

微流控芯片超声振动注射成型模具设计^{*}

李常峰 蒋炳炎 申瑞霞 侯文潭

(中南大学机电工程学院现代复杂装备设计与极端制造教育部重点实验室,长沙 410083)

摘要 针对目前微流控芯片注射成型中微通道充填困难、成型精度低等问题,研究超声振动辅助注射成型微流控芯片的方法,设计出微流控芯片超声振动模具。创新性地引入热流道系统,实现了超声振动系统与注射成型模具的有效集成;独特的流道和型腔布置实现了芯片的基片和盖片同模同时成型;改进的二次顶出机构实现了芯片的无损脱模。

关键词 超声振动 微流控芯片 注射成型 无损脱模

微流控芯片是一种采用微细加工技术,在数平方厘米大小的基片上制作出微通道网络结构及其它功能单元,以实现集微量样品制备、进样、反应、分离、检测于一体的微型分析实验装置^[1-2]。目前主要的制造方法有直接制造法和模板复制法,但普遍存在工序繁、效率低、质量不稳定和相关加工设备昂贵等问题^[3-5]。

注射成型工艺可以高效、廉价地生产出塑料制品^[6],是微流控芯片加工方法的发展方向之一,但芯片在注射成型过程中存在的微通道成型困难和成型精度低等问题一直制约该方法在芯片生产中的应用。而已有的研究表明,超声场致作用在聚合物加工过程中能显著降低聚合物熔体粘度,改善熔体的流动性能,显著降低注塑压力,提高塑料制品性能等^[7-10]。因此研究超声振动辅助微流控芯片注射成型,对实现应用注射成型生产微流控芯片具有重要的意义。笔者通过引入热流道系统实现了超声振动系统与注射成型模具的有效集成,并设计了相关模具。

1 制件分析

本模具成型的制件包括微流控芯片的基片和盖片,其外形和尺寸如图1和图2所示。

从图1和图2可以看到,芯片的基片和盖片均为长方形,面积80 mm×28 mm,厚1.5 mm,体积约为3.36 cm³。基片上表面有呈十字相交、宽120 μm、深40 μm的微通道,微通道末端为直径3 mm的通孔;盖片为一薄平板。

芯片材料选用聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA),密度为1.18 g/cm³。注射成型时,要求制件表面光滑,无推出痕迹;不出现气泡、熔接痕和翘曲等缺陷;微通道成型质量好,尺寸精确;基片和盖片能够同时同模成型,并在模内完成热键合。

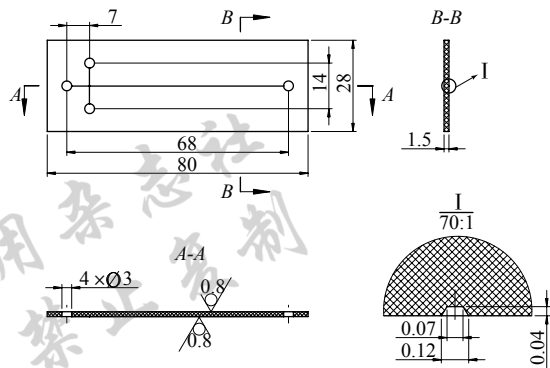


图1 芯片的基片及微通道放大图

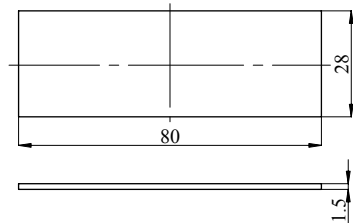


图2 芯片的盖片

2 微流控芯片超声振动模具结构设计要点

笔者在微流控芯片超声振动模具结构设计过程中,重点对模具的分型面选择及型腔布置、超声振动系统与模具的集成、浇注系统和脱模机构进行了设计,其余零部件的设计制造方法与普通注射模具基本一致。

2.1 分型面选择及型腔布置

由于制件体积较小,故选用一模四腔的形式,选用ARBURG公司的370S注塑机。为了减少脱模阻力,并确保开模时基片留在动模板,盖片留在定模板,分型面选在制件中间离上表面0.8 mm的位置,基片在动模板上型腔的深度为0.8 mm,而盖片在定

