

快速制作迷宫流道工艺研究^{*}

李春芳¹ 左春桢¹ 张玉梅¹ 王君² 张舟¹

(1. 吉林大学机械科学与工程学院, 长春 130025; 2. 中国人民解放军 65370 部队装备部, 长春 130000)

【摘要】 迷宫流道对滴灌灌水器的水力性能有较大影响,设计出合理的流道形式并快速制造出试验样件是加速开发新产品研制周期的关键。利用先进的计算机辅助设计(CAD)和数控加工技术(NC)制造出迷宫流道试验样件,通过改制加工刀具,用刀尖的结构尺寸来控制流道几何尺寸,从而解决了流道尺寸测量难的问题。采用微流控芯片的制作方法,对基片进行热键合,能快速将迷宫流道设计思想转化成试验样件,并完成水力性能实验,实现迷宫流道的快速定型。

关键词: 滴灌 迷宫流道 热键合 水力性能 工艺

中图分类号: S275.6; TQ320.66 **文献标识码:** A

Process Research on Rapid Manufacturing Labyrinth Channel

Li Chunfang¹ Zuo Chuncheng¹ Zhang Yumei¹ Wang Jun² Zhang Zhou¹

(1. College of Mechanical Science & Engineering, Jilin University, Changchun 130025, China

2. Department of Equipment 65370 of China People's Liberation Army, Changchun 130000, China)

Abstract

Labyrinth channels have a great influence on the hydraulic performance of the drip irrigation emitter. With the help of CAD and NC, sample piece of the labyrinth channels was produced. The application of refined machining-tools resolved the problem of measuring the channel size. The methods of hot modeling and hot embossing process were used to achieve the fast design and manufacture of labyrinth channels.

Key words Drip irrigation, Labyrinth channels, Hot bonding, Hydraulic performance, Process

引言

迷宫式流道滴灌灌水器是目前应用广泛的一种滴灌灌水器。迷宫流道对其水力性能有较大影响,设计出合理的流道形式并快速制造出试验样件是加速开发新产品研制周期的关键问题。

目前,国内快速开发农业节水灌溉微滴头基本采用快速成形制造技术中光固化立体造型法(SL)或分层物体制造法(LOM),但此类方法的成形产品表面精度低,尺寸微小、不易测量。

李云开在分形流道流动特性的试验^[1]中用不锈钢加工,采用数控电火花线切割技术加工切割流

道(加工精度 0.01 mm),钢板的厚度即为流道的深度,在流道的钢板两个表面设置两块有机玻璃挡板,利用强力胶水粘结,使水流在其中的缝隙中流过以测定设计流道的水力性能。上述加工方法在分形流道设计及模拟领域取得了一定的进展,但在快速制造及制造精度方面还存在一定的问题,如同种规格的流道精度和一致性不易控制,而且在两旁粘结的挡板也易存在渗水现象。

本文研究一种利用聚合物材料(PMMA),结合计算机辅助设计及先进的数控加工技术,并采用热键合快速制造迷宫流道试验样件的新方法。

收稿日期: 2008-10-08 修回日期: 2009-05-31

^{*} 国家“863”高技术研究发展计划资助项目(2006AA04Z305)和吉林省科技发展计划资助项目(20060703)

作者简介: 李春芳, 博士生, 主要从事微尺度模具设计制造及应用研究, E-mail: lichunfang1976@163.com

通讯作者: 左春桢, 教授, 博士生导师, 主要从事跨尺度设计理论及生物微纳流控相关研究, E-mail: zuocc@jlu.edu.cn

1 基于特征的参数化三维设计及数据处理

快速制作迷宫流道试验样件的基本原理如图 1 所示。

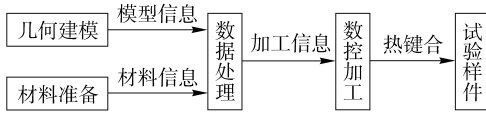


图 1 快速制作迷宫流道试验样件基本原理

Fig.1 Basic theory of rapid manufacture of labyrinth channel

滴头流道形式多种多样, Krystal G Y 等^[2]指出滴头的水力性能由流道的形式、尺寸、材料等因素共同决定; 王建东等^[3]对目前常用的 7 种典型迷宫流道形式进行水力性能试验。

