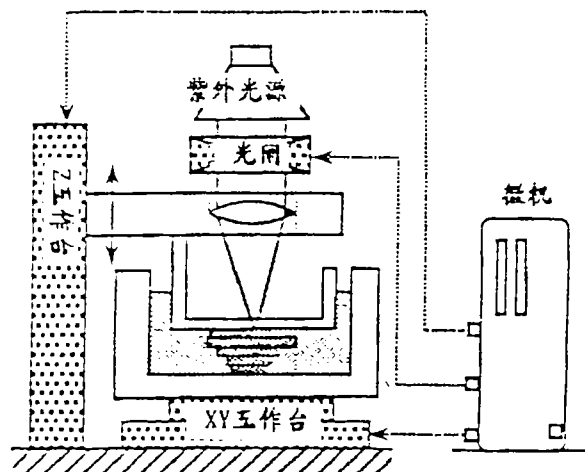


图 3 加工设备示意图

($x-y$ 方向)

$1.0\mu\text{m}$ (z 方向)

(4) 硬化聚合物单元的最小尺寸: $5\times 5\times 3\mu\text{m}$ (x,y,z);

(5) 加工结构的最大尺寸: $10\times 10\times 10\text{mm}$

(6) 加工周期: 30分钟以内。

4 IH 工艺实验

所提出的三维微加工工艺的实用性, 通过几种聚合物和金属微加工的实例得以证实。现已成功地制造出下述三维微结构。

4.1 聚合物结构

(1) 方形截面的弯曲管 (图 4)。

它的尺寸为 $100\times 100\times 1000\mu\text{m}$, 纵横比为 10, 加工所需时间大约 30 分钟。

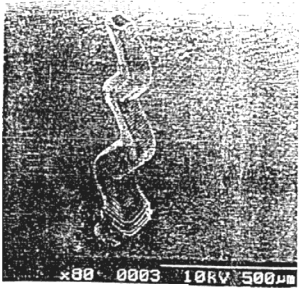


图 4 聚合物弯曲管

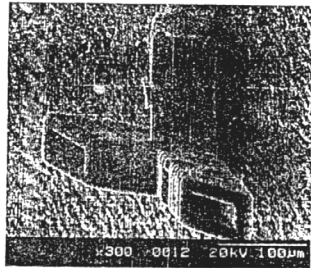


图 5 三维三通管

(2) 三维三通管 (图 5) 管道口径 $30\mu\text{m}$, 三路相通, 能观察到带色液体的流动。所需加工时间大约 30 分钟。

(3) 微型螺旋弹簧 (图 6)。

弹簧直径为 $50\mu\text{m}$, 长 $250\mu\text{m}$ 。所需加工时间为 20 分钟。因为不仅有韧性而且有一定刚度, 所以它可以象真弹簧一样工作。

(4) 单通阀 (图 7)。

单通阀的设计和运动原则基于人的“静脉阀”。在方形管道中央的阀瓣可以由左入口的液流作用产生弹性弯曲运动。这些复杂的三维结构由聚合物制成。图 7 示出了三维单通微阀的截面图 (内径 $80\mu\text{m}$)。



图6 微型螺旋弹簧

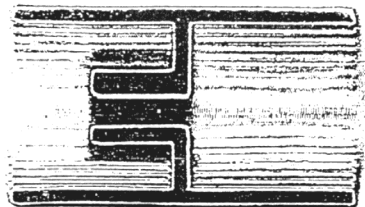
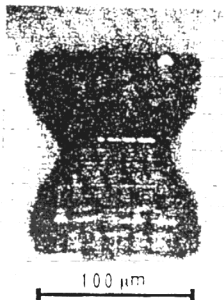


图7 单通阀



(a) 聚合物铸模; (b) 金属三维铸件

图8 金属三维微结构

4.2 金属结构

金属微结构通过两步工艺过程加工出来, 示于图2(b)。图8(a)是用IH工艺做成的聚合物铸模, 图8(b)是由铸模铸成的一个三维微银件。它的尺寸为 $60 \times 60 \times 100 \mu\text{m}$ 。