^{*} 国家高技术研究发展计划(863)项目(2007AA04Z351)、教育部科学技术研究重点资助项目(107086)

2.4 浇注系统的设计

浇注系统是指模具中从注塑机喷嘴开始到模具型腔为止的流动通道,主要作用是将塑料熔体顺利的充满型腔的各个部分。本模具的浇注系统包括热流道系统和冷流道系统。

(1) 热流道系统的设计

为了满足超声波工具头的安装和密封的要求,笔者适当加厚热流道板并增加了安装端。热流道板的加热方式采用外加热,经计算升温功率为 766 W,维持功率为 576 W;流道板内流道的直径为 6 mm,工具头安装孔直径为 12 mm,深 70 mm。具体尺寸如图 7 所示。

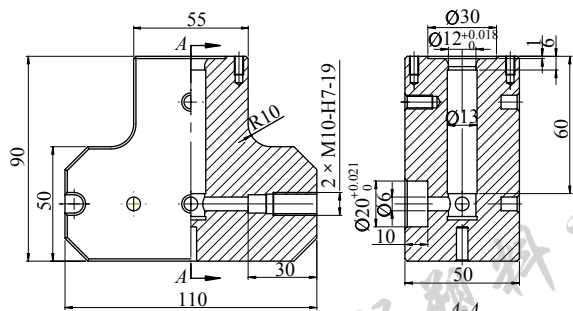


图 7 热流道板

热流道喷嘴的作用是使热流道板分流来的塑料熔体保持熔融状态并输送到型腔或流道中^[11-12]。芯片应用的材料为 PMMA, 流动性较差, 制件壁薄而且有微结构, 适合高压注射。因此选用结构简单、价格便宜的开式喷嘴。

(2) 冷流道系统的设计

本模具的热流道喷嘴与浇口之间存在冷流道,流道长度取 15 mm,截面形状采用加工工艺性能较好的梯形截面。截面具体形状及尺寸如图 8 所示。

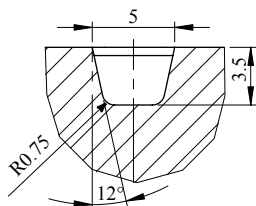


图 8 冷流道截面及尺寸

为了防止制件产生翘曲变形,使熔体在宽度方向上的流动更加均匀,减少制件的内应力,本模具采用扇形浇口。经计算,浇口宽度取 7 mm,进口厚度和出口厚度分别取 3 mm 和 0.8 mm,如图 9 所示。

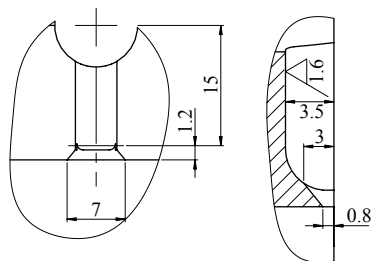
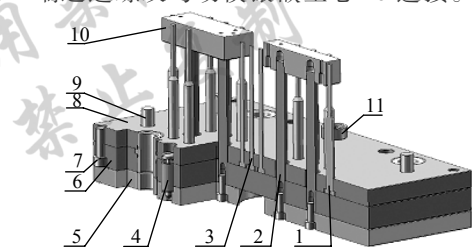


图 9 扇形浇口

过在制件四周开设冷料穴并结合二次顶出机构,不但简单、可靠地实现了制件无损脱模,而且大大简化了模具结构。

二次顶出机构如图 10 所示。面针板 8 与中间板 6 通过螺栓 7 固定在一起,并且可与底针板 5 之间作相对运动。底针板的运动区域由底板限位杆 9 限制,中间板和面针板的位置由限位垫块 11 限制。型芯推杆的一端通过螺钉与底针板 5 固定在一起,另一端通过螺纹与动模镶嵌型芯 10 连接。