本试验选用了流态指数小的锯齿形流道作为研究对象, 首先利用基于特征的参数化三维 CAD 软件进行流道的结构设计, 将流道的结构参数作为可变参数, 以便根据试验反馈数据进行更改。图 2 为本次试验的迷宫流道形式, 其尺寸单位为 mm, 图 3 为三维实体模型。

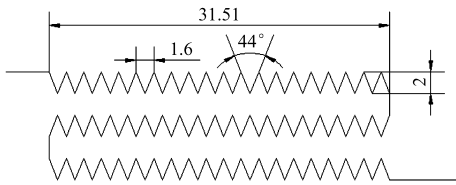


图 2 迷宫流道形式

Fig.2 Shape of labyrinth channel

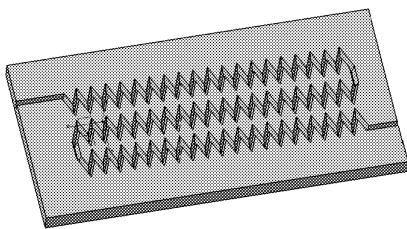


图 3 三维流道实体模型

Fig.3 3-D model of labyrinth channel

将由 CAD 绘制的迷宫流道转化成 igs 数据格式, 采用 POWERMILL 软件对其进行数控编程, 并通过后置处理程序生成 G 代码程序, 并输送给数控机床。图 4 为加工模拟示意图。

2 数控加工

2.1 数控刀具的改进

由于迷宫流道宽度在 0.5~1.2 mm 之间, 尺寸介于宏观尺度与微观尺度之间, 而且形状复杂, 流道要求表面质量高。基于以上原因, 提出了一种新型加工方法, 即对普通白钢硬质合金刀进行改进, 通过

对刀尖形状尺寸的控制来达到流道尺寸精度。图 5 为原始刀具示意图。图 6 为改进的刀具示意图。

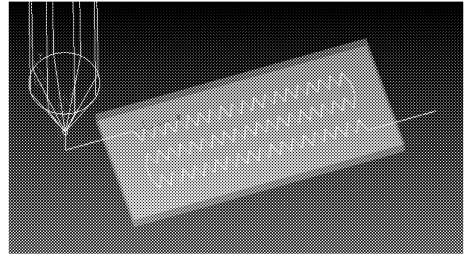


图 4 加工模拟示意图

Fig.4 Sketch map of manufacture of labyrinth channel

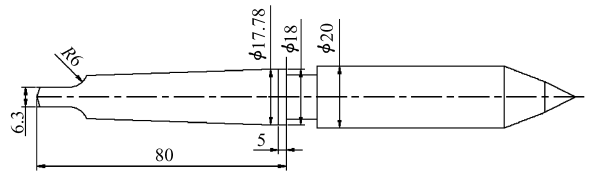


图 5 传统刀具尺寸示意图

Fig.5 Sketch map of size of traditional reamer

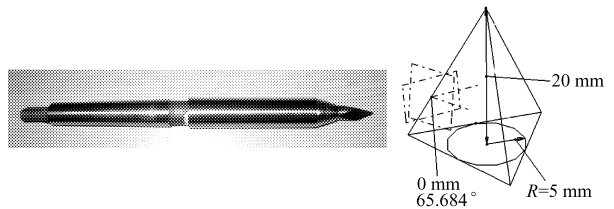


图 6 改进后刀具示意图

Fig.6 Sketch map of size of refined reamer

改进后的刀具深宽比例为 1:1, 即当加工深度为 1 mm 时, 槽宽也为 1 mm, 可以方便地通过控制加工深度达到理想的尺寸要求。

2.2 数控加工精度的保证

数控加工是一个相当精细的过程, 由于在整个加工过程中程序是自动进行的, 所以数控加工工艺设计显得尤其重要。编程时不仅要从零件加工的可能性和方便性角度出发, 而且还应对影响加工精度的因素给予重点考虑。除了普通加工工艺中要注意的问题外, 同时还应注意以下几个容易被忽略的问题, 即加工过程中的超程、欠程和传动误差问题^[4]。