5 IH工艺的特性

5.1 IH工艺的技术难点及解决方法

与传统宏观尺寸的立体光刻相比, IH工艺存在许多严重的困难, 这主要是由于微型化, “尺寸效应”现象作用的结果。主要有如下几项难点技术:

- (1) 在微尺寸情况下液态紫外聚合物粘性增大, 容易发生硬化微结构的变形和破坏。
- (2) 在微尺寸情况下硬化聚合物和透明板之间的粘结力不可忽略, 粘结力的释放技术必

不可少。

- (3) 减少硬化聚合物单元尺寸。
- (4) 液态紫外聚合物单体的不一致性不可忽略。
- (5) 需要高精度的 xyz 三维定位装置。

为了把立体光刻技术应用于三维微加工,应解决上述技术难点。精密微细加工的最重要因素是减小“硬化聚合物单元”,因为结构的最小尺寸是由单元的尺寸决定的。通过优化紫外光束和其他参数,可获得 $5 \times 5 \times 3 \mu\text{m}$ 的硬化单元,称之为“三维空间的 $5 \mu\text{m}$ 规则”。目前主要是采取以下优化措施:

- (1) 聚合物的紫外硬化特性;
- (2) 微加工工艺的实验设备;
- (3) 紫外光束的能量强度;
- (4) 紫外光束的扫描速度;
- (5) 紫外光束的光斑尺寸;
- (6) 焦深;
- (7) 液态紫外聚合物的约束方法。

5.2 IH 工艺的优点

根据许多实验证实, IH 工艺具有以下特性:

- (1) 真三维结构;
- (2) 高纵横比: 大于 10;
- (3) 材料: 聚合物和金属;
- (4) 小批量生产时加工周期短;
- (5) 无需掩膜;
- (6) 简单、廉价的仪器;
- (7) 中等范围的加工精度;
- (8) 较高的安全可靠;
- (9) 占用较少的空间。

IC 工艺等传统工艺方法仅能加工二维平面微结构,且受被加工材料的限制。LIGA 工艺同时满足形状复杂和高纵横比也是很困难的。IH 工艺却不受上述条件的限制。加外, IH 工艺的整个加工过程可在 1 小时内完成,所以它是微机械中工艺周期最短的工艺方法之一。

而且, IH 工艺可以通过 CAD 改变横截面数据从而改变设计结构,所以它适合于短期内设计制作各种微系统。

因为紫外聚合物的变形应变远大于硅和微尺寸的金属,它不仅有韧性而且在载荷作用下有一定的刚度,所以聚合物有可能成为微机械的基本材料。

IH 工艺这些特点远优于其他传统加工方法,这使 IH 工艺有可能成为微机械领域中最有发展前途的工艺方法之一。

6 结 论

- (1) IH 工艺更适合于加工纵向变截面的复杂微结构。

(2) IH 工艺可先进行 CAD 设计, 较其他方法工艺周期短。

(3) 无需掩膜, 加工材料范围较宽。

IH 工艺是微型机械领域的一项崭新的工艺方法, 它的进一步发展必将促进微型机械早日走向实用化。

参 考 文 献

- [1] K. Ikuta et al., Real Three Dimensional Micro fabrication Using Stereo Lithography and Metal Molding . IEEE MEMD, 1993: 42-47
- [2] M. Harmening et al., Molding of Three Dimensional Micro Structures by the LIGA Process. IEEE MEMS, 1992: 202-207
- [3] 微机械专集: 光机情报增刊, 1992: 62-77

IH PROCESS IN THE APPLICATION OF MEMS

Cui Tianhong, Wang Liding, Lu Qiongying and WangHongtao

(Changehun Institute of Optics and Fine Mechanics,

Chinese Academy of Sciences, Changchun 130021)

(Dept of Material, Jilin College of Technology, Changchun 130012)

Abstract

This paper introduces a new technology in micro fabrication. This process named "IH Process (Integrated Harden Polymer Stereo Lithography)" is a technique for real three dimensional (3D) structure with high aspect ratio, and suitable for both polymer and metals. Finally the authors contrast IH process to LIGA process, and put forward the good prospect of IH process.

Key Words: IH process, MEMS, Stereo Lithography