- 1—冷料穴推杆; 2—型芯推杆; 3—冷流道推杆; 4—开闭器;
5—底针板; 6—中间板; 7—螺栓; 8—面针板;
9—底板限位杆; 10—动模镶嵌型芯; 11—限位垫块

图 10 无损脱模机构

开始顶出时,3个板同时向前推进,动模镶嵌型芯10和推杆同时顶出制件、流道和冷料穴凝料。当底板限位杆9接触托板时底针板5停止运动,中间板6和面针板8克服开闭器4的摩擦阻力继续推进,把制件从镶嵌型芯表面顶出。制件脱模后,3个推板在弹簧力作用下实现复位,为下次推出做准备。

3 微流控芯片超声振动模具工作流程及结构

笔者设计的微流控芯片超声振动模具不但实现一次注塑出微流控芯片的基片和盖片,还实现了基片和盖片在模内完成热键合,模具的结构和工作流程复杂,设计的具体工作流程如图 11 所示。

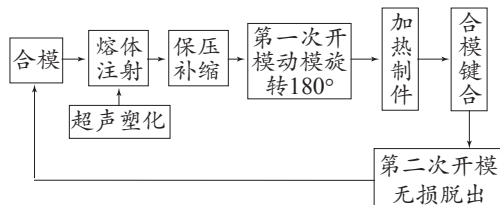


图 11 微流控芯片超声振动注射成型模具工作流程图

为实现加工要求,一个注塑周期包括了一次动模旋转和多次开合模动作。第一次开模芯片的基片留在动模板,盖片留在定模板。动模旋转 180° 后,基片与盖片位置正对,然后加热芯片到键合温度并合模施压。键合完后再开模并无损脱出制品,进入下一周期。

超声振动系统主要在注射阶段辅助芯片注射成型,系统在注射前2 s启动,以确保整个注射过程工

具头都稳定在共振状态。注射完毕2 s后系统停止工作。

针对模具的工作流程及超声振动系统的集成要求,设计的模具结构如图12所示。模具采用热流道系统与超声振动系统进行集成,超声波工具头安装在热流道板上;采用一模四腔,两个热流道喷嘴分别成型两个基片和盖片;通过二次顶出机构实现芯片无损脱模。