要解决加工过程中的超程问题, 最有效的方法是消除刀具运动的惯性, 降低进给速度, 即减小进给量 F 。要解决欠程问题, 可在加工系统刚度允许的条件下, 适当加大背吃刀量, 以提高加工效率; 也可先进行粗加工, 然后再留 0.05~0.1 mm 的精加工余量, 在精加工中采用小吃刀量避免欠程问题, 保证零件的加工精度和表面粗糙度; 还可使用程序延时的方法, 在数控程序中用 G04 指令设置暂停延长时间。要注意的是, 在轮廓加工中应尽量避免停顿, 因为在加工过程中, 工艺系统产生变形, 进给停顿, 将使切削力突然变小, 系统弹性变形恢复, 造成刀具在

停顿处留下切削痕。所以,延时指令一般设置在零件轮廓的拐点或终点处,以保证该段轮廓的表面质量。

经过反复试验,最终确定加工参数为:使用进给速度为 2 000 m/min,转速为 3 000 r/min,粗加工每层深 0.2 mm,精加工前留余量 0.05 mm 的加工参数来保证加工精度及表面加工质量,平均加工完成一件产品用时 1 min。

2.3 流道几何尺寸的检测

检测系统硬件主要由激光 CCD 位移传感器,激光 CCD 控制器,个人计算机,稳压电源和专用数据电缆和机床导轨组成。

非接触智能在线检测软件是由栗利刚^[5]开发的。试验过程中设定机床导轨进给速度为 0.1 mm/s,由流道通过 CCD 的时间可计算出流道宽度,而流道深度是通过测量值直接读取。单件测量结果如图 7 所示。通过对 20 个迷宫流道基片进行测量,统计结果如图 8 所示,实际测量结果与理论值误差范围在 1% 之内,由此可见用此种加工方式可保证批量加工迷宫流道的尺寸精度。

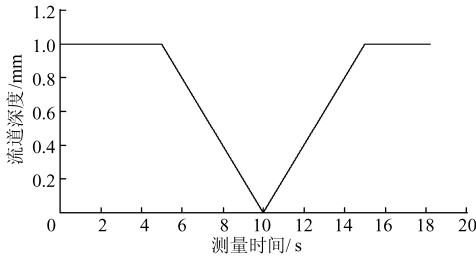


图 7 单件流道测量结果

Fig.7 Metrial result of the channel size

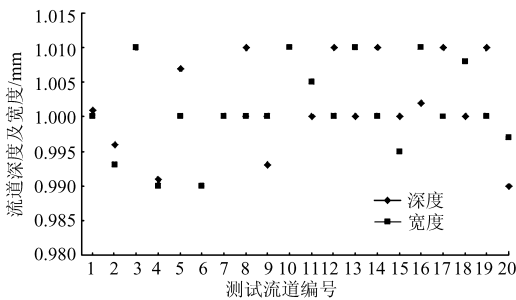


图 8 流道尺寸统计结果

Fig.8 Statistics of the channel size

3 键合过程

以 PMMA 为基材采用热压法制作流道。热压成形法是制作热塑性聚合物微结构的主要技术之一,用于微流控芯片微通道的制作,具有制作精度高,质量好等优点^[6]。作者采用热压法将带有流道的 PMMA 板材基片同盖片加热键合封接就得到流道试验样件。

热键合参数选择:温度 80℃,压力 1.5 MPa,键合时间为 10 min。

具体过程如下:首先,将热压机升温至键合温度,然后将基片、盖片放到热压机上,保持温度、加载压力进行热键合。之后卸载压力,取出产品,如图 9 所示。

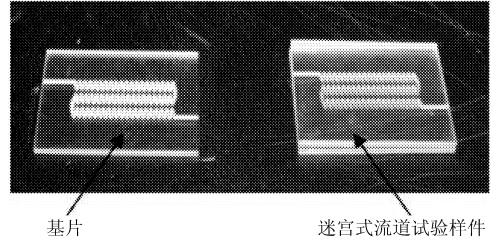


图 9 迷宫式流道试验样件

Fig.9 Prototype of labyrinthe channel

4 水力性能试验

4.1 试验装置

本试验装置的设计参考了 GB/T 17187—1997《农业滴灌设备滴头技术规范 and 试验方法》^[7]和 SL/T67.1—94《微灌灌水器——滴头》^[8]。根据试验要求最终确定的试验装置示意图^[9]如图 10 所示,图 11 为流道进出水示意图。试验现场图片如图 12 所示。

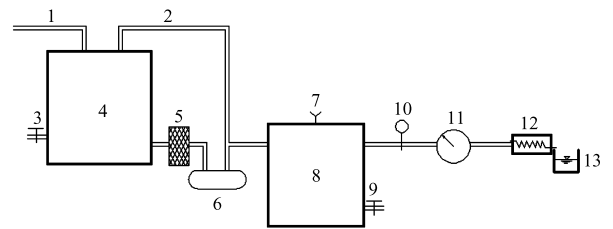


图 10 试验装置示意图

Fig.10 Sketch map of experiment equipment

- 1.进水管 2.泄水管 3.泄水阀 4.蓄水罐 5.过滤器 6.自吸泵 7.排气阀 8.稳压罐 9.泄水阀 10.调压阀 11.压力表 12.试验样件 13.集水容器

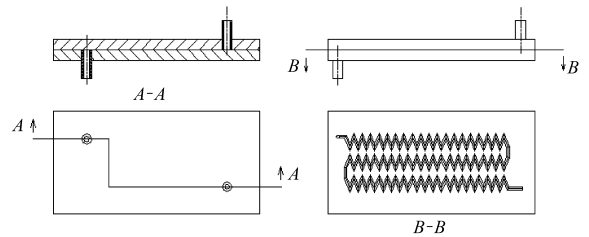


图 11 流道进出水示意图

Fig.11 Sketch map of in-out of water flow

4.2 流量均匀性试验

我国采用流量偏差系数作为制造偏差衡量滴头的制造精度,其计算公式为

$$C = \frac{S}{q} \tag{1}$$

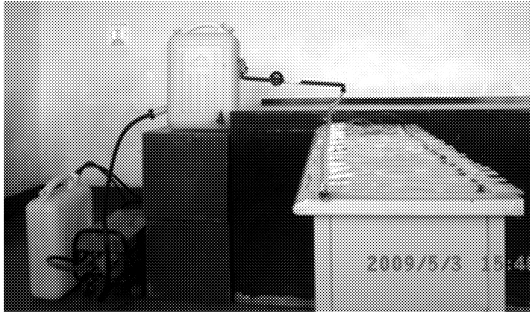


图 12 试验现场图片

Fig. 12 Picture of experiment equipment

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q})^2}$$

$$\bar{q} = \frac{\sum_{i=1}^n q_i}{n}$$

式中 C ——制造偏差系数,所测滴头系列的偏差系数

\bar{q} ——所测定的滴头平均流量, L/h

S ——所测定滴头的流量标准差, L/h

q_i ——单个滴头的流量, L/h

n ——所测定的滴头的个数

对 25 个试样进行流量试验。使流道入口压力等于额定压力 100 kPa, 试验过程中压力变化不超过 2%, 保压时间 3 min, 测量微滴头流量, 重复一次。两次测得水量之差小于 2%, 取其平均值并计算平均流量 \bar{q} 为 2.035 L/h, 流道流量偏差系数 C 为 4.12%, 流量均匀度符合国际标准要求。