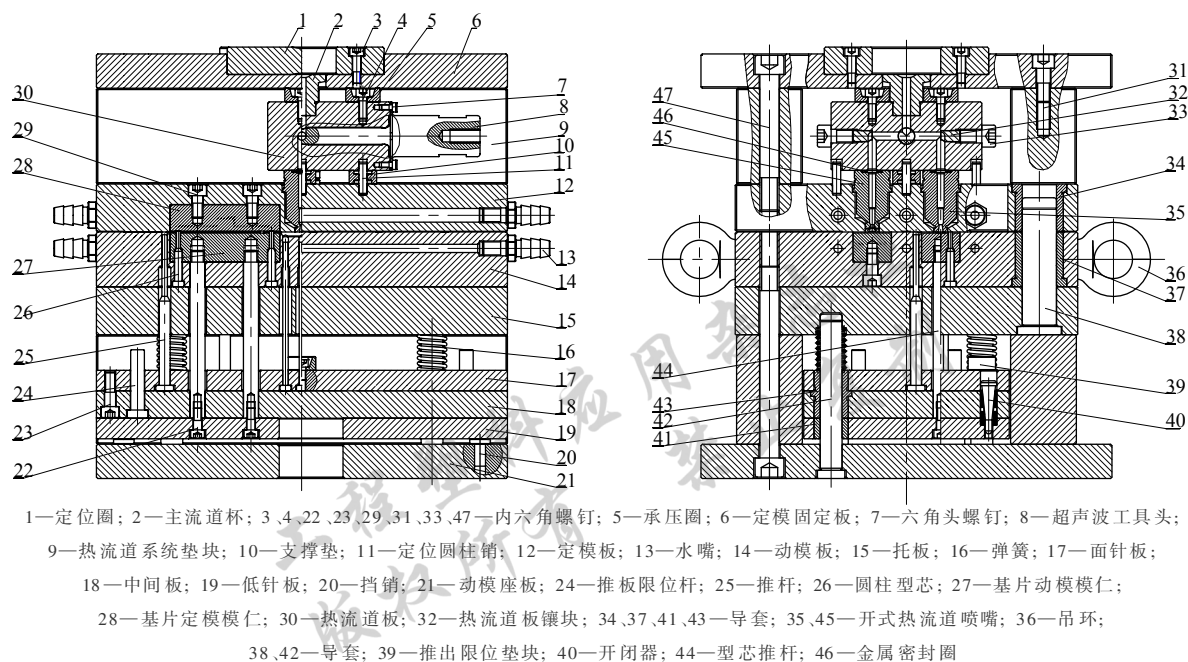


图12 微流控芯片超声振动注射成型模具结构装配图

4 结语

笔者首次通过在普通的注射成型模具中集成超声振动系统,解决微流控芯片在注射成型过程中微通道成型困难及成型精度低等问题,并创新性地引入热流道系统实现注射模具与超声振动系统的有效集成;针对微流控芯片在注射成型时基片和盖片需同时同模成型,以及表面质量好等要求进行了独特的型腔布置并设计出二次顶出的无损脱模机构。设计出的模具满足了应用注射成型方法生产微流控芯片的要求,对微流控芯片加工方法的发展和微流控芯片的普及具有重要意义。

参考文献

[1] 王晓东. 微流控芯片的制作及其自动化[J]. 高技术通讯, 2004, 14(7): 45-48.
[2] Pouzada A S, Ferreira E C, Pontes A J. Friction properties of moulding thermoplastics[J]. Polymer Testing, 2006, 25(8): 1 017-1 023.
[3] Becker H, Dietz W, Dannberg P. Microfluidic manifolds by polymer hot embossing for micro-TAS applications[J]. MicroTotal Analysis

Systems, 1998(7): 253-256.

[4] Wu Dapeng, Qin Jianhua, Lin Bingcheng. Electrophoretic separations on microfluidic chips[J]. Journal of Chromatography A, 2008, 1184(1/2): 542-559.
[5] 方肇伦. 微流控分析芯片[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
[6] 《塑料模设计手册》编委会. 塑料模设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
[7] 蒋炳炎, 吴旺青, 胡建良, 等. 微注射成型中聚合物熔融塑化技术[J]. 工程塑料应用, 2007, 35(11): 67-69.
[8] 王爱玲, 祝锡晶, 吴秀玲. 功率超声振动加工技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.
[9] Feng Wenlai, Isayev A I. In situ compatibilization of PP/EPDM blends during ultrasound aided extrusion[J]. Polymer, 2004, 45(4): 1 207-1 216.
[10] Michaeli W, Spennemann A, G rtner R. New plastification concepts for micro injection moulding[J]. Microsystem Technologies, 2002, 8(1): 55-57.
[11] 丹尼尔. 弗伦克勒, 罗伯特. 沃克登, 等. 热流道模具技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
[12] 黄红, 谭安平, 夏华, 等. 分类垃圾桶底座热流道注射模设计[J]. 模具工业, 2007, 33(4): 45-49.

DESIGN OF ULTRASONIC VIBRATION ASSISTED INJECTION MOLD FOR MICROFLUIDIC CHIP

Li Changfeng, Jiang Bingyan, Shen Ruixia, Hou Wentan

(Key Laboratory of Modern Complex Equipment Design and Extreme Manufacturing, Ministry of Education, College of Mechanical and Electrical Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

ABSTRACT Aiming at existing problems of injection molding of microfluidic chip, such as filling difficulty and low molding accuracy of microchannel, the method of ultrasonic vibration assisted injection molding of microfluidic chip was studied, and an ultrasonic vibration assisted injection mold for microfluidic chip was designed. The ultrasonic vibration system and injection mold were integrated effectively by introducing hot runner system innovatively. The unique disposal of runner system and cavity enabled the molding of substrate and coverslip simultaneously in a single mold. The nondestructive demoulding of microfluidic chip was achieved by using an improved secondary demoulding device.