4.3 水力性能试验

根据上述试验测定的流量, 按流量从小到大的顺序给试验样件编号, 1 号最小, 25 号最大, 然后从中选出 3、12、13、23 号测定其出水流量和入口压力的关系。在 50~150 kPa 均匀分布 11 个压力点, 对每个灌水器进行试验, 记录水压、试验时间、灌水器出水量。重复一次, 两次测得水量之差不大于 2%, 取其平均值并计算流量 (L/h)。计算每个压力值对应的平均流量 \bar{q} , 绘制平均流量 \bar{q} 和入口压力 p 的关系曲线 (图 13)。

根据微灌灌水器国家标准^[7], 由试验样件水力性能试验所测出的压力、流量数据, 拟合出各特征参数迷宫流道的压力-流量关系式。灌水器压力-流量

关系式为

$$q_v = k_d H^x \quad (2)$$

式中 q_v ——试验流量

k_d ——流量系数

H ——试验压力

式(2)两边取对数

$$\lg q_v = \lg k_d + x \lg H \quad (3)$$

压力和流量的对数呈线性关系, 以式(3)作为回归方程, 根据不同压力及其流量, 按最小二乘法计算 x 和 k_d 值

$$x = \frac{\sum \lg H \lg q_v - \frac{1}{n} \sum \lg H \sum \lg q_v}{\sum (\lg H)^2 - \frac{1}{n} (\sum \lg H)^2} \quad (4)$$

$$k_d = 10^{\frac{1}{n} (\sum \lg q_v - x \sum \lg H)} \quad (5)$$

压力和流量的相关系数为

$$R =$$

$$\frac{\sum (\lg H \lg q_v) - \frac{1}{n} \sum \lg H \sum \lg q_v}{\left\{ \left[\sum \lg H^2 - \frac{1}{n} (\sum \lg H)^2 \right] - \left[\sum \lg q_v^2 - \frac{1}{n} (\sum \lg q_v)^2 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}} \quad (6)$$

通过用 SPSS 数据分析软件完成数据回归处理, 得到迷宫流道的压力-流量关系式为

$$q_v = 0.197 0 H^{0.5155} \quad (7)$$

5 结束语

采用 CAD、NC 技术进行迷宫流道的设计和制造, 能够节省产品开发的时间, 降低产品开发成本。利用参数化三维设计, 实现了对结构参数的快速修正, 提高了迷宫流道的再设计速度; 通过对加工刀具尺寸的控制来控制流道尺寸, 解决了流道尺寸测量难的问题。采用先进的微流控芯片制作方法——热压法对流道基片进行键合, 能快速制造出迷宫流道试验样件, 并进行水力性能试验。试验证明流道符合国家标准要求, 利用该制作方法能实现迷宫流道的快速定型。

参 考 文 献

- 李云开. 滴头分形流道设计及其流动特性的试验研究与数值模拟[D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
Li Yunkai. Design of fractal flow path for emitters and experiment study and modeling on its fluid mechanism[D]. Beijing: China Agricultural University, 2005. (in Chinese)
- Krystal G Y. Hydraulic and mechanical properties of drippers[C] // Proceedings of the 2nd International Drip Irrigation

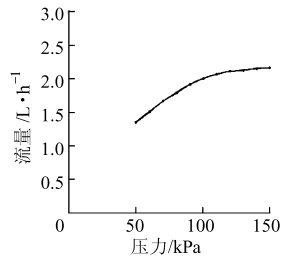


图 13 滴头的压力-流量关系曲线

Fig. 13 Pressuer-flow rate relation

- Congress, 1974.
- 3 王建东,李光永,邱象玉,等. 流道结构形式对滴头水力性能影响的试验研究[J]. 农业工程学报,2005,21(21):100~103.
Wang Jiandong, Li Guangyong, Qiu Xiangyu, et al. Effects of flow passage forms on hydraulic performance of emitters[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005, 21(21):100~103. (in Chinese)
 - 4 魏军. 影响数控加工精度的几个问题[J]. 新技术新工艺,2005(12):9~10.
Wei Jun. Influencing factors of accuracy in numerical control machining[J]. New Technology & New Process, 2005, (12): 9~10. (in Chinese)
 - 5 栗利刚. 大型轧机油膜轴承形位误差测量技术研究[D]. 长春:吉林大学,2007.
Li Ligang. Study on the inspection technique for the form and position errors of oil film bearing of large-scale rolling mill [D]. Changchun: Jilin University, 2007. (in Chinese)
 - 6 王晓东,罗怡,刘冲,等. 塑料(PMMA)微流控芯片微通道热压成形工艺参数的确定[J]. 中国机械工程, 2005, 16(22):2 061~2 063.
Wang Xiaodong, Luo Yi, Liu Chong, et al. Process parameter determination in fabrication of microchannel of plastic (PMMA) microfluidic chips using hot-embossing method [J]. China Mechanical Engineering, 2005, 16 (22): 2 061 ~ 2 063. (in Chinese)
 - 7 GB/T 17187—1997 农业灌溉设备滴头技术规范 and 试验方法[S].
GB/T 17187—1997 Agricultural irrigation equipment-emitter-specification and test methods[S]. (in Chinese)
 - 8 SL/T67.1—94 微灌灌水器——滴头[S].
SL/T67.1—94 Micro-irrigation emitters——drips[S]. (in Chinese)
 - 9 魏正英. 迷宫型滴灌灌水器的结构设计与快速开发技术研究[D]. 西安:西安交通大学,2003.
Wei Zhengying. Structural design and rapid development of labyrinth drip irrigation emitters[D]. Xi'an: Xian Jiaotong University, 2003. (in Chinese)

(上接第 74 页)

下,最优结构尺寸 $e = 65 \text{ mm}$ 、 $L = 680 \text{ mm}$ 。

直分离的流场范围在外筒的上半圆周偏左的部分。

为了保证茎叶的全部分离,建议在距中筒末端

(3) 从流场矢量图可以看出,实现茎秆和叶垂

1.1 m 处附近增加一个茎秆出口。

参 考 文 献

- 1 Arinze E A, Schoenau G J, Sokhansanj S, et al. Aerodynamic separation and fractional drying of alfalfa leaves and stems——a review and new concept[J]. Drying Technology, 2003, 21(9): 1 673~1 702.
- 2 Menzies D, Bilanski W K. Aerodynamic properties of alfalfa particles[J]. Transactions of the ASAE, 1968, 11(6): 829~831.
- 3 Adapa P K, Schoenau G J, Arinze E A. Fractionation of alfalfa into leaves and stems using a three pass rotary drum dryer[J]. Biosystems Engineering, 2004, 91(4): 455~463.
- 4 干才渊, 王宝和, 王喜忠. 干燥装置设计手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- 5 李志华. 物料在输送管道中的流动状态[J]. 塑料科技, 2003(2): 38~40.
Li Zhihua. Flowing state of the materials in the pneumatic pipes[J]. Plastics Sci. & Technology, 2003(2): 38~40. (in Chinese)
- 6 Bilanski W K, Graham W D, Mowat D N, et al. Separation of alfalfa silage into stem and leaf fractions in a horizontal air stream[J]. Transactions of the ASAE, 1989, 32(5): 1 684~1 690.
- 7 王佳玮. 基于茎叶分离的苜蓿悬浮速度实验研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2008.
Wang Jiawei. Experiment research on the suspension velocity of alfalfa for leaf-stem separation [D]. Beijing: China Agricultural University, 2008. (in Chinese)
- 8 龙天渝, 苏亚欣, 向文英, 等. 计算流体力学[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2007.
- 9 王福军. 计算流体动力学分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.