KEYWORDS ultrasonic vibration, microfluidic chip, injection molding, nondestructive demoulding

欢迎订阅 2010 年《工程塑料应用》、《化学分析计量》及合订本光盘

邮发代号 24-42, 24-138 全国各地邮局均可订阅

也可直接通过邮局或银行汇款向《工程塑料应用》杂志社订阅《工程塑料应用》、《化学分析计量》及合订本光盘,请注明订阅期刊/光盘的名称、收件人、邮编及地址。

《工程塑料应用》国内外公开发行的全国性塑料专业技术类刊物,月刊,大 16 开本,每月 10 日出版。本刊为中文核心期刊,是中国工程塑料工业协会会刊,荣获首届、第二届、第三届国家期刊奖等 26 项国家、省部级优秀期刊奖,入选美国化学文摘(CA)千种表。2010 年定价 13 元/期,全年 156 元。1986 年以来的期刊价目见表 1。欢迎读者来函(附名片)免费索取样刊。

《化学分析计量》国内外公开发行的全国性分析、计量专业技术类刊物,双月刊,大 16 开本,单月 20 日出版。本刊为中国科技核心期刊,荣获 6 项省部级优秀期刊奖,被美国化学文摘(CA)收录。2010 年定价 13 元/期,全年 78 元。创刊号以来的期刊价目见表 2。欢迎读者来函(附名片)免费索取样刊。

《工程塑料应用》、《化学分析计量》合订本光盘 我社已将《工程塑料应用》自创刊号(1973 年)至 2009 年底共 37 卷 242 期的期刊电子化,并制成合订本光盘,现公开发售;同时也将《化学分析计量》自创刊号(1992 年)至 2009 年底共 18 卷 71 期的期刊电子化,并制成合订本光盘,现公开发售。分别利用这两种合订本光盘既可按作者、文题、关键词、年、期等分类查阅各期刊已发表的所有科技文章和科技信息的全文,又可根据读者自定义的关键词进行全文检索,非常方便、实用。

《工程塑料应用》合订本光盘优惠售价 500 元;《化学分析计量》合订本光盘优惠售价 200 元。

邮局汇款:

收款单位:山东省济南市 108 信箱杂志社
邮编:250031 传真:(0531) 85947355 85878057
电话:(0531) 85878057 85878223 85878278

银行汇款:

户 名:中国兵器工业集团第五三研究所
开户银行:济南市工商银行经十一路支行
帐 号:1602001229014425546

网上订购: <http://www.epa1973.com>

表 1 《工程塑料应用》单册期刊、合订本价格表

年 份	期 数	每册单价/元	全年定价/元	合订本/元
1986 ~1989	16	0.825	13.2	19
1990 ~1992	12	1.4	16.8	23
1993、1994	10	2.4	24	30
1995	6	2.8	16.8	23
1996	6	3	18	24
1997	6	3.5	21	27
1998	12	3.5	42	48
1999	12	4	48	54
2000	12	5	60	66
2001	12	5.5	66	78(两本)
2002	12	6	72	84(两本)
2003	12	6.5	78	90(两本)
2004	12	7	84	96(两本)
2005	12	7.5	90	102(两本)
2006	13	8	104	116(两本)
2007	12	9	108	120(两本)
2008	12	10	120	132(两本)
2009	12	12	144	156(两本)
2010	12	13	156	156(单册)
合计	213		1000(优惠)	1100(优惠)

表 2 《化学分析计量》单册期刊、合订本价格表

年 份	期数	每册单价/元	全年定价/元	合订本/元
创刊号 ~1998	9	3	27	33
1999 ~2001	14	4	56	62
2002	6	5	30	72
2003	6	6	36	
2004	6	7	42	93
2005	6	7.5	45	
2006	6	8	48	108
2007	6	9	54	
2008	6	10	60	66
2009	6	12	72	78
2010	6	13	78	78(单册)
合计	77		450(优惠)	500(优惠)